

Ка ф е д р а материаловедения и технологии материалов и покрытий

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методический комплекс

Специальности:

Энергетический институт

- 140101.65 - тепловые электрические станции
- 140104.65 - промышленная теплоэнергетика
- 140211.65 - электроснабжение
- 140601.65 - электромеханика
- 140602.65 - электрические и электронные аппараты

Машиностроительно-технологический институт

- 151001.65 - технология машиностроения
- 150202.65 - оборудование и технология сварочного производства
- 240301.65 - химическая технология неорганических веществ
- 240401.65 - химическая технология органических веществ

Институт организации перевозок и транспортных средств

- 190205.65 - подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование
- 190601.65 - автомобили и автомобильное хозяйство
- 190701.65 - организация перевозок и управление на автомобильном транспорте

Институт приборостроения и систем обеспечения безопасности

- 200101.65 - приборостроение
- 200402.65 - инженерное дело в медико-биологической практике
- 280202.65 - инженерная защита окружающей среды

Институт управления производственными и инновационными программами

- 080502.65 - экономика и управление на предприятии

Институт радиоэлектроники

- 200501.65 - метрология и метрологическое обеспечение

Институт системного анализа, автоматизации и управления

- 220301.65 - автоматизация технологических процессов и производств

Направления подготовки бакалавра и магистра: 080500.62, 140100.62, 140200.62, 140600.62, 151000.62, 200100.62, 200500.62, 220100.62, 280200.62, 200100.68, 220100.68

Утверждено редакционно-издательским советом университета
УДК 669.017(07)

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ (технология конструкционных материалов):

Учебно-методический комплекс / сост. Е.В. Шадричев, А.В. Сивенков, Т.П. Горшкова - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008.- 309 с.

Учебно-методический комплекс разработан в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования.

В методическом комплексе приведены рабочая программа, тематический план дисциплины, структурно-логическая схема и временной график изучения дисциплины, тематический план лекций, перечень лабораторных работ, рекомендуемая литература, опорный конспект лекций по основным темам дисциплины, задание на контрольную работу и методические указания к ее выполнению, а также вопросы для самопроверки, тесты и глоссарий. Большая часть рабочей программы и соответственно контрольных заданий посвящена металлическим сплавам – основным конструкционным и инструментальным материалам промышленности. Кроме того рассматриваются пластмассы – наиболее распространенные неметаллические материалы машино- и приборостроения.

УМК предназначен для студентов специальности 140211.65, 140101.65, 140104.65, 140601.65, 140602.65, 151001.65, 150202.65, 220301.65, 240401.65, 240301.65, 280202.65, 080502.65, 190601.65, 190205.65, 190701.65, 200101.65, 200501.65, 200402.65, изучающих дисциплины «Материаловедение», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов»

Рассмотрено и утверждено кафедрой материаловедения, технологии материалов и покрытий 5 июня 2007 г., одобрено методической комиссией Машиностроительно-технологического института 21 июня 2007 г.

Рецензенты:

кафедра материаловедения, технологии материалов и покрытий МТИ СЗТУ (зав. кафедрой Е.И. Пряхин, д-р техн. наук, проф.);

А.Н. Ефимов, канд. техн. наук, доц. кафедры «Технологии конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Составители: Е.В. Шадричев, канд. физ-мат. наук, доц.;

А.В. Сивенков, доц.;

Т.П. Горшкова, канд. техн. наук, доц.

1. ИНФОРМАЦИЯ О ДИСЦИПЛИНЕ

1.1. ПРЕДИСЛОВИЕ

Материаловедение – наука, изучающая связь между химическим составом, структурой и свойствами материалов и закономерности изменения этих свойств под влиянием внешних воздействий, реализуемых в процессе производства, упрочняющей обработки и эксплуатации изделий из этих материалов.

Материаловедение – прикладная наука, ее фундаментом являются разделы физики и химии, посвященные атомной структуре химических элементов, строению и свойствам реальных кристаллов, природе кристаллических фаз, закономерностям процессов кристаллизации и фазовых превращений в твердых телах.

Объектом изучения дисциплины «Материаловедение» являются главным образом конструкционные и инструментальные материалы. Обычно курс материаловедения делится на две части: «Металловедение и термическая обработка металлов» и «Неметаллические материалы». В данном УМК дана более подробная рубрикация, в основном это касается части, посвященной металлическим сплавам (см. «Структурную схему дисциплины» - стр. 31). Это наиболее распространенные промышленные материалы, они достаточно хорошо изучены и традиционно занимают большую часть курса «Материаловедение».

Хотя материаловедение изучается студентами большинства специальностей политехнических вузов на 2 курсе как общеинженерная дисциплина, она закладывает основы профессиональных знаний и умений, позволяющих решать производственные конструкторские и технологические задачи, связанные с оптимизацией выбора материалов и технологий изготовления и упрочнения изделий различного назначения.

Очевидно, что роль дисциплины «Материаловедение» в подготовке инженеров различных специальностей может заметно отличаться. Наибольшее значение она имеет для студентов машино - и приборостроительных (15104.65, 150202.65, 190205.65, 200101.65, 190601.65) и родственных им (140101.65, 140104.65, 140601.65, 140602.65, 220301.65, 280202.65) специальностей.

Однако любой выпускник технического вуза независимо от специальности должен иметь базовые представления о строении и свойствах **основных промышленных материалов** и методах целенаправленного изменения этих свойств.

Итак, на основании изложенного выше очевидно, что **задачей изучения дисциплины «Материаловедение»** является овладение знаниями:

- закономерностей, связывающих химический состав, структуру и свойства материалов;
- методов целенаправленного изменения их свойств;
- химического состава, свойств и областей применения основных промышленных материалов, а также способов и режимов их упрочнения.

Цель изучения дисциплины – материаловедческая подготовка инженера, способного производить оптимальный выбор материалов и технологий изготовления и упрочняющей обработки изделий различного назначения.

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- закономерности и практические способы воздействия на механические свойства металлических сплавов путем изменения их химического состава и структуры;
- классификацию, маркировку, механические свойства, режимы упрочняющей термической обработки и области применения сталей - основных материалов промышленности;
- характерные особенности строения и свойств полимерных материалов.

Иметь представление о:

- методах определения механических свойств материалов;
- закономерностях процесса кристаллизации;
- принципах анализа диаграмм состояния двойных сплавов и практическом использовании диаграмм состояния;
- влиянии химического состава и структуры сплавов на их технологические свойства;
- влиянии пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов;

- химико-термической обработке и других методах поверхностного упрочнения металлических изделий;
- свойствах и областях применения сталей и сплавов с особыми свойствами и основных групп цветных сплавов;
- дефектах стальных изделий и путях их предотвращения;
- строении, свойствах и областях применения неметаллических материалов (пластмасс, стекла, керамики) и композитов на различной основе;
- основных направлениях рационального выбора материалов для изделий различного назначения.

Уметь:

- пользоваться оптическим микроскопом для изучения структуры материалов;
- производить закалку и отпуск сталей различных марок;
- измерять твердость для контроля результатов термической обработки;
- работать с учебной, а при необходимости – научной и справочной литературой по материаловедению;
- выбирать материалы, способы и режимы упрочняющей обработки для изделий различного назначения.

Место дисциплины в учебном процессе:

Для освоения курса «Материаловедение» кроме соответствующих разделов физики и химии (отмеченных в начале предисловия) желательно знание основ таких дисциплин» как «Соппротивление материалов», «Детали машин», «Теория машин и механизмов»¹.

В свою очередь знания и умения, приобретенные при изучении курса материаловедения, будут использованы в процессе освоения последующих дисциплин – «Технология конструкционных материалов», «Прикладная механика» и других дисциплин, связанных с конструированием, технологией производства, эксплуатацией и ремонтом машин, приборов, оборудования различного назначения, а также в курсовых и дипломных работах.

¹К сожалению в учебных планах ряда специальностей эти дисциплины изучаются параллельно или позже курса материаловедения. В таком случае материаловедческая подготовка будет полезна для освоения этих дисциплин.

1.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

1.2.1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ГОС

Специальность	Содержание стандартов	Часы
140101.65 140104.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Ч.1. Материаловедение: номенклатура технических материалов в теплоэнергетике, их структура и основные свойства; атомно-кристаллическое строение металлов; фазово-структурный состав сплавов; типовые диаграммы состояния; железо и сплавы на его основе; деформация, термическая обработка металлических материалов; новые металлические материалы; неметаллические материалы; композиционные и керамические материалы.</p>	70
140211.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Ч.1. Основы материаловедения: типы твердых тел, их свойства; атомно-кристаллическое строение, фазово-структурный состав сплавов; типовые диаграммы состояния; деформация, термическая обработка, наклеп, рекристаллизация; металлические материалы; новые металлические и неметаллические материалы.</p>	90
140601.65 140602.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Основы конструкционного и электротехнического материаловедения: агрегатные состояния, дефекты строения и их влияние на свойства материалов; термическая обработка; конструкционные материалы, металлы и сплавы; обработка деталей электротехнического оборудования; проводниковые, полупроводниковые, диэлектрические и магнитные электротехнические материалы; природные, искусственные и синтетические материалы, классификации материалов по агрегатному состоянию, химическому составу, функциональному назначению; связь химического состава материалов с их свойствами, зависимость свойств от внешних условий; технологии получения и применения электротехнических материалов, как компонентов электроэнергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования; связь параметров, ха-</p>	80

	<p>рактических свойства электротехнических материалов, с параметрами электроэнергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования.</p>	
150202.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Ч.1. Материаловедение: строение материалов. Кристаллизация и структура металлов и сплавов. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Классификация сплавов. Диаграммы состояния сплавов. Деформация и разрушение. Механические свойства материалов. Способы упрочнения металлов и сплавов. Железо и его сплавы. Диаграмма железо-цементит. Стали: классификация, автоматные стали. Чугуны: белые, серые, высокопрочные, ковкие. Влияние легирующих элементов на превращения, структуру, свойства сталей. Теория термической обработки. Диаграмма изотермического превращения аустенита. Виды и разновидности термической обработки: отжиг, закалка, отпуск, нормализация. Поверхностная закалка; химико-термическая обработка: цементация, азотирование, нитроцементация, ионное азотирование. Углеродистые и легированные конструкционные стали; назначение, термическая обработка, свойства. Стали, устойчивые против коррозии, жаропрочные стали и сплавы. Инструментальные материалы: инструментальные и быстрорежущие стали, твердые сплавы и режущая керамика, сверхтвердые материалы, материалы абразивных инструментов. Цветные металлы и сплавы, их свойства и назначение; медные, алюминиевые, титановые и цинковые сплавы. Неметаллические материалы. Полимеры; строение, полимеризация и поликонденсация, свойства. Пластмассы: термопластичные, терморезистивные, газонаполненные, эластомеры, резины, клеи, герметики. Стекло: неорганическое и органическое, ситаллы, металлические стекла. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора. Композиционные материалы</p>	120
151001.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Ч.1. Материаловедение: Строение материалов. Кристаллизация и структура металлов и сплавов. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Классификация сплавов. Диаграммы состояния сплавов. Деформация и разрушение. Механические свойства материалов. Способы упрочнения металлов и сплавов. Железо и его сплавы.</p>	120

	<p>Диаграмма железо-цементит. Стали: классификация, автоматные стали. Чугуны: белые, серые, высокопрочные, ковкие. Влияние легирующих элементов на превращения, структуру, свойства сталей. Теория термической обработки. Диаграмма изотермического превращения аустенита. Виды и разновидности термической обработки: отжиг, закалка, отпуск, нормализация. Поверхностная закалка; химико-термическая обработка: цементация, азотирование, нитроцементация, ионное азотирование. Углеродистые и легированные конструкционные стали; назначение, термическая обработка, свойства. Стали, устойчивые против коррозии, жаропрочные стали и сплавы. Инструментальные материалы: инструментальные и быстрорежущие стали, твердые сплавы и режущая керамика, сверхтвердые материалы, материалы абразивных инструментов. Цветные металлы и сплавы, их свойства и назначение; медные, алюминиевые, титановые и цинковые сплавы. Неметаллические материалы. Полимеры; строение, полимеризация и поликонденсация, свойства. Пластмассы: термопластичные, терморезистивные, газонаполненные, эластомеры, резины, клеи, герметики. Стекло: неорганическое и органическое, ситаллы, металлические стекла. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора. Композиционные материалы.</p>	
190205.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Ч.1. Материаловедение: строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; химико-термическая обработка, жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы; электротехнические материалы, резина, пластмассы.</p>	80
190601.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Ч.1. Материаловедение: строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов. Стали и чугуны. Конструкционные металлы и</p>	70

	сплавы. Сплавы атомной энергетики. Цветные металлы и сплавы. Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка. Жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы. Неметаллические материалы. Электротехнические материалы, резина, пластмассы. Поведение материалов в эксплуатации.	
190701.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p><i>Ч.1. Материаловедение:</i> строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; пластмассы.</p>	70
200101.65	<p>Материаловедение и технология конструкционных материалов.</p> <p><i>Материаловедение:</i> строение металлов и сплавов, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов, конструкционные материалы, термическая и химико-термическая обработка металлов, конструкционные пластики, композиты, электротехнические материалы; технология конструкционных материалов: получение заготовок литьем и пластическим деформированием, пайка и склеивание материалов, формообразование поверхностей деталей резанием, электрофизическими и электрохимическими способами обработки, обработка поверхностей деталей абразивным инструментом, точность обработки и шероховатость поверхности деталей, типовое технологическое оборудование и инструменты.</p>	100
200402.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p><i>Ч.1. Материаловедение:</i> строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; химико-термическая обработка; жаропрочные, износостойкие, ин-</p>	110

	<p>струментальные и штамповочные сплавы; материалы для биологических применений; основные физико-химические свойства конструкционных материалов для применений в биологии и медицине; материалы для искусственных сосудов, клапанов сердца, суставных и других протезов; проблема совместимости биологических и технических материалов; методика работы со справочной литературой по материаловедению.</p>	
200501.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов. Конструкционные металлы и сплавы. Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка. Жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы. Основы технологии конструкционных материалов.</p>	68
220301.65	<p>Материаловедение.</p> <p>Строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов. Конструкционные металлы и сплавы. Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка. Жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы. Материалы, применяемые в различных отраслях промышленности. Электротехнические материалы, резина, пластмассы, композиционные материалы и др. Основы производства материалов. Формообразование заготовок. Производство заготовок различными способами. Сварка, пайка, склеивание материалов. Получение композиционных материалов. Изготовление изделий из композиционных материалов: металлических, порошковых, эвтектических, полимерных. Изготовление резиновых полуфабрикатов и деталей. Формирование поверхностей деталей резанием, электрофизическими и электрохимическими способами обработки. Выбор способа обработки.</p>	120

240301.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p><i>Материаловедение:</i> строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; химико-термическая обработка; жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы; явление коррозии, коррозионные потери, классификация коррозионных процессов, химическая и электрохимическая коррозия, методы защиты от коррозии; электротехнические материалы, резина, пластмассы.</p>	70
240401.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; химико-термическая обработка; жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы; явление коррозии, коррозионные потери, классификация коррозионных процессов, химическая и электрохимическая коррозия, методы защиты от коррозии; электротехнические материалы, резина, пластмассы.</p>	70
280202.65	<p>Материаловедение. Технология конструкционных материалов.</p> <p>Строение металлов; диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; химико-термическая обработка; жаропрочные, износостойкие, инструментальные и штамповочные сплавы.</p>	85

1.2.2. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Код и название дисциплины	Шифр дисциплины	Специальности	Форма обучения	Вид учебной работы							
				Общая трудоемкость дисциплины	Работа под руководством преподавателя	В т.ч. аудитор-ные заня-тия:		Самостоятельная работа студента	Промежуточный контроль, количество	Контрольная работа (реферат)	Вид итогового контроля (зачет, экзамен)
						Лекции	Лабораторные работы (ЛР)				
814 Материаловедение и ТКМ	ОПД.Ф.03	220301.65	очная	70	42	18	16	28	1	-	Экз
812 Материаловедение. ТКМ ч1	ОПД.Ф.02	140104.65 140101.65	очно-заочная			12	8		1	1	Зач
1416 Материаловедение	ОПД.Ф.03	190701.65				10	8		1	1	
	ОПД.Ф.03.01	190601.65				4	4		1	1	
819 Материаловедение. ТКМ	ОПД.Ф.06	240301.65									
	ОПД.Ф.11	240401.65									
	ОПД.Ф.03	200501.65	заочная								
1638 Материаловедение		220100.62	очная			24	8			-	
			заочная	8	4		-				
1413 Материаловедение	ОПД.Ф.03.01	190205.65	очно-заочная	80	48	12	8	32	1	1	Экз
810 Материаловедение (ТКМ)	ОПД.Ф.02	140601.65									

		140602.65	заочная			2					Зач
1641 Материаловедение и ТКМ	ОПД.Ф.10	280202.65	очно-заочная	85	51	12	8	34	1	1	Экз
			заочная			8	4				
998 Основы материаловедения	ОПД.Ф.02	140211.65	очно-заочная	90	54	10	12	36	1	1	Зач
			заочная			4	8				
814 Материаловедение и ТКМ	ОПД.Ф.03	200101.65	очная	90	54	24	20	36	1	-	Экз
			очно-заочная	100	60	10	16	40		1	
			заочная			4	8				
808 Материаловедение	ОПД.Ф.02	080502.65	очно-заочная	100	60	14	12	40	1	1	Экз
			заочная			8	4				
	ОПД.Ф.03	200402.65	очно-заочная	110	66	12	16	44	1	1	Экз
814 Материаловедение и ТКМ	ОПД.Ф.03	220301.65	очно-заочная	120	72	14	16	48	1	1	Экз
808 Материаловедение	ОПД.Ф.03.01	151001.65	заочная			2	12				
809 Материаловедение	ОПД.Ф.03.01	150202.65	очно-заочная			14	16				
			заочная	6	8						

2. РАБОЧИЕ УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

(Объем дисциплины 120 часов)

ВВЕДЕНИЕ (2 часа)

[1], с. 3...6, или [2], с. 4...5; [3], с. 13...20; [4], с. 9...32

Содержание и задачи курса. Его место в подготовке инженеров, специализирующихся в области конструирования, производства и эксплуатации машин, приборов, механизмов и оборудования различного назначения. Роль материалов в современной технике. Краткий исторический очерк развития материаловедения.

2.1.1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ (4 часа)

[1], с. 7...24, или [2], с. 7...67; [3], с. 20...40; [4], с. 9...32

Характер межатомной связи в металлах. Свойства металлов, определяемые металлическим типом связи. Кристаллическое строение металлов. Типы кристаллических решеток. Анизотропия свойств металлов. Основные несовершенства кристаллического строения и их влияние на свойства металлов. Прочность идеальных (бездефектных) и реальных кристаллических тел. Пути повышения прочности металлов.

2.1.2. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ (4 часа)

[1], с. 24...36 или [2], с. 68...86; [3], с. 40...47; [4], с. 38...53

Особенности жидкого состояния металлов. Энергетические условия и механизм процесса кристаллизации. Закономерности образования и роста кристаллов. Зависимость скорости кристаллизации от степени переохлаждения расплава. Аморфные металлы (металлические стекла). Влияние скорости охлаждения при кристаллизации на величину зерна в затвердевшем металле. Роль примесей. Сущность процесса модифицирования. Строение слитка.

Превращения в твердом состоянии. Аллотропия (полиморфизм). Поли-

морфные превращения в железе.

2.1.3. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

(4 часа)

[1], с. 68...73, или [2], с. 122...140; [3], с. 60...68; [4], с. 35...62, 76...87

Упругая и пластическая деформации. Дислокационный механизм пластической деформации металлов.

Влияние пластической деформации на строение металла. Изменение механических и физических свойств металла в результате пластической деформации. Явление наклепа.

Изменение структуры и физико-механических свойств наклепанного металла при нагреве. Явления возврата и рекристаллизации. Порог рекристаллизации и влияние на него различных факторов. Холодная и горячая пластическая деформация металлов.

2.1.4. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ, ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ

(8 часов)

[1], с. 37...65, или [2], с. 87...99, 47...54; [3], с. 168...190; [4], с. 88...140

Понятия о системе, компоненте, фазе. Механические смеси. Химические соединения в сплавах. Твердые растворы и их разновидности.

Диаграммы состояния и их практическое значение. Правило фаз. Методы построения диаграмм состояния. Диаграммы состояния двойных сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов. Эвтектическое превращение. Правило отрезков. Диаграммы состояния двойных сплавов для случаев полной взаимной растворимости и ограниченной растворимости компонентов в твердом состоянии. Перитектическое превращение. Неравновесная кристаллизация. Ликвация в сплавах и ее разновидности.

Диаграммы состояния сплавов, образующих химические соединения, и сплавов, испытывающих полиморфные превращения. Определение с помощью

диаграмм состояния температур плавления и затвердевания сплавов, химического состава фаз, относительного количества фаз и структурных составляющих. Связь между характером диаграмм состояния и свойствами сплавов (закон Курнакова).

2.1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ (4 часа)

[1], с. 75...80, 87...117, или [2], с. 47...60, 222...236; [3], с. 69...143;
[4], с. 70...75

Понятие конструкционной прочности материалов. Характеристики, определяющие конструкционную прочность - прочность, надежность и долговечность. Основные критерии оценки прочности, надежности и долговечности материалов. Пути повышения конструкционной прочности металлических изделий.

2.1.6. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ (10 часов)

[1], с. 118...134, 144...155, или [2], с. 99...110, 237...302;
[3], с. 194...210, 224...233; [4], с. 142...198

Свойства железа, углерода и цементита. Основные фазы, присутствующие в железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии. Аустенит, феррит, цементит, графит. Диаграмма состояния железо - цементит. Превращения в железоуглеродистых сплавах различного состава при медленном охлаждении. Структурные составляющие в железоуглеродистых сплавах. Классификация железоуглеродистых сплавов. Техническое железо. Сталь. Белый чугун.

Углеродистые стали. Возможные примеси в сталях и их влияние на свойства. Зависимость свойств сталей от содержания углерода. Классификация и маркировка углеродистых сталей по ГОСТ. Углеродистые стали обыкновенного качества и качественные. Автоматные стали.

Чугуны. Условия образования метастабильной системы (железо - цементит) и стабильной системы (железо - графит). Влияние скорости охлаж-

дения и примесей на процесс графитизации. Классификация чугунов по форме графита и строению металлической основы. Серые чугуны. Модифицирование чугунов. Высокопрочный чугун, его структура и свойства. Ковкий чугун, его структура и условия получения. Маркировка чугунов по ГОСТ.

Применение углеродистых сталей и чугунов в машино- и приборостроении.

2.1.7. ТЕОРИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ (10 часов)

[1], с. 156...190, или [2], с. 142...174; [3], с. 236...260; [4], с. 199...255

Сущность, назначение и основные виды термической обработки стали.

Превращения в стали при нагреве. Образование аустенита. Рост аустенитного зерна. Влияние величины зерна на свойства стали.

Превращения в стали при охлаждении. Кинетика превращения переохлажденного аустенита. Диаграмма изотермического превращения аустенита (С-образная диаграмма). Структура и свойства продуктов превращения аустенита: перлита, сорбита, троостита, бейнита.

Мартенситное превращение аустенита и его особенности. Критическая скорость закалки. Структура и свойства мартенсита.

Остаточный аустенит, причины его сохранения при закалке.

Превращения в закаленной стали при отпуске. Изменение структуры и свойств закаленной стали в процессе отпуска. Отличие структур, образуемых в результате отпуска закаленной стали, от аналогичных структур, образуемых при закалке.

Термомеханическая обработка стали и ее разновидности. Структурные изменения, совершающиеся в стали при термомеханической обработке.

2.1.8. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ (6 часов)

[1], с. 191...227, или [2], с. 174...195; [3], с. 260...278; [4], с. 256...283

Основные виды термической обработки стали - отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжиг стали. Полный и неполный отжиг. Изотермический отжиг. Диффузионный отжиг (гомогенизация). Отжиг на зернистый перлит (сфероидизация). Рекристаллизационный отжиг. Нормализация. Структура и свойства стали после отжига и нормализации.

Закалка стали. Выбор температуры нагрева. Условия нагрева изделий при термической обработке. Охлаждающие среды при закалке. Прокаливаемость и ее влияние на свойства закаленной стали. Факторы, влияющие на прокаливаемость. Дефекты закаленной стали и меры их предупреждения. Виды закалки (обычная, прерывистая, ступенчатая, изотермическая) и их особенности. Методы поверхностной закалки: закалка с индукционным и газопламенным нагревом и с использованием высококонцентрированных источников энергии (закалка с лазерным и электронно-лучевым нагревом).

Отпуск закаленной стали. Виды отпуска: низкий, средний, высокий. Структура и свойства стали после различных видов отпуска. Примеры применения упрочняющей термической обработки стальных изделий в различных отраслях машиностроения.

2.1.9. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ (6 часов)

[1], с. 228...249, или [2], с. 196...220; [3], с. 278...284; [4], с. 284...302

Физические основы химико-термической обработки.

Цементация, ее назначение и способы осуществления. Структура стали после цементации. Термическая обработка цементованных изделий.

Азотирование, его назначение и способы осуществления. Стали для азотирования. Цианирование стали, его назначение и способы осуществления. Борирование и диффузионное насыщение стали металлами.

Современные методы получения твердых износостойких покрытий. Химическое осаждение покрытий из газовой фазы. Плазменное и вакуумное ионно-плазменное нанесение покрытий.

2.1.10. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА СТАЛИ И НА ПРОЦЕССЫ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ (6 часов)

[1], с. 134...143, 259...312 или [2], с. 110...117, 250...282;

[3], с. 210...224; [4], с. 307...322

Цели легирования стали. Наиболее распространенные легирующие элементы. Влияние легирующих элементов на полиморфные превращения в железе и свойства феррита. Взаимодействие легирующих элементов с углеродом. Влияние легирующих элементов на превращение переохлажденного аустенита и прокаливаемость стали, на мартенситное превращение и количество остаточного аустенита, на склонность стали к росту зерна и процессы отпуска закаленной стали. Технологические особенности термической обработки легированной стали.

Классификация легированных сталей по структуре, составу, назначению. Маркировка легированных сталей по ГОСТ.

2.1.11. КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ (6 часов)

[1], с. 252...290 или [2], с. 222...282; [3], с. 303...320; [4], с. 322...354

Требования к конструкционным сталям. Преимущества легированной конструкционной стали перед нелегированной. Роль легирующих элементов. Отпускная хрупкость конструкционных сталей и способы ее предотвращения. Свариваемость стали. Строительные стали.

Цементуемые, улучшаемые и высокопрочные конструкционные стали; их назначение, свойства, составы, режимы термической обработки. Примеры конструкционных сталей каждого типа.

Пружинные стали; шарикоподшипниковые стали; их свойства, режимы термической обработки.

Выбор марки конструкционной стали в зависимости от назначения изделий, их размеров и условий нагружения.

2.1.12. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ И ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ (6 часов)

[1], с. 349...366 или [2], с. 608...629; [3], с. 320...336; [4], с. 355...382

Классификация инструментальных сталей по назначению. Стали для режущего и измерительного инструмента, их термическая обработка. Назначение отдельных легирующих элементов. Быстрорежущие стали, их состав, структура и свойства. Природа их красностойкости. Термическая обработка быстрорежущих сталей.

Стали для штампов холодной и горячей штамповки. Требования, предъявляемые к ним, и режимы термической обработки. Назначение легирующих элементов. Выбор сталей для штампов различного назначения, размеров и условий работы.

Литые и металлокерамические твердые сплавы, их свойства, назначение и способы изготовления. Наиболее распространенные марки литых и металлокерамических твердых сплавов.

2.1.13. СТАЛИ И СПЛАВЫ С ОСОБЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ (8 часов)

[1], с. 290...312, 367...376 или [2], с. 326...348, 470...607;
[3], с. 336...447; [4], с. 382...434, 453...477

Окалиностойкие и жаропрочные стали и сплавы. Особенности поведения материалов при повышенных температурах. Окалиностойкость и ее природа. Примеры окалиностойких сталей. Характеристики жаропрочности (пределы ползучести и длительной прочности). Классификация, состав, термическая обработка и температурные пределы применения жаропрочных сталей и сплавов.

Нержавеющие стали и их классификация. Природа коррозионной стойкости нержавеющих сталей, области их применения, термическая обработка. Примеры марок сталей каждого класса. Межкристаллитная коррозия нержавеющих сталей и способы ее предотвращения.

Износостойкие стали, их состав, термическая обработка, свойства и области применения. Природа повышенной износостойкости.

Сплавы с особенностями теплового расширения, их состав, свойства и наиболее распространенные марки.

Магнитные стали и сплавы, их классификация. Магнитомягкие и магнитотвердые стали и сплавы. Требования, предъявляемые к ним. Выбор магнитомягких и магнитотвердых материалов для изделий различного назначения. Немagnetные стали и чугуны.

Сплавы с особенностями электрического сопротивления. Проводниковые материалы, реостатные сплавы, сплавы для нагревательных элементов, их состав, свойства и наиболее распространенные марки.

2.1.14. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ (4 часа)

[1], с. 378...384 или [2], с. 406...426; [3], с. 490...503; [4], с. 434...442

Свойства титана. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства титана. Классификация титановых сплавов, их важнейшие преимущества, маркировка, способы термической обработки, области применения. Коррозионная стойкость титана.

2.1.15. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ И МАГНИЯ (6 часов)

[1], с. 384...406 или [2], с. 357...382; [3], с. 476...490; [4], с. 479...508

Свойства и применение алюминия. Основы теории термической обработки алюминиевых сплавов. Связь между диаграммами состояния алюминиевых сплавов и их технологическими свойствами. Литейные и деформируемые сплавы. Сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

Дуралюмин и другие деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой. Их состав, термическая обработка, области применения, маркировка. Наиболее распространенные марки деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой.

Силумин и другие литейные алюминиевые сплавы: требования к ним.

Повышение свойств литейных алюминиевых сплавов путем модифицирования.

Жаропрочные алюминиевые сплавы. Спеченные алюминиевые сплавы (САС, САП).

Применение алюминиевых сплавов в машино- и приборостроении. Важнейшие сплавы на основе магния, их маркировка, состав, свойства и области применения.

2.1.16. СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ МЕДИ (4 часа)

[1], с. 406...417 или [2], с. 302...318; [3], с. 503...520; [4], с. 509...523

Свойства и применение технической меди. Сплавы на основе меди. Латунь; изменение их структуры и механических свойств в зависимости от содержания цинка. Классификация латуней по составу, структуре и технологическим свойствам. Маркировка латуней. Свойства и применение латуней различных марок.

Влияние содержания олова на структуру и свойства оловянных бронз. Классификация бронз по технологическим свойствам. Состав, свойства и области применения оловянных и безоловянных (алюминиевых, бериллиевых) бронз. Маркировка обрабатываемых давлением и литейных бронз.

2.1.17. ПОДШИПНИКОВЫЕ СПЛАВЫ И ПРИПОИ (4 часа)

[1], с. 418...422 или [2], с. 326...337, 341...347, 377...579;

[3], с. 313...314, 519...520; [4], с. 524...532

Требования к подшипниковым сплавам. Особенности их структуры. Баббиты, их состав, структура, свойства и наиболее распространенные марки. Антифрикционные бронзы и чугуны.

Порошковые (металлокерамические) антифрикционные материалы.

Классификация, состав и применение припоев. Свойства и назначение мягких и твердых припоев.

2.1.18. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (4 часа)

[1], с. 422...427 или [2], с. 434...469; [3], с. 639...654

Виды композиционных материалов, их классификация, строение и свойства, преимущества и недостатки.

Композиционные материалы с металлической матрицей.

2.1.19. ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ (4 часа)

[1], с. 428...431 или [2], с. 555...538, 619...621; [3], с. 455...461

Порошковые материалы, их свойства, преимущества и недостатки, способы получения. Конструкционные, инструментальные и специальные порошковые материалы, области их применения.

2.1.20. ПЛАСТМАССЫ (6 часов)

[1], с. 434...481 или [2], с. 39...44, 382...395; [3], с. 566...594

Пластмассы – материалы на основе полимеров. Полимеры: основные понятия; особенности высокомолекулярного строения полимеров. Форма (структура) макромолекул – линейная, лестничная, сетчатая (замкнутая пространственная).

Физические состояния полимеров – стеклообразное, высокоэластичное, вязкотекучее. Термомеханические кривые. Природа высокой эластичности.

Механические свойства полимеров. Типичные диаграммы растяжения термопластичных и терморезистивных полимеров в стеклообразном состоянии. Влияние температуры и скорости нагружения на прочность полимеров. Долговечность полимеров. Старение полимеров, пути его сдерживания.

Пластмассы; их состав, роль различных компонентов. Классификация пластмасс. Особенности строения и свойств термо- и реактопластов. Полимерные армированные материалы.

Принципиальные особенности технологии переработки пластмасс в изделия. Применение пластмасс в различных отраслях промышленности.

2.1.21. ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН (4 часа)

[1], с. 313...348 или [2], с. 47...48, 221...236, 273...282, 326...334;
[3], с. 680...693

Факторы, определяющие работоспособность изделий различного назначения. Виды повреждений изделий в зависимости от условий их эксплуатации. Эксплуатационные, технологические и экономические требования к промышленным материалам. Выбор материалов и методов упрочнения изделий в зависимости от основных видов отказов при эксплуатации. Сравнительный анализ экономической эффективности материалов и технологий изготовления изделий из них.

В соответствии с приведенной выше рабочей программой составлены Тематический план (раздел 2.2) и Структурно-логическая схема (раздел 2.3) дисциплины «Материаловедение».

2.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

2.2.1. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

№ п/п	Наименование темы рабочей программы	№ ЛР	151001.65 Кол-во часов по дневной форме обучения	Виды занятий и кон- троля				
				Л аудит./ ДОГ	ЛР аудит./ ДОГ	Самост-я работа	Тесты	КР
	ВСЕГО		120	48/4	24/8	48		
1.	Введение		2	1				
2.	2.1.1. Строение и свойства металлов		4	2/1		2		
3.	2.1.2. Кристаллизация металлов	1	4	2/1	1/-	1		
4.	2.1.4. Изменение структуры и свойств металлов при пластической деформации и рекристаллизации	3	4	2/-	2			
5.	2.1.4. Металлические сплавы, диаграммы состояния	2	8	6/-	2/-			
6.	2.1.5. Механические свойства и конструкционная прочность металлов и сплавов		4	2/1		2		
7.	2.1.6. Железоуглеродистые сплавы	4,5	10	5/-	2/2	3		
8.	2.1.7. Теория термической обработки стали	6	10	2/-	3/2	5		
9.	2.1.8. Технология термической обработки стали	6	6	2/-		4		
10.	2.1.9. Химико-термическая обработка стали и другие методы получения износостойких покрытий		6	4/-		2		
11.	2.1.10. Влияние легирующих элементов на свойства стали и на процессы фазовых превращений	7	6	3/-	3/2			

12.	2.1.11. Конструкционные стали	11, 12	6	1/-	1/-	4		
13.	2.1.12. Инструментальные стали и твердые сплавы	8	6	1/-	1/-	4		
14.	2.1.13. Стали и сплавы с особыми физико-механическими свойствами		8	1/-	3/-	6		
15.	2.1.14. Титан и его сплавы		4	2/-		2		
16.	2.1.15. Сплавы на основе алюминия и магния	9	6	2/-	2/-	2		
17.	2.1.16. Сплавы на основе меди	10	4	1/-	1/-	2		
18.	2.1.17. Подшипниковые сплавы и припои	11	4	1/-	1/-	2		
19.	2.1.18. Композиционные материалы		4	2/-		2		
20.	2.1.19. Порошковые материалы		4	2/-		2		
21.	2.1.20. Пластмассы	13	6	2/-	2/-	2		
22.	2.1.21. Основы рационального выбора материалов и методов упрочнения деталей машин		4	2/-		2		

2.2.2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

№ п/п	Наименование темы рабочей программы	№ ЛР	151001.65 Кол-во часов по дневной форме обучения	Виды занятий и кон- троля						
				Л		ЛР		Самост-я работа	Тесты	КР
				аудит./ ДОТ	аудит./ ДОТ	аудит./ ДОТ	аудит./ ДОТ			
	ВСЕГО		120	14/26	16/16	48		1		
1.	Введение		2	-/1						
2.	2.1.1. Строение и свойства металлов		4	-/1		2				
3.	2.1.2. Кристаллизация металлов	1	4	-/1	2/2	1				

4.	2.1.4. Изменение структуры и свойств металлов при пластической деформации и рекристаллизации	3	4	1/1	2/2			
5.	2.1.4. Металлические сплавы, диаграммы состояния	2	8	-/3				
6.	2.1.5. Механические свойства и конструкционная прочность металлов и сплавов		4	-/1		2		
7.	2.1.6. Железоуглеродистые сплавы	4,5	10	1/1	2/2	3		
8.	2.1.7. Теория термической обработки стали	6	10	1/2	2/2	5		
9.	2.1.8. Технология термической обработки стали	6	6	1/2		4		
10.	2.1.9. Химико-термическая обработка стали и другие методы получения износостойких покрытий		6	1/2		2		
11.	2.1.10. Влияние легирующих элементов на свойства стали и на процессы фазовых превращений	7	6	1/2	2/2			
12.	2.1.11. Конструкционные стали	11, 12	6	1/1	2/2	4		
13.	2.1.12. Инструментальные стали и твердые сплавы	8	6	1/1		4		
14.	2.1.13. Стали и сплавы с особыми физико-механическими свойствами		8	1/1		6		
15.	2.1.14. Титан и его сплавы		4	1/1		2		
16.	2.1.15. Сплавы на основе алюминия и магния	9	6	1/1	1/1	2		
17.	2.1.16. Сплавы на основе меди	10	4		1/1	2		
18.	2.1.17. Подшипниковые сплавы и припои	11	4		1/1	2		
19.	2.1.18. Композиционные материалы		4	1/1		2		
20.	2.1.19. Порошковые материалы		4	-/1		2		
21.	2.1.20. Пластмассы	13	6	1/1	1/1	2		

22.	2.1.21. Основы рационального выбора материалов и методов упрочнения деталей машин		4	1/1		2		
-----	---	--	---	-----	--	---	--	--

2.2.3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

№ п/п	Наименование темы рабочей программы	№ ЛР	Кол-во 151001.65 часов по дневной форме обучения	Виды занятий и кон- троля				
				Л	ЛР	Самост-я работа	Тесты	КР
				аудит./ ДОГ	аудит./ ДОГ			
	ВСЕГО		120	2/42	12/16	48		1
1.	Введение		2	-/2				
2.	2.1.1. Строение и свойства металлов		4	-/2		2		
3.	2.1.2. Кристаллизация металлов	1	4	-/1	-/2	1		
4.	2.1.4. Изменение структуры и свойств металлов при пластической деформации и рекристаллизации	3	4	-/2	2			
5.	2.1.4. Металлические сплавы, диаграммы состояния	2	8	-/6				
6.	2.1.5. Механические свойства и конструкционная прочность металлов и сплавов		4	-/2		2		
7.	2.1.6. Железоуглеродистые сплавы	4,5	10	1/-	4	3		
8.	2.1.7. Теория термической обработки стали	6	10	1	4	5		
9.	2.1.8. Технология термической обработки стали	6	6	-/4		4		
10.	2.1.9. Химико-термическая обработка стали и другие методы получения износостойких покрытий		6	-/4		2		

11.	2.1.10. Влияние легирующих элементов на свойства стали и на процессы фазовых превращений	7	6	-/4	-/2			
12.	2.1.11. Конструкционные стали	11, 12	6		-/2	4		
13.	2.1.12. Инструментальные стали и твердые сплавы	8	6	-/2		4		
14.	2.1.13. Стали и сплавы с особыми физико-механическими свойствами		8	-/2		6		
15.	2.1.14. Титан и его сплавы		4	-/2		2		
16.	2.1.15. Сплавы на основе алюминия и магния	9	6	-/2	2/-	2		
17.	2.1.16. Сплавы на основе меди	10	4		-/2	2		
18.	2.1.17. Подшипниковые сплавы и припои	11	4		-/2	2		
19.	2.1.18. Композиционные материалы		4	-/2		2		
20.	2.1.19. Порошковые материалы		4	-/2		2		
21.	2.1.20. Пластмассы	13	6	-/2	2/-	2		
22.	2.1.21. Основы рационального выбора материалов и методов упрочнения деталей машин		4	-/2		2		1

ВНИМАНИЕ!

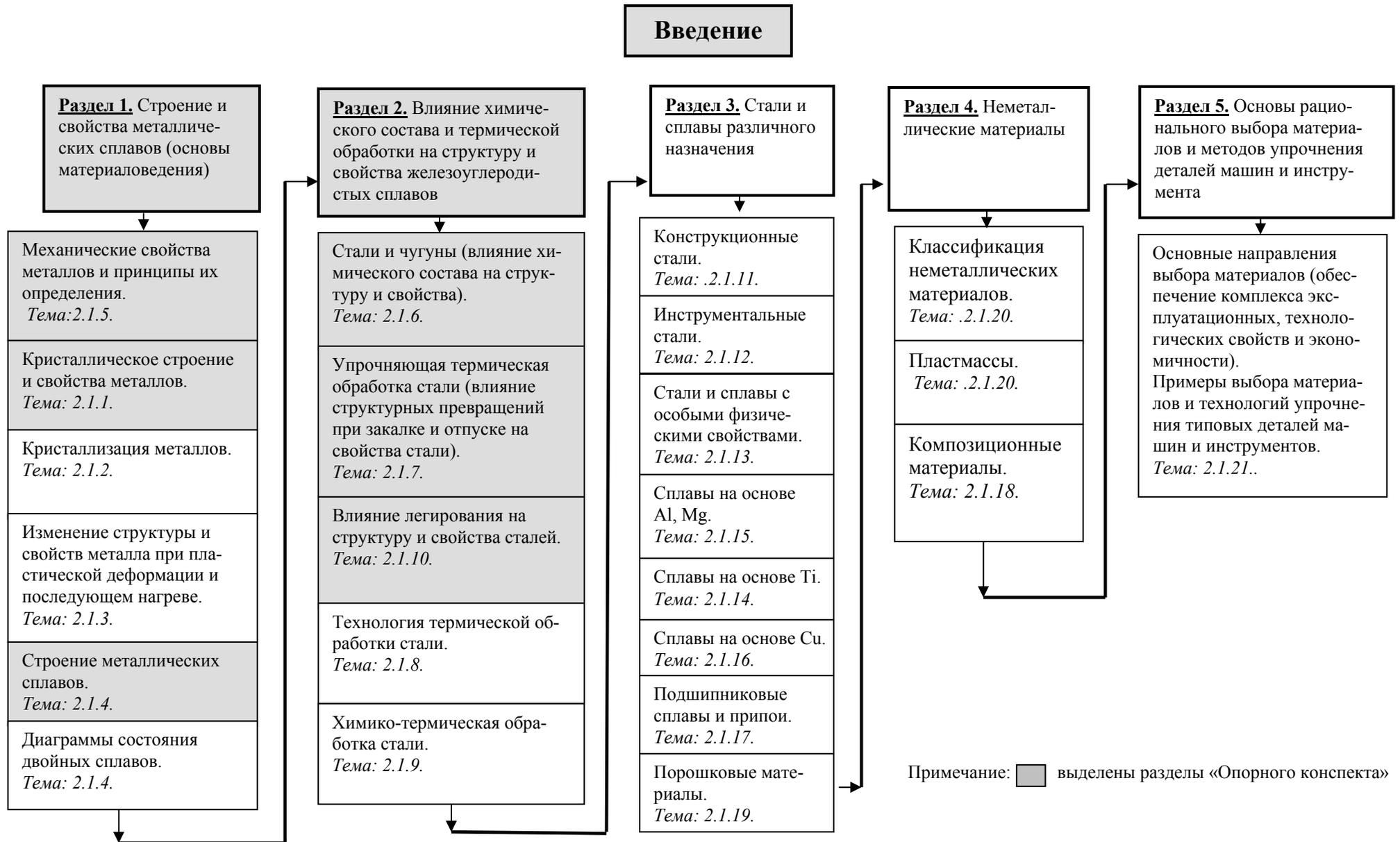
Мы хорошо понимаем, что одно только ознакомление с тематическим планом и структурно-логической схемой дисциплины «Материаловедение» может повергнуть в шок многих слабонервных второкурсников (особенно тех, кто по роду своей деятельности не связан с металлообработкой и конструированием изделий из различных материалов).

Поверьте, однако, что для паники нет никаких оснований. Не нужно стремиться запоминать марки, химические составы и свойства конкретных сплавов (их многие тысячи!), следует лишь усвоить характерные особенности материалов различных классификационных групп и при необходимости уметь найти нужную информацию в соответствующей литературе.

В результате освоения дисциплины Вы должны понять, какими путями наука «Материаловедение» решает свои задачи и как эти знания можно использовать для оптимального выбора материалов и технологий их обработки для производства изделий различного назначения.

С точки зрения изучения дисциплины это означает тщательную проработку тем, иллюстрирующих «красную нить материаловедения», т.е. закономерности, связывающие химический состав, структуру и свойства материалов. Эти темы выделены серым цветом на структурно-логической схеме дисциплины и достаточно подробно освещены в «Опорном конспекте» (раздел 3.2.).

2.3. СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»



2.4. ВРЕМЕННОЙ ГРАФИК ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Название разделов (тем) рабочей программы	Продолжительность изучения раздела (темы) (из расчета – 4 часа в день)
1.	Раздел 1. тема 1.1.1, .1.12	2 дн.
2.	Раздел 1. тема 1.1.3, 1.1.5	2 дн.
3.	Раздел 1. тема 1.1.4	2 дн.
4.	Раздел 2. тема 1.1.6	2 дн.
5.	Раздел 2. тема 1.1.7, 1.1.8	3 дн.
6.	Раздел 2. тема 1.1.9	1 дн.
7.	Раздел 2. тема 1.1.10	1 дн.
8.	Раздел 3. тема 1.1.11, 1.1.12, 1.1.13	5 дн.
9.	Раздел 3. тема 1.1.14, 1.1.15, 1.1.16, 1.1.17, 1.1.19	5,5 дн.
10.	Раздел 4. тема 1.1.18	1 дн.
11.	Раздел 4. тема 1.1.20	1,5 дн.
12.	Раздел 5. тема 1.1.21	1 дн.
13.	Контрольная работа часть 1	1 дн.
14.	Контрольная работа часть 2	2 дн.
	ИТОГО:	30 дн.

2.5. ПРАКТИЧЕСКИЙ БЛОК

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (16 час)

Номер и наименование темы тематического плана	Номер и наименование лабораторной работы	Кол-во часов*
Тема2.1.4. Строение металлических сплавов	1. Изучение структуры металлов и сплавов методами макроскопического и микроскопического анализов.	2
Тема2.1.4. Диаграммы состояния двойных сплавов	2. Диаграммы состояния и структура двойных сплавов.	2
Тема2.1.3. Изменение структуры и свойств металлов при пластической деформации и последующем нагреве	3. Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов.	4
Тема2.1.6. Строение и свойства железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии	4. Структура и свойства углеродистых сталей и белых чугунов в равновесном состоянии.	4
Тема2.1.6. Строение и свойства железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии	5. Структура и свойства серых чугунов.	2
Тема2.1.7. Упрочняющая термическая обработка сталей (влияние структурных превращений при закалке и отпуске на свойства сталей) Тема2.1.8. Технология термической обработки стали	6. Термическая обработка (закалка и отпуск) углеродистых сталей.	4
Тема2.1.10. Влияние легирования на структуру и свойства сталей	7. Легированные стали. Влияние легирования на прокаливаемость стали.	4
Тема2.1.12. Инструментальные стали и твердые сплавы	8. Изучение теплостойкости сплавов для режущего инструмента.	4
Тема2.1.15. Сплавы на основе алюминия	9. Структура и свойства сплавов на основе алюминия.	4
Тема2.1.16. Сплавы на основе меди	10. Структура и свойства сплавов на основе меди.	2
Тема2.1.11. Конструкционные стали Тема2.1.16. Сплавы на основе меди	11. Структура и свойства сплавов для деталей подшипников качения и скольжения.	2
Тема2.1.11. Конструкционные стали Тема2.1.13. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами	12. Материалы упругих элементов. Построение характеристик плоских пружин.	4
Тема2.1.20. Пластмассы	13. Влияние природы полимера на технологию изготовления деталей из пластмасс.	4

* - часовая емкость лабораторной работы

2.6. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ

Курс дисциплины «Материаловедение» содержит 21 тему в 5 разделах, при изучении которых следует выполнить 4...8 лабораторных работ в зависимости от специальности и формы обучения. После изучения каждой темы необходимо ответить на вопросы для самопроверки и вопросы теста текущего (промежуточного) контроля. В практической части курса необходимо выполнить лабораторные работы каждая из которых добавляет балл в ваш рейтинг. Завершается работа с курсом выполнением контрольной работы и ответа на вопросы теста рубежного контроля.

За каждый вид самостоятельных работ начисляется определенное число баллов:

- за правильный ответ на вопросы промежуточных тестов «опорного конспекта» – 1 балл. Итого 23...43 балла за лекционные занятия (теоретический материал);

- за правильно выполненную лабораторную работу – 5 баллов. Итого 20...65 баллов за лабораторные занятия;

- за правильно выполненную контрольную работу: первая часть контрольной работы оценивается в 10 баллов, каждая задача второй части – по 5 баллов. Итого 20, 25 или 30 баллов за выполненную контрольную работу.

- за каждый правильный ответ рубежного теста – 2 балла. Итого 6,8 или 10 баллов за итоговый тест.

Теоретический материал «Опорного конспекта» разбит на 6 лекционных тем опорного конспекта. По каждой теме студенты проходят тесты из пяти вопросов. Итого максимальное количество баллов: в 6 темах 43 вопроса × 1 балл = 43 балла.

Ответы на вопросы тренировочных тестов по разделам «опорного конспекта» не оцениваются. Однако настоятельно советую Вам отвечать на них, так как эти тесты – репетиция сдачи тестов рубежных.

После освоения материала «Опорного конспекта», выполнения необходимых лабораторных работ и контрольной (и она зачтена преподавателем!) рабо-

ты. Остается завершающий этап учебного процесса – подготовка и сдача экзамена. Независимо от формы обучения процесс сдачи экзамена происходит очным путем, т.е. при непосредственном общении с преподавателем.

При успешной работе с материалами курса студент может набрать максимум 148 баллов. Для получения допуска к экзамену нужно набрать более 63 баллов.

Оценка результатов обучения проводится в соответствии со следующей схемой (табл. 1).

Рейтинговая оценка знаний

Таблица 1

Этапы рейтинга			Количество набранных баллов на оценку		
			Удовл-но	Хорошо	Отлично
1	Лекционные занятия: «Опорный конспект»	4 вопроса по теме 1.1	2	3	4
		5 вопросов по теме 1.2	2	3	5
		5 вопросов по теме 1.3	2	3	5
	1 ответ × 1 балл	11 вопросов по теме 2.1	4	7	10...11
		8 вопросов по теме 2.2	3	5	7...8
		11 вопросов по теме 2.3	4	6	8...10
	Итого:			17	27
2	Лабораторные работы. 5 баллов/работа.		20, 25	30, 35	50..65
3	Контрольная работа. Часть 1 - 10 баллов. Часть 2 - 5 баллов/задача.		20	25	30
4	Итоговый тест 5 вопросов. 2 балла/ответ.		6	8	10
Итоговая сумма:			63...68	90...95	119...148

Для облегчения самостоятельной подготовки к экзамену в конце УМК приведены вопросы для самопроверки, тестовые задания итогового контроля и вопросы для экзамена.

Тематика представленных в итоговом контроле вопросов соответствует содержанию государственных стандартов на дисциплину «Материаловедение».

3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной:

1. Лахтин, Ю.М. *Материаловедение* /Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. - М.: Машиностроение, 1990.
2. *Материаловедение* /под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
3. Солнцев, Ю.П. *Материаловедение* /Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, Ф. Войткун. - СПб.: Химиздат, 2002.
4. Гуляев, А.П. *Металловедение* /А.П. Гуляев. - М.: Metallургия, 1986.

Дополнительный:

5. Солнцев, Ю.П. *Специальные материалы в машиностроении* /Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин, В.Ю. Пирайнен - СПб.: Химиздат, 2004.
6. *Материаловедение: Методические указания к выполнению лабораторных работ* /Сост. Е.В. Шадричев, А.В. Сивенков. - СПб.: СЗТУ, 2008.
7. Геллер, Ю.Л. *Материаловедение* /Ю.Л. Геллер, А.Г. Рахштадт. - М.: Metallургия, 1989.
8. Шадричев, Е.В. *Строение и свойства металлических сплавов* /Е.В. Шадричев. - Л.: СЗПИ, 1991.
9. Брук, Б.И. *Закономерности формирования структуры и свойств кристаллических материалов* /Б.И. Брук. - Л.: СЗПИ, 1984.
10. Чернецов, В.И. *Материаловедение и обработка конструкционных материалов* /В.И. Чернецов. - Л.: СЗПИ, 1988.
11. Колесник, П.А. *Материаловедение на автомобильном транспорте* /П.А.Колесник. - М: Транспорт, 1987.
12. Лифшиц, Л.С. *Материаловедение для сварщиков* /Л.С. Лифшиц. - М.: Машиностроение, 1979.
13. *Термическая обработка в машиностроении: справочник* /под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. - М.: Машиностроение, 1980.
14. Полевой, С.Н. *Упрочнение металлов: справочник* /С.Н. Полевой, В.Д.

Евдокимов. - М.: Машиностроение, 1986.

15. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989.

16. Журавлев, В.Н. Машиностроительные стали: справочник /В.Н. Журавлев, О.И. Николаева. - М.: Машиностроение, 1981.

17. Машиностроительные материалы: краткий справ. /В.М. Раскатов, В.С. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс. - М.: Машиностроение, 1980.

18. Композиционные материалы: справочник /под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990.

19. Кацнельсон, М.Ю. Полимерные материалы: справочник /М.Ю. Кацнельсон, Г.А. Балаев. – Л.: Химия, 1982.

20. Технические свойства полимерных материалов: учеб.–справ. пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А. Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб, Профессия, 2003.

21. Мотовилин, Г.В. Автомобильные материалы: справочник /Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов. - М.: Транспорт, 1989. - 464 с.

22. Справочник по современным судостроительным материалам /В.Р. Абрамович, [и др.]. – Л.: Судостроение, 1979.

23. Конструкционные материалы АЭС /Ю.Ф. Баландин, И.В. Горынин, Ю.И. Звездин, В.Г. Марков. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

24. Электрические машины: учеб. для вузов – 4-е изд. /И.П. Копылев. – М.: Высш. школа, 2004.

25. Материалы в приборостроении и автоматике: справочник /под ред. Ю.М. Пятина. – М.: Машиностроение, 1982.

26. Чурабо, Д.Д. Детали и узлы приборов. Конструирование и расчет: справочное пособие /Д.Д. Чурабо. - М.: Машиностроение, 1975.

27. Справочник конструктора-приборостроителя. Детали и механизмы приборов /В.Л. Соломахо, Р.И. Томилин, Б.В. Цитович, Л.Г. Юдовин. - Минск: Выш. шк., 1990.

28. Рахмилевич, З.З. Справочник механика химических и нефтехимических

производств /З.З. Рахмилевич, И.М. Радзин, С.А. Фарамазов. - М.: Химия, 1985.

29. Шрейбер, Г.К. Конструкционные материалы в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности /Г.К. Шрейбер, С.М. Перлин, Б.Ф. Шибряев. - М.: Машиностроение, 1969.

30. Трезубов, В.Н. Ортопедическая стоматология. Прикладное материаловедение /В.Н. Трезубов, М.З. Штейнгард, Л.М. Мишнев. - СПб.: Спец. лит., 1999.

31. Рабинович, И.М. Применение полимеров в медицине /И.М. Рабинович. - Л.: Медицина, 1972.

32. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали /Ю.А. Геллер. -М.: Metallurgia, 1983.

33. Гуляев, А.П. Выбор марки стали для деталей машин (Основные положения) /А.П. Гуляев. - Металловедение и термическая обработка металлов.- 1983.- №1.

34. Елизаров, Ю.Д., Материаловедение для экономистов /Ю.Д. Елизаров, А.Ф. Шепелев. - Ростов на Дону: Феникс, 2002.

Средства обеспечения освоения дисциплины (ресурсы Internet):

35. <http://www.elib.nwpi.ru> - электронная библиотека СЗТУ (справочники: машиностроителя, технолога, конструктора; учебник: Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М: Машиностроение, 1990. - 528 с.);

36. <http://metall-2006.narod.ru> - «Материаловедение» для студентов СЗТУ;

37. <http://tm.msun.ru> – электронные учебные пособия по дисциплине «Материаловедение и ТКМ»;

38. <http://kfm.misis.ru/science/m-structura/> - кафедра физического материаловедения московского института стали и сплавов;

39. <http://www.crys.ras.ru/kalugar.html> - НИЦ КМ ИК РАН (космическое материаловедение);

40. <http://www.nsu.ru/materials/ssl/text/encyclopedia/materials.html> - физика в Интернете: материалы.

3.2. ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ

ВВЕДЕНИЕ

Развитие человеческого общества во многом определяется открытием и активным использованием материалов различного назначения. Достаточно вспомнить такие исторические этапы как каменный, бронзовый, железный века. Кстати, можно считать, что железный век, начавшийся более 2 тысяч лет назад, продолжается до сих пор, поскольку сплавы на основе железа (стали и чугуны) являются и сейчас основными конструкционными и инструментальными материалами промышленности.

В настоящее время значение разработки новых и эффективного использования имеющихся материалов особенно велико в связи с острой необходимостью перехода от "сырьевого" к преимущественно инновационному пути развития производства.

Очевидно, что с каждым годом роль науки о материалах и, соответственно, дисциплины "Материаловедение" будет неизбежно возрастать. Поэтому нет нужды рекламировать важность изучения этой дисциплины.

В Предисловии отмечалось, что общеинженерная дисциплина "Материаловедение" ограничивается изучением главным образом конструкционных и инструментальных материалов различного назначения. Номенклатура таких материалов, потребляемых промышленностью, чрезвычайно велика и разнообразна (только сталей выпускается более 2 тысяч марок). Поэтому освоение дисциплины "Материаловедение", содержащей большое количество новых понятий и терминов, а также фактических данных о строении и свойствах различных материалов, требует определенных усилий.

Данный "Опорный конспект" призван облегчить решение этой задачи. Ниже в доступной (по возможности) форме изложены основы материаловедения на примере металлических сплавов.

Для удобства пользования «Опорным конспектом» ниже приведена его структурно-логическая схема.

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА «ОПОРНОГО КОНСПЕКТА»



Объем обсуждаемых в "Опорном конспекте" тем - лишь часть дисциплины "Материаловедение" (сравни структурные схемы дисциплины – с. 31 и "Опорного конспекта" – с. 40). Однако – это тот минимум, изучение которого необходимо и достаточно для усвоения "красной нити материаловедения", связывающей химический состав, структуру и свойства материалов.

Любой *материал* характеризуется *химическим составом*, *структурой* и *свойствами*.

Материаловедение – это наука, изучающая связь между химическим составом, структурой и свойствами материалов и закономерности изменения этих свойств под влиянием внешних воздействий (механических, термических, химических и др.), реализуемых в процессе производства, обработки и эксплуатации изделий из этих материалов (см. рис. 1).

Химический состав – это процентное содержание (обычно % по массе) химических элементов, присутствующих в данном материале.

Понятие **структура** имеет очень широкий смысл, включающий все сведения о материале от электронного строения отдельных атомов до видимых невооруженным глазом макродефектов образцов (изделий). В **практическом материаловедении** (и данном пособии) под термином **структура** обычно подразумевается **микроструктура** материалов, изучаемая с помощью микроскопов (тип и относительное количество фаз, форма, размеры и взаимное расположение кристаллов этих фаз).

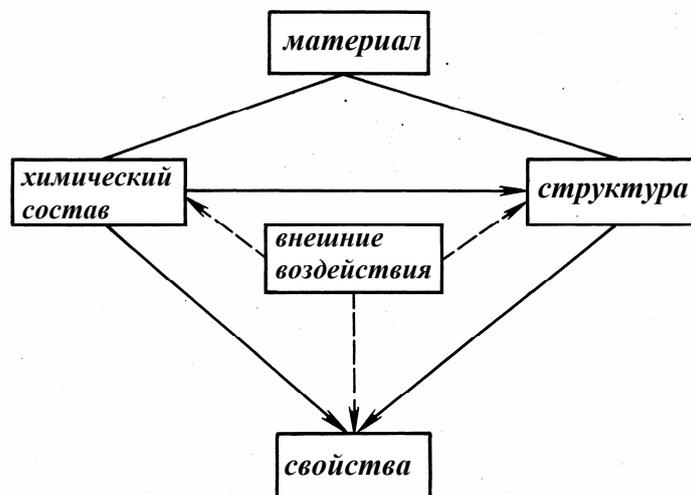


Рис. 1. Структурная схема дисциплины «Материаловедение»

Для потребителя (в частности, студента) главным элементом приведенной на рис. 1 схемы являются *свойства*, поскольку имеющийся комплекс физических, механических и других свойств определяет возможность конкретного применения того или иного материала. Из множества свойств, присущих любому материалу, наиболее общими являются *механические свойства* (материалы, не обладающие, например, достаточной прочностью, не могут иметь широкого практического применения), они же и наиболее важны для конструкционных и инструментальных материалов, которые в основном и изучаются в данном курсе. Кроме того, *механические свойства «структурночувствительны»*, то есть чутко реагируют на изменения в структуре материалов, поэтому позволяют наглядно продемонстрировать «красную нить» материаловедения: Состав → Структура → Свойства. Знание закономерностей, связывающих эти три С (см. рис. В.1), позволяет производить *оптимальный выбор материалов и технологий их обработки для изделий различного назначения*. Такой выбор должен обеспечивать технологичность изготовления изделия, его надежность и долговечность в условиях эксплуатации и быть экономически оправданным. *Выработка такого умения является главной целью подготовки инженера в области материаловедения.*

Надеемся, что в результате изучения предлагаемого ниже теоретического курса, выполнения лабораторных и контрольных работ эта цель будет Вами достигнута.

Успеха!

Как отмечалось выше, основная часть курса «Материаловедение» и, соответственно, данного пособия посвящена металлическим сплавам – наиболее широко применяемым конструкционным и инструментальным материалам.

РАЗДЕЛ 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

ТЕМА 1.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ¹

И ПРИНЦИПЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Во Введении подчеркивалось, что свойства (в нашем случае - механические) – наиболее интересующая потребителя часть информации о материале (наряду, конечно, со стоимостью).

Механические свойства характеризуют поведение материалов при внешнем (механическом) нагружении.

Наиболее общими механическими свойствами являются *прочность и твердость, пластичность и ударная вязкость*.

Прочность – способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних нагрузок. Стандартными характеристиками прочности, которые закладываются в конструкторский расчет, являются *условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$)* и *предел прочности (σ_b)*. Они определяются по результатам статического растяжения образцов усилием (нагрузкой) \vec{P} , (рис. 1.1.1)

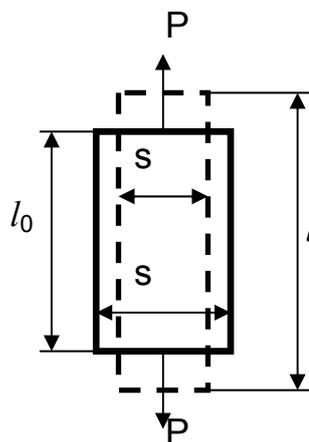


Рис. 1.1.1. Схема испытаний образцов на растяжение

Приложение к телу нагрузки вызывает его *деформацию* – изменение размеров (и часто формы) тела. В данном случае величину деформации можно

¹ Все изложенное в этом разделе в общих чертах справедливо для любых металлических (металлов и сплавов) и неметаллических материалов.

оценить *относительным удлинением*

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (1.1.1)$$

где l_0 и l длина образца в исходном и деформированном состояниях соответственно.

Реакцией тела на деформацию является возникновение в нем внутренних **напряжений**,

$$\sigma = P/S, \quad (1.1.2)$$

стремящихся предотвратить деформацию и, в конечном счете, разрушение образца.

При относительно небольших нагрузках **деформация обратимая – упругая** – образец восстанавливает свои размеры (форму) при снятии нагрузки. Упругая деформация подчиняется закону Гука:

$$\sigma = E \cdot \delta, \quad (1.1.3)$$

где $E = const$ – **модуль упругости** (модуль Юнга), характеризующий жесткость материала – сопротивляемость упругой деформации.

Максимальное напряжение, при котором еще выполняется закон Гука называется **пределом упругости** (σ_y).

При значительных нагрузках (когда возникающее в теле напряжение σ становится больше σ_y) **деформация** становится **необратимой = остаточной = пластической**, т.е. частично сохраняется при снятии нагрузки.

Напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,2 % ($\delta = 0,2 \%$) **называется условным пределом текучести** ($\sigma_{0,2}$).

Максимальное напряжение, которое выдерживает образец до разрушения называется **пределом прочности или временным сопротивлением** (σ_B).

Все перечисленные **прочностные характеристики** (σ_y , $\sigma_{0,2}$, σ_B и E)¹ очень важны, т.к. дают разностороннюю информацию о прочности материала, но, к сожалению, способ их определения трудоемок и весьма дорог. Значитель-

¹ Из (1.1.2) видно, что прочностные характеристики измеряются в $\text{Н/м}^2 = \text{Па}$ или $\text{кгс/мм}^2 = 10\text{МПа}$.

но проще измерение **твёрдости** (Н)¹ – *сопротивления местной упругой и пластической деформации.*

Твёрдость определяется методом вдавливания твёрдого наконечника – индентора в испытуемый образец (рис. 1.1.2) и оценивается по глубине или размеру возникающего отпечатка (углубления). Приборы для измерения твёрдости различаются материалом (твёрдостью) и формой индентора и величиной прилагаемой нагрузки.

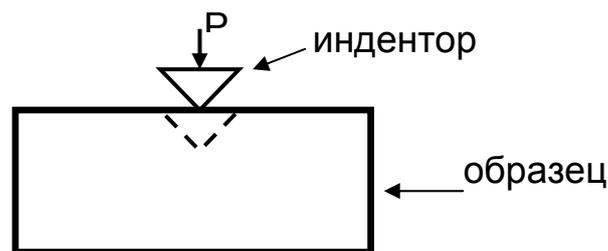


Рис. 1.1.2. Схема испытаний образцов на твердость

Соответственно различают HB, HRB (HRC) и HV – **твёрдость по Бригеллю, Роквеллу и Виккерсу**, соответственно. HB и HRB (индентор – закаленный стальной шарик) используют для измерения твёрдости мягких материалов; HRC и HV (индентор – алмазные конус и пирамида соответственно) – для твёрдых и очень твёрдых материалов.

Пластичность – *способность материала пластически деформироваться без разрушения.* На явлении пластичности основаны все способы обработки металлов давлением. Величину пластичности определяют по результатам испытаний образцов на растяжение (рис. 1.1.1) и оценивают **относительным удлинением** (1.1.1) и **относительным сужением**:

$$\Psi = (S_0 - S)/S_0 \cdot 100 \%. \quad (1.1.3)$$

Из формул (1.1.1) и (1.1.3) очевидно, что характеристики пластичности измеряются в %.

Ударная вязкость характеризует сопротивление материала хрупкому разрушению.

¹ От нем. Härte – твёрдость.

Поскольку «охрупчиванию» материала при данной температуре способствуют: увеличение скорости нагружения и наличие поверхностных (и внутренних) дефектов типа микротрещин, то ударную вязкость определяют по результатам ударных испытаний образцов по специальным надрезам (рис. 1.1.3).

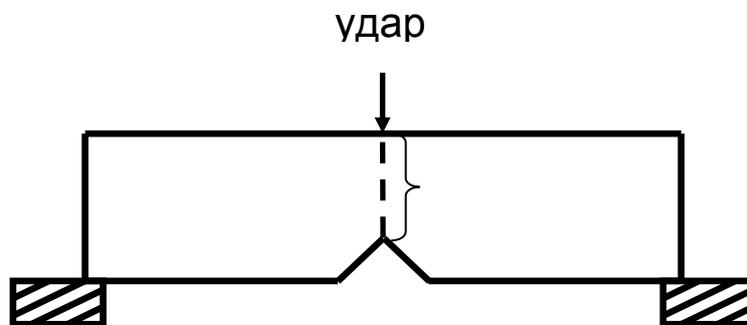


Рис. 1.1.3. Схема испытаний образцов на ударную вязкость

Величина ударной вязкости (КС) определяется как работа (А) деформации и разрушения образца, отнесенная к площади его поперечного сечения (S) в месте надреза:

$$КС = A/S. \quad (1.1.4)$$

В обозначениях ударной вязкости КСУ и КСV последняя буква указывает форму надреза (испытания образца, показанного на рис. 1.1.3, соответствуют КСV). Размерность ударной вязкости Дж/м² (1МДж/м² = 10 кг·м/см²).

Ударная вязкость очень важная характеристика, т.к. от ее величины зависит эксплуатационная надежность изделий. Материалы с малой величиной ударной вязкости являются хрупкими и могут легко разрушаться даже при небольших динамических нагрузках из-за случайных (или технологических) повреждений поверхности деталей или внутренних дефектов структуры.

Помимо приведенных в этом разделе существует ряд других механических свойств (методов испытаний), с которыми можно ознакомиться в учебной литературе (см. [1...4])

Знание всей совокупности этих свойств позволяет оценить **конструкционную прочность** – комплексную характеристику работоспособности материала в реальной конструкции.

В заключение этой темы отметим, что приведенные выше сведения явля-

ются частью курса «Сопротивление материалов». Здесь не обсуждается внутреннее строение материалов, без знания которого невозможно понять взаимосвязь между химическим составом, структурой и свойствами материалов, что является задачей «Материаловедения».

Внимание!

Вы ознакомились (нет – изучили!) с содержанием введения и темы 1.1. Для проверки усвоения этого учебного материала попробуйте ответить на следующие вопросы.

Вопросы для самопроверки к теме 1.1

1. Что такое химический состав материала?
2. Что входит в понятие структуры (микроструктуры) материалов?
3. Какие свойства наиболее важны для конструкционных материалов?

Почему?

4. Какова цель «материаловедческой подготовки» инженеров?
5. Перечислите основные механические свойства материалов.
6. Назовите наиболее распространенные характеристики прочности. Как они определяются, в каких единицах измеряются?
7. Перечислите приборы для измерения твердости; как обозначаются величины твердости, полученные на этих приборах?
8. Что такое пластичность? Какими характеристиками оценивают ее величину?
9. Какое свойство характеризуется символом КСУ? Каков принцип его определения? В каких единицах оно измеряется?
10. Каково характерное свойство материалов с низкой величиной КСУ?

Если Вы успешно отвечаете на эти вопросы, можно переходить к проверке качества Ваших знаний данной темы с помощью тестов.

Читайте внимательно тестовые задания. Обычно правильный ответ в каждом вопросе один из 5 перечисленных. Однако в тестах к другим темам «Опорного конспекта» задания могут быть усложнены. Правильность ваших ответов можете проверить в конце конспекта.

Промежуточные тесты к теме 1.1

I. Какое из перечисленных свойств (параметров) в наибольшей степени характеризует сопротивление материала хрупкому разрушению?

1. Твердость.
2. Предел прочности.
3. Относительное удлинение.
4. Ударная вязкость.
5. Предел текучести.

II. Какая характеристика металла должна быть высокой для успешной обработки его давлением (например, холодной штамповки)?

1. Предел текучести.
2. Предел прочности.
3. Относительное удлинение.
4. Модуль упругости.
5. Твердость.

III. Если при испытании образца оказалось, что величина $\delta \approx 0 \%$, то при каком виде нагружения можно успешно эксплуатировать изделия из данного материала?

1. Изгиб.
2. Кручение.
3. Растяжение.
4. Сжатие.
5. Удар.

IV. Какое из перечисленных свойств является механическим?

1. Плотность.
2. Электросопротивление.
3. Пластичность.
4. Коэрцитивная сила.
5. Теплоемкость.

Если Вы ответили на эти вопросы для самопроверки и справились с тестами, можете переходить к освоению следующей темы «Опорного конспекта». Если возникли проблемы с ответами на какие-то вопросы, следует повторить изучение соответствующих частей данной темы. Поступайте подобным образом и при изучении последующих тем «Опорного конспекта».

ТЕМА 1.2. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Все написанное ниже справедливо для любых кристаллических материалов, но можно начать с чистых металлов, являющихся основой металлических сплавов, т.е. большинства промышленных материалов.

Физической основой обсуждаемых здесь проблем являются представления об атомном строении твердых тел, изучаемые в соответствующих темах физики и химии, содержание которых желательно освежить в памяти.

1.2.1. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕШЕТКИ МЕТАЛЛОВ

Металлы обычного способа производства имеют кристаллическое строение. В **кристаллах** атомы расположены строго упорядоченным образом так, что, если через их центры провести воображаемые линии вдоль трех координатных осей, они образуют **пространственную (кристаллическую) решетку** (рис. 1.2.1).

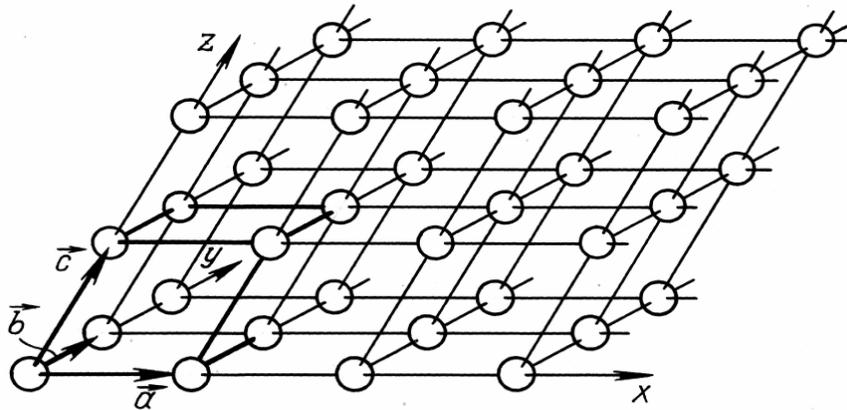


Рис. 1.2.1. Пространственная кристаллическая решетка

*Основное свойство кристаллических решеток – их **пространственная периодичность**.* Это значит, что любую кристаллическую решетку можно представить состоящей из множества одинаковых соприкасающихся микрообъемов, называемых **элементарными ячейками**. В общем случае **элементарная ячейка** представляет собой параллелепипед, построенный на трех векторах \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} (рис. 1.2.1).

Тип кристаллической решетки определяется формой элементарной ячейки и характером расположения в них атомов.

Количественно кристаллические решетки описываются тремя основными характеристиками:

1. **Период (или параметр) решетки** – расстояние между соседними узлами решетки вдоль трех координатных осей. В общем случае решетка характеризуется тремя параметрами – скалярными величинами a , b , c (рис. 1.2.1).

В случае простой кубической решетки (рис. 1.2.2) имеется один параметр решетки, равный ребру элементарной ячейки (куба).

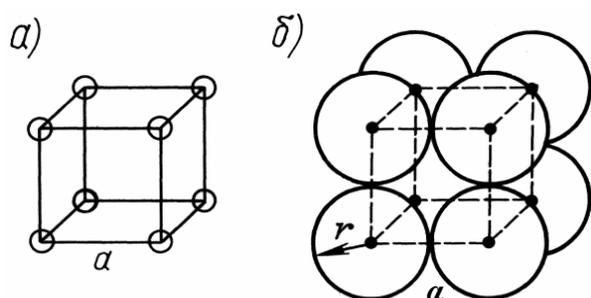


Рис. 1.2.2. Элементарная ячейка простой кубической решетки (а) и схема упаковки в ней атомов (б)

Очевидно, что величина параметра решетки очень мала (в металлах $\approx 0,2 \dots 0,6$ нм; $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$) и определяется рентгеноструктурным анализом.

2. **Координационное число (K)** – число ближайших соседей, окружающих данный атом и находящихся от него на одинаковых расстояниях. Для оценки величины K нужно представить, что элементарная ячейка со всех сторон окружена себе подобными (рис. 1.2.3).

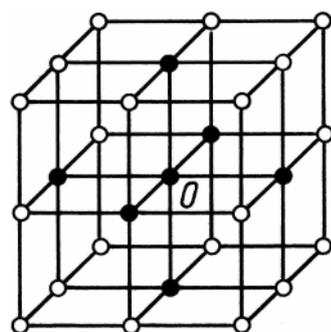


Рис. 1.2.3. Определение координационного числа и относительной плотности упаковки в простой кубической решетке

Видно, что в простой кубической решетке $K = 6$.

3. **Относительная плотность упаковки решетки атомами (q)** – отношение объема, занимаемого атомами в ячейке, к объему самой ячейки, т.е.

$$q = \frac{\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot n}{a^3} \cdot 100 \%, \quad (1.2.1)$$

где r – радиус атома, a – параметр решетки (см. рис. 1.2.2), n – число целых атомов, приходящихся на одну ячейку.

Очевидно, что в простой кубической решетке $n = \frac{1}{8} \cdot 8 = 1$ (см. рис. 1.2.3), поэтому легко подсчитать (учитывая, что $a = 2r$), что в простой кубической решетке $q = 52 \%$. Такая решетка является «рыхлой», так как 48 % ее объема приходится на межатомные пустоты.

Металлическим элементам свойственны плотноупакованные решетки с высокой степенью компактности, т.е. с большими значениями K и q .

Многие металлы имеют *объемноцентрированную (ОЦК)* и *гранецентрированную (ГЦК)* решетки, их характеристики приведены на рис. 1.2.4.

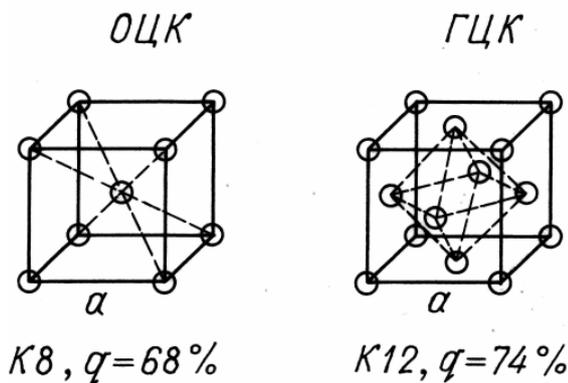


Рис. 1.2.4. Объемноцентрированная (ОЦК) и гранецентрированная (ГЦК) решетки

Например, ОЦК решетку имеет Fe_α (или $\alpha-Fe$), а ГЦК решетку – Fe_γ (или $\gamma-Fe$). Такая способность некоторых веществ иметь различный тип решетки называется **полиморфизмом**.

Полиморфизм железа играет важнейшую роль в формировании структуры и свойств железоуглеродистых сплавов – сталей и чугунов (Темы 2.1 и 2.2 «Опорного конспекта»).

1.2.2. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ (РЕАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ)

В реальных кристаллах всегда имеются отклонения от идеального порядка в расположении атомов, называемые несовершенствами или **дефектами ре-**

сетки. По геометрии вызываемых ими нарушений решетки дефекты подразделяют на **точечные**, **линейные** и **поверхностные**.

Точечные дефекты

На рис. 1.2.5 показаны различные виды точечных дефектов. Это **вакансии** – пустые узлы решетки, «свои» **атомы в междоузлиях** и **атомы примесей** в узлах решетки и междоузлиях. Основная причина образования первых двух видов дефектов – движение атомов, интенсивность которого возрастает с повышением температуры.

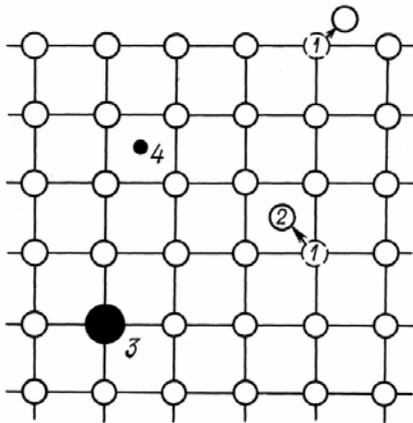


Рис. 1.2.5. Типы точечных дефектов кристаллической решетки:
1 – вакансия,
2 – атом в междоузлии,
3 и 4 – атомы примесей в узле и междоузлии соответственно

Вокруг любого точечного дефекта возникает местное искажение решетки радиусом R в $1 \dots 2$ периода решетки (см. рис. 1.2.6), поэтому, если таких дефектов много, они влияют на характер распределения межатомных сил связи и, соответственно, на свойства кристаллов.

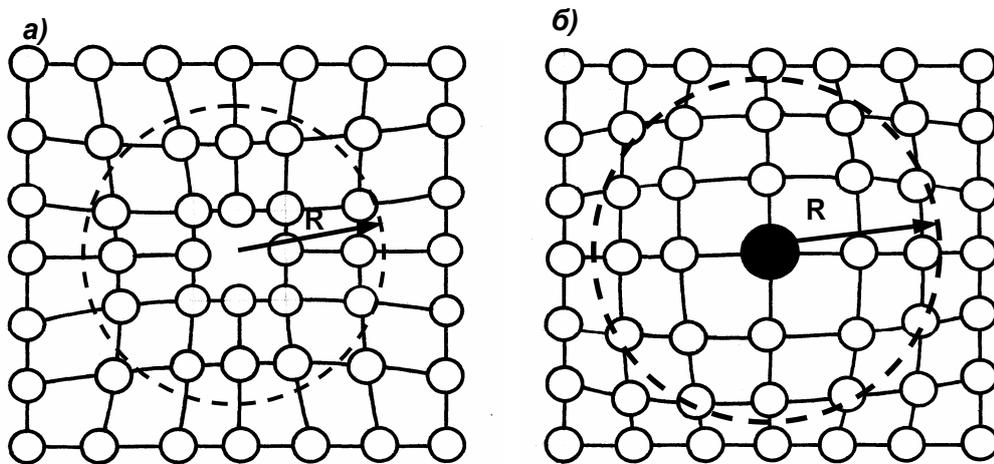


Рис. 1.2.6. Локальное искажение кристаллической решетки вокруг вакансии (а) и примесного атома в узле решетки (б)

Линейные дефекты

Линейные дефекты называются **дислокациями**. Их появление вызвано наличием в отдельных частях кристалла «лишних» атомных полуплоскостей (**экстраплоскости**). Они возникают в процессе кристаллизации металлов (из-за нарушения порядка заполнения атомных слоев) или в результате их пластического деформирования, как показано на рис. 1.2.7.

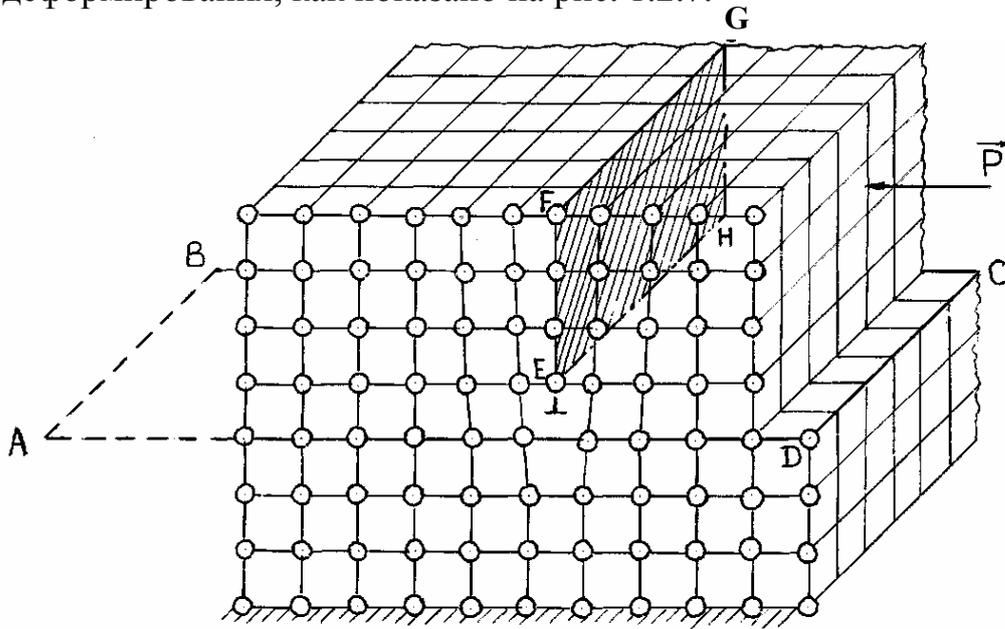


Рис. 1.2.7. Образование краевой дислокации (\perp) в результате частичного сдвига верхней части кристалла под действием усилия \vec{P} : ABCD - плоскость скольжения; EFGH – экстраплоскость; EH – линия краевой дислокации

Видно, что под влиянием сдвигающего усилия \vec{P} произошел частичный сдвиг верхней части кристалла вдоль некоторой плоскости скольжения («легкого сдвига») ABCD. В результате образовалась *экстраплоскость* EFGH. Поскольку она не имеет продолжения вниз, вокруг ее края EH возникает упругое искажение решетки радиусом в несколько межатомных расстояний (т.е. $\approx 10^{-7}$ см – см. тема 1.2.1), протяженность же этого искажения во много раз больше (может доходить до $\approx 0,1 \dots 1$ см).

Такое несовершенство кристалла вокруг края экстраплоскости является линейным дефектом решетки и называется **краевой дислокацией**.

Важнейшие механические свойства металлов – прочность и пластичность (см. тема 1.1) – определяются наличием дислокаций и их поведением при на-

гружении тела.

Остановимся на двух особенностях механизма перемещения дислокаций.

1. Дислокации могут весьма легко (при малой нагрузке \vec{P}) передвигаться вдоль плоскости скольжения посредством «эстафетного» перемещения экстраплоскости. На рис. 1.2.8 показан начальный этап такого движения (двумерный рисунок в плоскости, перпендикулярной линии краевой дислокации).

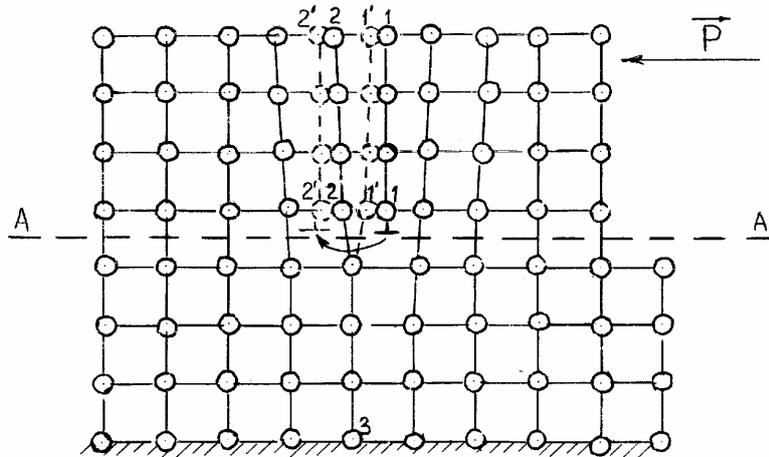


Рис. 1.2.8. Начальный этап эстафетного перемещения краевой дислокации (\perp): A-A – плоскость скольжения, 1-1 экстраплоскость (исходная позиция)

Под действием усилия \vec{P} атомы экстраплоскости (1–1) отрывают от плоскости (2–3) атомы (2–2), расположенные выше плоскости скольжения. В результате эти атомы образуют новую экстраплоскость (2'–2'); атомы «старой» экстраплоскости (1–1) занимают освободившиеся места, достраивая плоскость (1'–1'–3). Этот акт означает исчезновение «старой» дислокации, связанной с экстраплоскостью (1–1), и возникновение «новой», связанной с экстраплоскостью (2'–2'), или, другими словами, передачу «эстафетной палочки» - дислокации на одно межплоскостное расстояние. Такое эстафетное перемещение дислокации будет продолжаться до тех пор, пока она не дойдет до края кристалла, что будет означать сдвиг его верхней части на одно межплоскостное расстояние (т.е. пластическую деформацию).

Этот механизм не требует больших усилий, т.к. состоит из последова-

тельных микросмещений, затрагивающих лишь ограниченное число атомов, окружающих экстраплоскость.

2. Очевидно, однако, что такая легкость скольжения дислокаций будет наблюдаться лишь в том случае, когда на их пути отсутствуют какие – либо препятствия. Такими *препятствиями являются любые дефекты решетки* (особенно линейные и поверхностные!), а также *частицы других фаз*, если они присутствуют в материале. Эти препятствия создают искажения решетки, преодоление которых требует дополнительных внешних усилий, поэтому могут заблокировать движение дислокаций, т.е. сделать их неподвижными.

Поверхностные дефекты

Все промышленные металлы (сплавы) являются **поликристаллическими** материалами, т.е. состоят из огромного количества мелких (обычно $10^{-2} \dots 10^{-3}$ см), хаотически ориентированных кристалликов, называемых **зернами**. Очевидно, что периодичность решетки, присущая каждому зерну (*монокристаллу*), в таком материале нарушена, поскольку кристаллографические плоскости зерен повернуты относительно друг друга на угол α (см. рис. 1.2.9), величина которого колеблется от долей до нескольких десятков градусов.

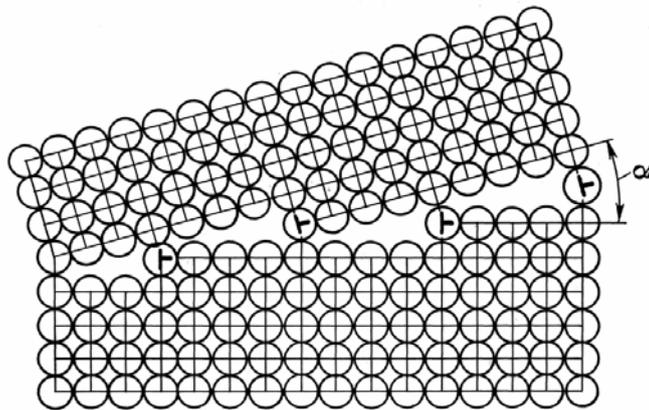


Рис. 1.2.9. Схема строения границ зерен в поликристаллическом материале

Граница между зернами представляет собой переходный слой шириной до 10 межатомных расстояний, обычно с неупорядоченным расположением атомов. Это место скопления дислокаций, вакансий, примесных атомов. Поэтому в объеме поликристаллического материала **границы зерен являются двумерными, поверхностными дефектами.**

1.2.3. ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ РЕШЕТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ

В этой теме рассмотрим, в основном, влияние дефектов решетки на прочность кристаллических материалов.

В теме 1.1 отмечалось, что **прочность** – это способность материала сопротивляться деформации и разрушению под действием внешней нагрузки.

Под прочностью кристаллических тел понимают их сопротивление приложенной нагрузке, стремящейся сдвинуть или, в пределе, оторвать одну часть кристалла относительно другой.

Наличие в металлах подвижных дислокаций (уже в процессе кристаллизации возникает до $10^6 \dots 10^8$ дислокаций в сечении, равном 1 см^2) приводит к их пониженной сопротивляемости нагружению, т.е. высокой пластичности и невысокой прочности.

Очевидно, что *наиболее эффективным способом повышения прочности будет удаление дислокаций из металла.* Однако такой путь не технологичен, т.к. бездислокационные металлы удастся получать лишь в виде тонких нитей (так называемых «усов») диаметром в несколько микрон и длиной до ≈ 10 мкм.

Поэтому **практические способы упрочнения основаны на торможении, блокировании подвижных дислокаций путем резкого увеличения числа дефектов решетки (в первую очередь линейных и поверхностных!), а также создании многофазных материалов** (см. параграф 1.2.2.).

Такими традиционными **методами повышения прочности** металлов являются:

- пластическое деформирование (явление наклепа или нагартовки),
- термическая (и химико-термическая) обработка,
- легирование (введение специальных примесей) и, наиболее общий подход, – это создание сплавов.

В заключение следует отметить, что повышение прочности, основанное на блокировании подвижных дислокаций, приводит к снижению пластичности

и ударной вязкости и, соответственно, эксплуатационной надежности материала.

Поэтому *вопрос о степени упрочнения необходимо решать индивидуально, исходя из назначения и условий работы изделия.*

Внимание!

Вы осилили и эту тему. Много в нем должно быть знакомо по школьным и вузовским курсам физики и химии, поэтому Вы должны успешно справиться с вопросами для самопроверки и тестовыми заданиями.

Вопросы для самопроверки к теме 1.2

1. В чем особенность кристаллического строения?
2. Какими характеристиками описывают кристаллические решетки?
3. Что такое период решетки; какова его примерная величина?
4. Определите координационное число и относительную плотность упаковки простой кубической решетки.
5. Какие разновидности кубических решеток свойственны металлическим элементам?
6. Что такое полиморфизм?
7. Что такое дефекты решетки? Назовите их разновидности.
8. Перечислите основные виды точечных дефектов. Охарактеризуйте нарушения в решетке, создаваемые этими дефектами.
9. Что такое краевые дислокации? Как они возникают?
10. Каков механизм перемещения дислокаций?
11. Как влияет совершенство кристаллической решетки на подвижность дислокаций?
12. Что представляют собой поверхностные дефекты решетки?
13. Что является причиной пониженной прочности технических (неупрочненных) металлов?
14. Каковы принципы повышения прочности металлов?
15. Перечислите практические методы упрочнения металлов?
16. Как влияют традиционные методы повышения прочности на пластич-

ность и ударную вязкость металлов?

Промежуточные тесты к теме 1.2

I. Каков наиболее вероятный порядок величины периода (параметра) кристаллической решетки?

1. 10^{-1} см.
2. 10^{-6} см.
3. 10^{-8} см.
4. 10^{-10} см.
5. 10^1 см.

II. Сколько целых атомов приходится на элементарную ячейку простой кубической решетки?

1. 8.
2. 1/8.
3. 1.
4. 6.
5. 4.

III. Какой вид дефектов кристаллической решетки обеспечивает высокую пластичность металлов?

1. Вакансии.
2. Дислокации.
3. Атомы примесей.
4. Дислоцированные (междоузельные) атомы.
5. Границы зерен.

IV. Какое из перечисленных утверждений **неверно**? Холодная пластическая деформация:

- 1) повышает прочность металла;
- 2) повышает электросопротивление;
- 3) снижает пластичность;
- 4) повышает ударную вязкость;
- 5) повышает твердость.

V. Какое из перечисленных утверждений **неверно**? Практические пути повышения прочности металлов основаны на:

- 1) увеличении количества точечных дефектов;
- 2) измельчении зерна;
- 3) торможении дислокаций;
- 4) введении примесных атомов;
- 5) полном удалении дислокаций.

ТЕМА 1.3. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

В конце предыдущей темы отмечалось, что создание *сплавов* – наиболее общий путь повышения прочности металлических материалов. Этот *метод (сплавления)* позволяет получить также более широкий диапазон особых полезных свойств (например, жаропрочность, коррозионную стойкость, тепло – и износостойкость и др.).

Сплавы – это материалы, полученные сплавлением или спеканием (порошковая металлургия) двух или более компонентов.

Компоненты – вещества, образующие сплав; ими могут быть химические элементы или устойчивые химические соединения.

Структура и свойства сплава определяются в первую очередь природой (типом) фаз, образующихся при сплавлении компонентов.

Фаза – однородная по химическому составу, типу решетки и свойствам часть сплава, отделенная от других частей границей раздела.

В зависимости от характера физико–химического взаимодействия компонентов в металлических сплавах возможны три основных **типа твердых** (кристаллических) **фаз**:

- 1) **химические элементы,**
- 2) **химические соединения,**
- 3) **твердые растворы.**

Основной (матричной) фазой большинства промышленных сплавов являются твердые растворы, поэтому рассмотрим их более подробно.

Твердые растворы – это фазы, в которых атомы одного компонента *B* размещены (растворены) в кристаллической решетке другого компонента *A* – «растворителя». По мере увеличения числа атомов *B* в решетке *A* химический состав и свойства твердого раствора плавно изменяются (в частности, температура плавления), т.е. это *фазы переменного состава* (в отличие от химических элементов и химических соединений).

Сплав, представляющий собой *твердый раствор*, является *однофазным веществом с решеткой, присущей основному компоненту (растворителю)*.

Атомы второго компонента (растворенного) размещены в решетке растворителя, как правило, случайным, неупорядоченным образом.

По способу размещения атомов растворенного вещества (B) в решетке A различают два основных типа твердых растворов – *растворы замещения и внедрения* (рис. 1.3.1)

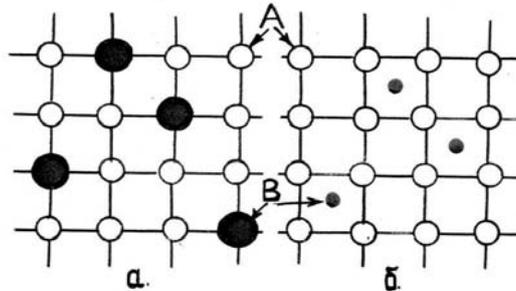


Рис. 1.3.1. Твердые растворы замещения (а) и внедрения (б)

Видно, что при образовании *твердых растворов замещения* атомы B располагаются в вакансиях решетки компонента A (см. рис. 1.2.5). При этом количество атомов B в решетке A может изменяться в широких пределах (при определенных условиях возможна даже *неограниченная взаимная растворимость компонентов в твердом состоянии*).

В случае *твердых растворов внедрения* атомы B располагаются в междоузлиях решетки A . Понятно, что это возможно, если размеры атомов B сравнимы с размерами межатомных пустот решетки A . Поэтому растворы внедрения образуют с металлами элементы, имеющие наименьший атомный радиус (H, B, C, N). Такие растворы всегда имеют *ограниченную растворимость*.

Очевидно, что растворенные атомы (B) являются точечными дефектами, вызывающими искажение решетки A (см. рис. 1.2.6), поэтому *образование сплавов – твердых растворов должно приводить к повышению прочности исходных компонентов* (см. параграфы 1.2.2 и 1.2.3).

Химические соединения обычно имеют фиксированный состав, отвечающий формуле A_nB_m , где n и m – простые числа, причем тип решетки соединения A_nB_m отличается от решетки исходных компонентов.

В железоуглеродистых сплавах (сталях и чугунах), которые обсуждаются в последующих темах, наиболее важны *соединения металлов* (например, желе-

за) с углеродом – карбиды.

Независимо от природы химические соединения в металлических сплавах, как правило, обладают высокой твердостью и хрупкостью (т.е. малопластичны); твердые растворы, напротив, имеют хорошую пластичность (и вязкость), но невысокую прочность и твердость.

Поэтому *оптимальному сочетанию свойств* конструкционных металлических сплавов (высоким значения прочности и ударной вязкости) соответствует структура, в которой дисперсные (≈ 10 нм) частицы твердых химических соединений равномерно и достаточно плотно (на расстояниях $\approx 20 \dots 40$ нм) распределены в пластичной матричной фазе – твердом растворе.

Исходя из этого можно сказать, что **свойства сплавов зависят в первую очередь от природы и относительных количеств присутствующих фаз, но также и от формы, размеров, взаимного расположения кристаллов этих фаз, т.е. от конкретной структуры сплава.** Например, если частицы химических соединений расположены в виде сетки в твердом растворе, эксплуатационная надежность такого материала будет понижена из-за возможности облегченного разрушения по хрупким оболочкам (химических соединений), разоб-щающим зерна твердого раствора.

Итак, **свойства сплавов** (данного химического состава) **определяются их структурой.** Чтобы прогнозировать свойства какого-либо сплава, нужно знать его структуру.

*Структуру сплавов различного химического состава можно установить путем анализа соответствующих диаграмм фазового равновесия или диаграмм состояния.*¹

Под состоянием понимают наличие тех или иных фаз в сплаве *данного химического состава при данной температуре.* То есть **диаграммы состояния** строятся в координатах «температура–химический состав сплавов системы А–В».

¹ Прямой метод изучения структуры – микроанализ - исследование микроструктуры материалов с помощью микроскопов; ему посвящен ряд лабораторных работ.

Линии диаграмм состояния – это *линии фазовых превращений* («критические линии»), при пересечении которых фазовый состав (структура) сплавов обязательно изменяется.

Умение анализировать диаграммы состояния является важной частью освоения курса материаловедения. К сожалению, из-за ограниченности объема «Опорного конспекта» нет возможности посвятить этому вопросу отдельную тему, но рекомендуется самостоятельно проработать соответствующую тему (см. [1...4, 8]). Это облегчит усвоение материала последующих тем, посвященных структуре и свойствам конкретных промышленных сплавов.

Внимание!

Тема 1.3 – небольшая по объему и достаточно простая для восприятия, однако она содержит ряд новых понятий, для усвоения которых требуются определенные усилия, поэтому...

Вопросы для самопроверки к теме 1.3

1. Дайте определение понятий «сплав», «компонент», «фаза». Может ли двухкомпонентный сплав быть однофазным?
2. Какое слово является ключевым в определении понятия «фаза»?
3. Перечислите основные типы кристаллических фаз в металлических сплавах?
4. Что такое твердый раствор? Какие типы твердых растворов существуют?
5. В чем принципиальное отличие химических соединений от твердых растворов? Как отличаются механические свойства этих фаз?
6. Как Вы представляете себе оптимальную структуру конструкционных сплавов? Нарисуйте ее.
7. В каких координатах строятся диаграммы состояния?
8. Каков основной смысл линий диаграмм состояния?
9. Какова роль диаграмм состояния в курсе материаловедения?

Напоминаем, что с темой «Диаграммы состояния двойных сплавов» крайне желательно ознакомиться в учебной литературе [1-4, 8], поскольку

изучение структуры и свойств конкретных промышленных сплавов во многом базируется на анализе соответствующих диаграмм состояния (см., например, темы 2.1 и 2.2).

Промежуточные тесты к теме 1.3

I. Какая из перечисленных характеристик **не входит** в определение понятия «фаза»?

1. Тип решетки.
2. Свойства.
3. Размер зерна.
4. Граница раздела.
5. Химический состав.

II. Какое из перечисленных утверждений **неверно**? В результате сплавления компонентов *A* и *B* сплав может быть:

- 1) многофазным;
- 2) однофазным;
- 3) многокомпонентным;
- 4) твердым раствором;
- 5) химическим соединением.

III. Какой термин в следующем перечне является лишним?

1. Химический элемент.
2. Фаза.
3. Химическое соединение.
4. Компонент.
5. Твердый раствор.

IV. Какое из перечисленных утверждений **неверно**?

По сравнению с твердыми растворами химические соединения в металлических сплавах:

- 1) более твердые;
- 2) имеют постоянный химический состав;
- 3) менее пластичны;
- 4) имеют определенную температуру плавления;
- 5) имеют бóльшую ударную вязкость.

V. Какой из перечисленных факторов является **определяющим** в формировании механических свойств сплавов?

1. Форма кристаллов.
2. Размеры кристаллов.
3. Микроструктура.
4. Относительное количество кристаллов различных фаз.
5. Их взаимное расположение.

РАЗДЕЛ 2. ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Можно считать (конечно, с некоторым преувеличением), что рассмотренные в предыдущих темах «Опорного конспекта» темы составляют основу материаловедения. Ниже знание этих основ будет использовано для изучения влияния химического состава на структуру и свойства сталей и чугунов – основных материалов промышленности (свыше 90% всех применяемых материалов в машиностроении). Особый интерес представляет влияние структурных превращений при термической обработке на механические свойства сталей.

Изучение этих вопросов позволит наглядно продемонстрировать взаимосвязи материаловедения (см. рис. В.1): химический состав - структура - внешние воздействия - свойства.

ТЕМА 2.1. СТАЛИ И ЧУГУНЫ (ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ)

2.1.1. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО–ЦЕМЕНТИТ». ФОРМИРОВАНИЕ РАВНОВЕСНОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

При сплавлении железа с углеродом (С) образуется *карбид железа* Fe_3C , называемый *цементитом*¹, он содержит 6,67 % С.

Промышленные сплавы железа с углеродом содержат до ≈ 4 % С, поэтому их структуру изучают с помощью **диаграммы состояния «Железо–цементит» (Fe–Ц)**, т.е. компонентами данной системы являются Fe и Fe_3C (рис. 2.1.1).

На этом рисунке обозначены *фазы* во всех областях диаграммы, а под рисунком указаны *структуры* сплавов с различным содержанием углерода при нормальных температурах.

¹ В дальнейшем всюду, где требуется сокращение записи, цементит обозначен буквой Ц.

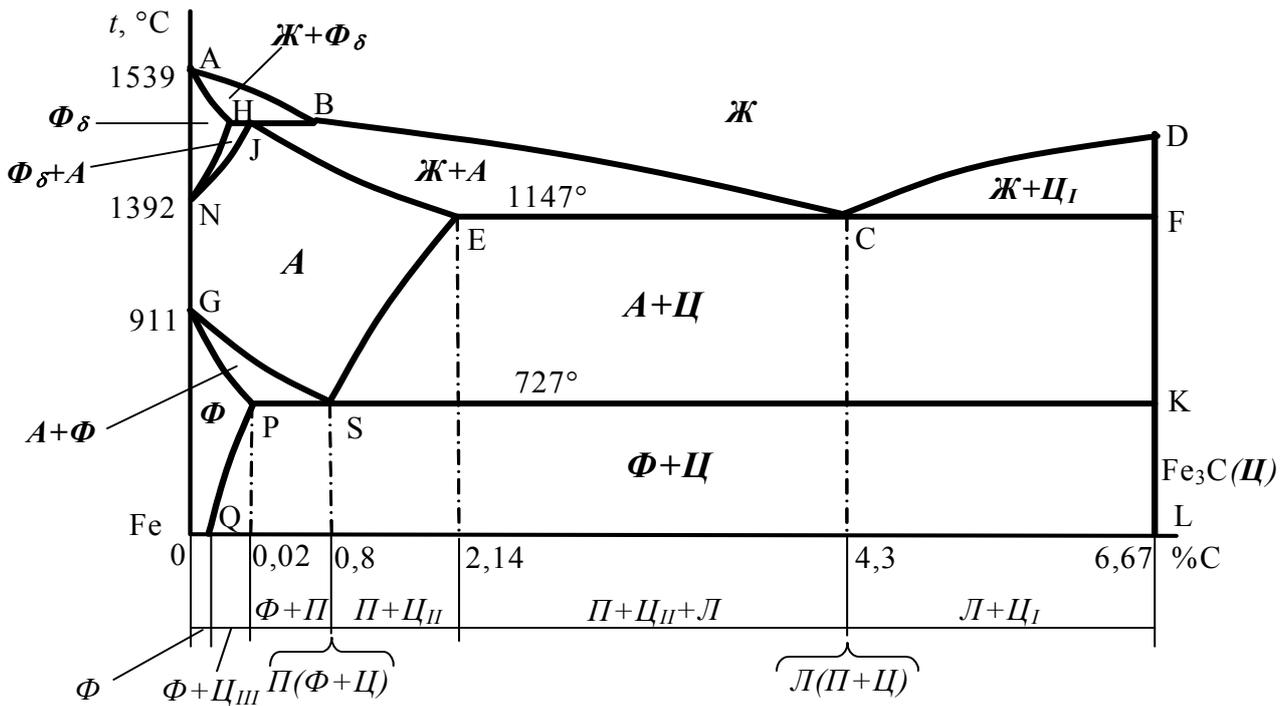


Рис. 2.1.1. Диаграмма состояния «Железо-цементит»: внизу под диаграммой – обозначения структур сплавов с различным содержанием углерода при нормальных температурах

На диаграммах состояния верхняя система линий (в данном случае ABCD) называется линией **ликвидус** (лат. – жидкий), выше нее любой сплав находится в жидком состоянии. На рис. 2.1.1. **Ж** – жидкая фаза (расплав) - жидкий раствор С в Fe.

Система линий диаграммы непосредственно под ликвидусом (в данном случае ANJESCF) называется линией **солидус** (лат. – твердый), ниже нее любой сплав – в твердом состоянии.

В системе Fe-Fe₃C существуют **три твердые** (кристаллические) **фазы**: **цементит** – химическое соединение (на диаграмме его однофазная «область» - линия – DFKL) и твердые растворы С в Fe – **аустенит** (область GNJES) и **феррит** (0GPRQ). Наличие двух твердых растворов является следствием полиморфизма железа – его способности существовать в двух модификациях (α и γ) при различных температурах (см. раздел 1.2.1). В интервале температур 0...911 °C,

а также 1392...1539 °С это α -Fe (или Fe _{α}) с ОЦК решеткой¹, в интервале 911...1392 °С железо имеет ГЦК решетку – это γ -Fe (или Fe _{γ}).

Соответственно при сплавлении железа с углеродом образуются два твердых раствора внедрения С в Fe: **феррит (Ф)** – раствор С в α -Fe и **аустенит (А)** – раствор С в γ -Fe.

Из диаграммы Fe–Ц (см. рис. 2.1.1) видно, что окончательная структура (при нормальных температурах) практически всех сплавов (правее т. Q, т.е. >0,01 %С) формируется из двух фаз: Ф и Ц.

Феррит – твердый раствор на основе α -Fe, содержащий < 0,02 %С, очень мягкая (твердость НВ ≤ 800) и пластичная (относительное удлинение $\delta \geq 30$ %) фаза.

Цементит – карбид железа, напротив, *очень тверд* (НВ ≈ 8000²) и *хрупок* ($\delta \approx 0$ %). Такие характеристики Ф и Ц обуславливают существенную зависимость механических свойств железоуглеродистых сплавов от содержания С (см. ниже, тему 2.1.2).

До сих пор были обсуждены только однофазные области диаграммы Fe–Ц. На рис. 2.1.1 показаны также двухфазные области (заметим, что из логических соображений в любой двухфазной области находятся те фазы, которые расположены слева и справа от данной области).

В конце темы 1.3 отмечалось, что *свойства сплавов зависят не только от фазового состава, но и от конкретной структуры сплавов. Чтобы установить структуру сплава, нужно проследить, какие превращения происходят в нем при медленном охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры.*

Рассмотрим этот процесс на примере **сталей** – сплавов с содержанием углерода от 0,02 до 2,14 % С.

¹ Железо, существующее в интервале 1392...1539 °С, часто обозначают как δ -Fe (Fe _{δ}), хотя это та же модификация α .

² Всюду в данном пособии твердость по Бринеллю (НВ) дается в МПа.

Формирование равновесной¹ структуры углеродистых² сталей в процессе кристаллизации

Из диаграммы Fe–Ц (см. рис. 2.1.1) следует, что все стали в результате затвердевания (т.е. непосредственно ниже линии солидус NJBE) приобретают однофазную аустенитную структуру (А).

Видно также, что при дальнейшем охлаждении они пересекают ряд линий диаграммы, значит в них происходят *превращения в твердом состоянии*. Эти превращения вызваны явлением полиморфизма железоуглеродистых сплавов (а также уменьшением растворимости С в А (линия ES) и Ф (линия PQ) с понижением температуры). Как следует из диаграммы Fe–Ц, эти превращения в сталях заканчиваются на линии PSK (727 °С), т.к. ниже этой температуры какие – либо критические линии отсутствуют.

На примере стали, содержащей 0,8 %С (т. S), видно, что *превращение, происходящее при $T \leq 727$ °С, заключается в распаде аустенита на смесь феррита и цементита:*



где индексы S и P показывают содержание С в аустените и феррите соответственно (в цементите оно не указывается, т.к. при любой температуре равно 6,67 %С).

Такое превращение, когда при постоянной температуре из одной твердой фазы образуются две другие (при фиксированных составах фаз) называется **эвтектоидным**.

В железоуглеродистых сплавах эвтектоидное превращение (2.1) называется **перлитным**, поскольку в результате него образуется **перлит** - *чередующаяся смесь тонких кристаллов (пластинок) феррита и цементита* – структу-

¹ Такие структуры формируются в соответствии с диаграммой фазового равновесия Fe–Ц при очень медленном охлаждении из жидкого состояния. Быстрое охлаждение может привести к появлению иных структур (см. тему 2.2).

² В легированных сталях с большим количеством специальных примесей структура может принципиально измениться по сравнению с рассматриваемыми здесь углеродистыми сталями (см. тему 2.3).

ра, напоминающая перламутровый (жемчужный) узор раковин.

В зависимости от содержания C углеродистые стали делятся на доэвтектоидные ($0,02 \dots 0,8 \%C$), эвтектоидные ($\approx 0,8 \%C$), заэвтектоидные ($0,8 \dots 2,14 \%C$).

Из приведенного выше обсуждения очевидно, что равновесная структура эвтектоидной стали – перлит (см. рис. 2.1.2 в).

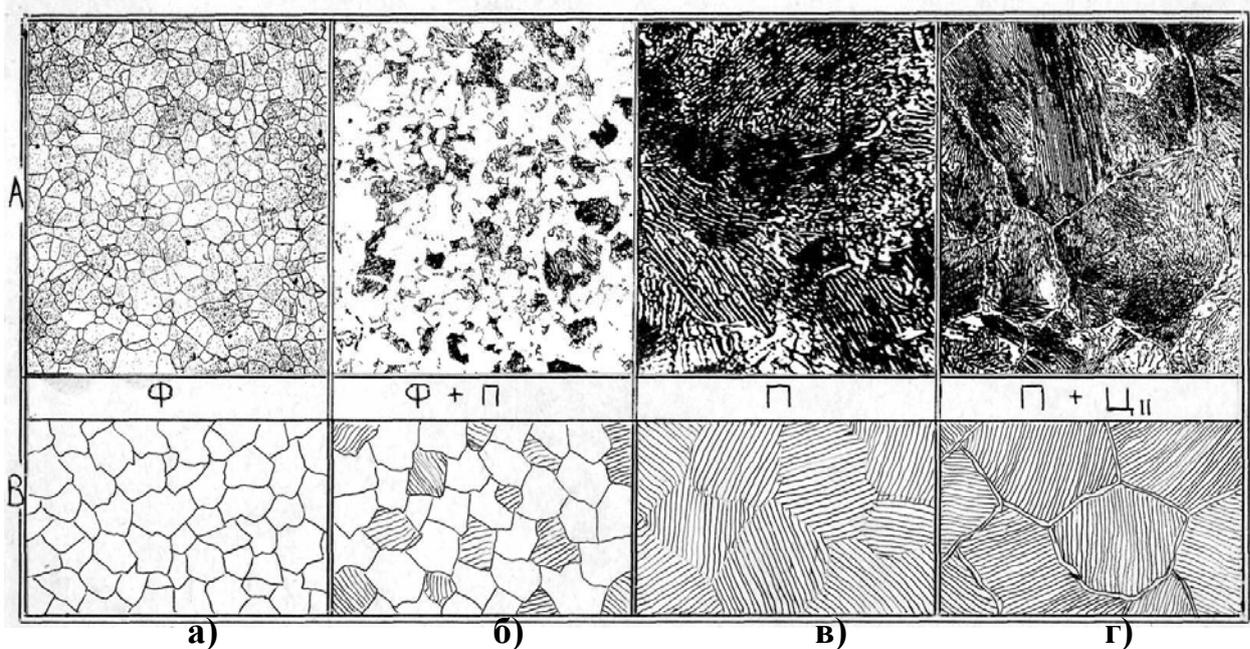


Рис. 2.1.2. Структура технического железа (а), доэвтектоидной (б), эвтектоидной (в), заэвтектоидной (г) сталей

В доэвтектоидных сталях помимо перлита (П) в структуре содержатся кристаллы избыточного¹ феррита, образовавшиеся из аустенита при охлаждении между линиями GS и PS (рис. 2.1.2 б).

В заэвтектоидных сталях перлитному превращению предшествует выделение вторичного цементита (Ц_{II})² из аустенита, поскольку предельное содержание C в А уменьшается с понижением температуры (по линии ES). Поэтому структура заэвтектоидных сталей состоит из зерен перлита, разделенных сеткой кристаллов Ц_{II} (см. рис. 2.1.2 г).

Таким образом, основной структурной составляющей углеродистых

¹ По сравнению с Ф, присутствующим в перлите.

² Цементит, кристаллизующийся из жидкой фазы в сплавах, содержащих $> 2,14 \%C$, принято называть первичным (Ц_I).

сталей в равновесном состоянии является перлит (см. рис. 2.1.2). Эвтектоидная сталь содержит одну структурную составляющую (П), все остальные стали по две: доэвтектоидные $P + \Phi$, заэвтектоидные $P + \text{Ц}_{II}$.

В сплавах, содержащих $< 0,02 \%C$ (левее т. Р, см. рис. 2.1.1), перлит в структуре отсутствует, т.к. в процессе охлаждения они не пересекают линию перлитного превращения (PSK). Эти сплавы называются **техническим железом** в отличие от химически чистого Fe, представленного на диаграмме Fe – Ц вертикалью ANG0). Структура технического Fe – **феррит** (хотя в сплавах, содержащих $0,01 \dots 0,02 \%C$ присутствует небольшое количество третичного цемента – Ц_{III}).

Заметим, что несмотря на разнообразие структур¹, (обусловленное тем, что сплавы с разным содержанием углерода пересекают при охлаждении различные линии диаграммы Fe – Ц), фазовый состав сплавов, содержащих $>0,01\%C$, одинаков – $\Phi + \text{Ц}$.

2.1.2. ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА

Из диаграммы Fe–Ц (рис. 2.1.1) следует, что структуры практически всех ($>0,01 \%C$) сплавов при нормальных температурах формируются из двух фаз – феррита (Φ) и цемента (Ц). Механические свойства этих фаз приведены выше на стр. 66.

Очевидно, что с увеличением содержания углерода в структуре сплавов возрастает количество твердого и хрупкого Ц и уменьшается количество мягкого, пластичного Φ . Твердые частицы Ц повышают сопротивление сплава пластической деформации (см. темы 1.2.2, 1.2.3). Поэтому с увеличением содержания углерода растут твердость (НВ) и прочность (σ_B) сплавов, падают их пластичность (δ, ψ) и ударная вязкость (КСУ) – рис. 2.1.3.

В теме 1.1 отмечалось, что и прочность (σ_B) и твердость (НВ) характеризуют сопротивление материала пластической деформации. Поэтому между

¹ Помимо рассмотренных есть еще три структуры белых чугунов (подробнее в 2.1.4).

σ_B и НВ существует закономерная связь

$$\sigma_B = a \cdot \text{НВ}, \quad (2.2)$$

где $a = \text{const}$, отличающаяся для различных сплавов (для сталей $a \approx 0,3$).

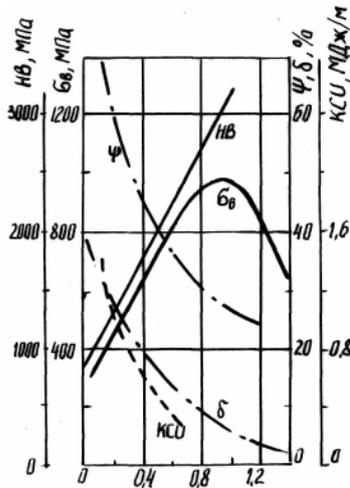


Рис. 2.1.3. Зависимость механических свойств углеродистых сталей в равновесном состоянии от содержания углерода

С этим связана одинаковая линейная зависимость σ_B и НВ от содержания углерода. Однако, как видно из рис. 2.1.3, в сплавах, содержащих $> 0,8\% \text{C}$, прочность при растяжении падает, а твердость продолжает расти. Это обусловлено охрупчивающим влиянием сетки Ц_{II} в заэвтектоидных сталях¹, которое не сказывается при измерениях твердости, т.к. при этом работает не все сечение образца (как при определении σ_B), а лишь локальная область под индентором (см. тему 1.1).

Таким образом, зависимость $\sigma_B = f(C)$, показанная на рис. 2.1.3, - наглядное проявление "красной нити" материаловедения: *Состав – Структура – Свойства* (вспомним Введение).

2.1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

В теме 2.1.1 фактически представлена классификация углеродистых сталей по равновесной структуре, это: доэвтектоидные стали (структура $\text{Ф} + \text{П}$), эвтектоидные (П) и заэвтектоидные ($\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}}$).

Однако для потребителя более важной является классификация по на-

¹ Именно поэтому в реальных изделиях из заэвтектоидных сталей сетку Ц_{II} специальной термомеханической обработкой преобразуют в мелкие равномерно распределенные кристаллики "зернистого цементита".

значению, поскольку она определяет возможность использования той или иной стали для конкретных изделий. *Основой такой классификации является зависимость механических свойств сталей от содержания углерода*, показанная на рис. 2.1.3.

Видно, что достоинством сталей с большим содержанием углерода ($\geq 0,7\% \text{C}$) является высокая твердость, поэтому такие стали относятся к группе **инструментальных** (т.к. основное требование для большинства видов инструмента – именно высокая твердость). Маркировка этих сталей **У7, У8, У10, ..., У13** (ГОСТ 1435–90), где цифры показывают содержание углерода в десятых долях %.

Конструкционные стали используют для разнообразных по назначению изделий, работающих при сложных, в том числе, динамических нагрузках. Такие стали должны обладать оптимальным сочетанием прочности и ударной вязкости, поэтому, в основном, это мало – и среднеуглеродистые стали¹. Они подразделяются на **стали обыкновенного качества** общего назначения (марки **Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6** ГОСТ 380–94) и **качественные конструкционные стали** (марки **08, 10, 15, 20, 25, ..., 40, 45, ..., 85** ГОСТ 1050–88).

Содержание углерода в сталях обыкновенного качества изменяется от $\approx 0,1\%$ до $0,5\%$ и в среднем возрастает с увеличением цифры в марке (соответственно изменяются свойства согласно рис. 2.1.3). Из этих сталей обычно изготавливают малонагруженные изделия, не подвергаемые упрочняющей термической обработке.

В марках качественных конструкционных сталей цифры показывают содержание углерода в сотых долях % (например, в стали 45... $0,45\% \text{C}$). Эти стали применяют для ответственных изделий, которые для получения оптимальных механических свойств подвергаются упрочняющей термической обработке, состоящий из закалки и отпуска (см. ниже тему 2.2).

¹ К конструкционным относят так же стали с высоким содержанием углерода ($0,6...0,85\% \text{C}$). Эти стали (марки 60, 65, 70, 75, 80, 85) применяют главным образом в качестве рессорно-пружинных, а также для деталей с повышенными требованиями по прочности, упругости и износостойкости (шпиндели, эксцентрики, диски сцепления, прокатные валки и др.)

2.1.4. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ

Сплавы, содержащие $> 2,14\% \text{C}$ (правее т. E на диаграмме «Железо-цементит», см. рис. 2.1.1), называются чугунами.

Чугуны, кристаллизующиеся в соответствии с диаграммой Fe-Ц, называются **белыми** (из-за светлого оттенка излома, обусловленного большим количеством цементита в структуре). Из диаграммы Fe-Ц следует, что затвердевание этих сплавов происходит при $T \leq 1147\text{ }^\circ\text{C}$ непосредственно ниже линии *солидус* ECF в результате превращения



Такое превращение (затвердевание жидкой фазы в смесь двух твердых при фиксированном составе фаз и постоянной температуре) называется **эвтектическим**¹, а образующаяся смесь кристаллов – **эвтектикой** (греч. – «легко плавящаяся» – из диаграммы Fe-Ц видно, что чугуны имеют наименьшую температуру плавления среди железистых сплавов).

Эвтектика в белых чугунах называется **ледебуритом** (по фамилии исследователя – Ледебура). В момент образования (см. (2.3)) она состоит из аустенита и цементита, но при $T \leq 727\text{ }^\circ\text{C}$ аустенит превращается в перлит (напомним, что PSK – линия эвтектоидного – перлитного превращения, см. (2.1)). Поэтому *при нормальных температурах* **ледебурит** (Л) – сложная структурная составляющая; представляет собой светлую цементитную основу с темными включениями перлитных зерен.

По структуре белые чугуны делятся на доэвтектические (2,14...4,3 %C) *со структурой* Л+П+Ц_ц, **эвтектические** (4,3 %C) – Л и **заэвтектические** (4,3...6,67 %C) – Л+Ц_ц.

Наличие легкоплавкой эвтектики (ледебурита) в белых чугунах обеспечивает их высокие литейные свойства.

¹ Перлитное превращение (формула 2.1) называется эвтектоидным, что означает "похожее на эвтектическое"; разница в том, что исходной фазой эвтектоидного превращения является не жидкая, а какая-то (третья) твердая фаза (в данном случае аустенит).

Механические же свойства этих сплавов можно оценить, экстраполировав зависимости, показанные на рис. 2.1.3, на содержание углерода $> 2,14 \%$.

Видно, что белые чугуны обладают очень высокой твердостью, но низкими значениями пластичности, ударной вязкости и прочности, что является следствием большого количества цементита в структуре (о свойствах Ц – в разделе 2.1.1). Поэтому *белые чугуны как конструкционные материалы не используются.*

На практике в качестве дешевых литейных конструкционных материалов широко применяются **серые чугуны**.

Принципиальное отличие структуры серых чугунов от белых в том, что углерод в них находится не в химически связанном состоянии (т.е. в виде Fe_3C – цементита), а в свободном – в виде включений графита¹ различной формы.

Уровень механических свойств серых чугунов зависит от двух основных структурных факторов:

- 1) **формы (и количества) графитных включений,**
- 2) **структуры металлической основы.**

По первому признаку эти сплавы делятся:

1) на собственно **серые чугуны (СЧ)**, в которых графит имеет форму длинных заостренных пластин. Разновидностью этих чугунов являются модифицированные СЧ, в которых пластинки графита мелкие и имеют завихренную форму;

2) **высокопрочные чугуны (ВЧ)** с шаровидным (глобулярным) графитом;

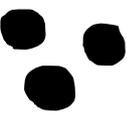
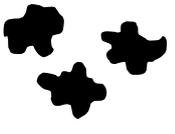
3) **ковкие чугуны (КЧ)** с хлопьевидным графитом.

Структура металлической основы любого из этих чугунов может быть одного из трех видов: феррит (Ф), феррит+перлит (Ф+П) и перлит (П).

В табл. 2.1 в качестве примера приведены некоторые марки и механические свойства различных видов серых чугунов.

¹ Отсюда их название – более темный по сравнению с белыми чугунами оттенок излома.

**Классификация, маркировка и механические свойства
различных видов серых чугунов**

Марка чугуна	$\sigma_{в}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , %	Структура металличес- кой основы	Форма графитных включений
С е р ы е ч у г у н ы (ГОСТ 1412-85)				
СЧ 10	100(10)	≈0	Ф	
СЧ 18	180(18)	≈0	Ф+П	
СЧ 30	300(30)	≈0	П	
СЧ 45				
В ы с о к о п р о ч н ы е ч у г у н ы (ГОСТ 7293-85)				
ВЧ 38	380(38)	17	Ф	
ВЧ 45	450(45)	5	Ф+П	
ВЧ 120	1200(120)	2	П	
К о в к и е ч у г у н ы (ГОСТ 1215-79)				
КЧ 30-6	300(30)	6	Ф	
КЧ 45-6	450(45)	6	Ф+П	
КЧ 80-1,5	800(80)	1,5	П	

Очевидно, что *механические свойства чугуна данного вида* (т.е. с определенной формой графитных включений) *определяются структурой металлической основы*, т.к. от феррита к перлиту увеличивается содержание углерода, соответственно растут твердость и прочность, падают пластичность и ударная вязкость (см. рис. 2.1.3).

Свойства чугунов с данной структурой металлической основы зависят от формы графитных включений. Наихудшая форма графита в СЧ, т.к. острые концы пластин при нагружении являются очагами зарождения микротрещин. Особо низкий комплекс механических свойств получается, если пластин графита так много и они настолько длинные, что разобщают металлическую основу (матрицу) чугуна (см. табл. 2.1).

По сути любые серые чугуны представляют собой углеродистые доэв-

тектоидные (Ф+П), эвтектоидные (П) стали или техническое железо (Ф) (см. тему 2.1.1) с включениями графита. Очевидно, что графит уменьшает прочность и пластичность металлической основы. Поэтому чугуны имеют более низкие механические свойства по сравнению с углеродистыми сталями. Однако от сталей они отличаются более высокими литейными свойствами, низкой стоимостью, нечувствительностью к дефектам поверхности, демпфирующими и антифрикционными свойствами.

Итак в данной теме (2.1) было показано, как изменяется структура и механические свойства промышленных железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов) в зависимости от содержания углерода. Наиболее важным пунктом этой темы являются зависимости механических свойств, представленные на рис. 2.1.3, поскольку они являются основой классификации сталей по назначению.

Следует, однако, подчеркнуть, что приведенный на этом рисунке комплекс механических свойств соответствует сталям в равновесном¹ состоянии (т.е. со структурами, формирующимися по диаграмме состояния Fe-Fe₃C).

На практике все ответственные стальные изделия подвергают специальной упрочняющей термической обработке, в результате которой качественный характер зависимостей механических свойств от содержания углерода (рис. 2.1.3) сохраняется, но количественные показатели вследствие структурных превращений существенно изменяются.

Таким путем добиваются улучшения механических свойств сталей с данным содержанием углерода (т.е. различных марок; например, твердость эвтектоидной стали У8 можно повысить в ≈ 4 раза).

Обсуждение явлений, происходящих в процессе упрочняющей термической обработки сталей, – следующая тема 2.2.

Внимание!

Раздел 2.1 - первый раздел «Опорного конспекта», посвященный кон-

¹ Наилучшим образом такое состояние достигается путем отжига (см. ниже раздел 2.2); практически же часто имеется в виду исходное «сырое» состояние поставки стали.

кретным промышленным сплавам – углеродистым сталям и чугунам (наиболее применяемым материалам машиностроения). Особое внимание следует обратить на зависимость структуры и механических свойств сталей от содержания углерода, а также на структурные превращения, происходящие в сталях при их *медленном охлаждении* от высоких температур. Важно усвоить, что окончательная структура сталей формируется в результате перлитного превращения ($A \xrightarrow{\text{охл}} \Phi + \text{Ц}$ при $t \leq 727 \text{ }^\circ\text{C}$), обусловленного явлением *полиморфизма* в этих сплавах.

В следующей теме 2.2 будет показано, как влияет *ускоренное охлаждение* стали из аустенитного состояния на ее структуру и механические свойства. Происходящие при таком охлаждении процессы реализуются при *закалке сталей*, являющейся *первым этапом упрочняющей термической обработки*.

Заметим также, что знание материала темы 2.1 необходимо для выполнения контрольных работ. Учитывая все это, рекомендуем помимо изучения данной темы выполнить лабораторные работы 4 и 5 (или хотя бы ознакомиться с их содержанием), а также не забыть про вопросы для самопроверки.

Вопросы для самопроверки к теме 2.1

1. Попробуйте начертить по памяти диаграмму состояния Fe-Fe₃C (без левого верхнего угла) и указать характерные критические температуры и концентрации углерода, соответствующие различным группам сплавов.
2. Охарактеризуйте фазы, присутствующие в углеродистых сталях и белых чугунах. Каковы механические свойства этих фаз?
3. Какова причина наличия двух твердых растворов углерода в железе?
4. Укажите фазы в двухфазных областях диаграммы.
5. Какое превращение формирует окончательную структуру углеродистых сталей?
6. Каковы концентрационные интервалы (по содержанию C) и структуры эвтектоидной, до – и заэвтектоидных сталей?
7. Какова основная структурная составляющая углеродистых сталей в равновесном состоянии; что она собой представляет?

8. Каково содержание углерода в эвтектическом, до - и заэвтектических белых чугунах? Каковы их структуры?

9. Нарисуйте по памяти (качественно) зависимость механических свойств железоуглеродистых сплавов от содержания углерода. Объясните ее.

10. На чем основана классификация углеродистых сталей по назначению? Приведите несколько марок сталей различного назначения, укажите содержание в них углерода.

11. Почему белые чугуны не используют в качестве конструкционных материалов?

12. От каких структурных факторов зависят механические свойства серых чугунов?

13. Назовите различные виды серых чугунов. На чем основана эта классификация? Какова маркировка этих сплавов?

14. Опишите структуру наиболее прочного (теоретически) из всех разновидностей серых чугунов.

Промежуточные тесты к теме 2.1

I. Каково максимальное (теоретически) содержание углерода в сталях (в %)?

1. 6,67.
2. 0,8.
3. 2,14.
4. 1,2.
5. 4,3.

II. Укажите **все** кристаллические **фазы**, присутствующие в железоуглеродистых сплавах:

- 1) перлит;
- 2) феррит;
- 3) цементит;
- 4) ледебурит;
- 5) аустенит.

III. Укажите номера **всех типовых структур металлической основы** различных видов серых чугунов:

- 1) феррит;
- 2) ледебурит;
- 3) феррит + перлит;
- 4) ледебурит + цементит первичный;
- 5) перлит.

IV. Наличием какой **фазы** в структуре серые чугуны отличаются от белых?

1. Аустенит.
2. Графит.
3. Цементит.
4. Перлит.
5. Феррит.

V. Какой химический элемент преобладает в сталях?

1. Углерод.
2. Хром.
3. Железо.
4. Никель.
5. Кислород.

VI. С какой из перечисленных структур чугуна должен обладать наибольшей прочностью?

1. Шаровидный графит (Г) + феррит (Ф).
2. Шаровидный Г + перлит (П).
3. Пластинчатый Г + П.
4. Хлопьевидный Г + Ф + П.
5. Хлопьевидный Г + Ф.

VII. Из каких **фаз** формируется равновесная структура углеродистых сталей и белых чугунов при нормальных температурах?

1. Аустенит.
2. Феррит.
3. Цементит.
4. Ледебурит.
5. Перлит.

VIII. Как изменяются твердость и пластичность углеродистых сталей с увеличением содержания в них углерода?

1. Твердость и пластичность растут.
2. Твердость и пластичность падают.
3. Твердость растет, пластичность падает.

4. Твердость падает, пластичность, пластичность растет.
5. Твердость растет, пластичность не изменяется.

IX. Какова основная **структурная составляющая** углеродистых сталей в равновесном состоянии при комнатной температуре?

1. Феррит.
2. Цементит вторичный.
3. Перлит.
4. Аустенит.
5. Ледебурит.

X. По каким из перечисленных характеристик серые чугуны выгодно отличаются от углеродистых сталей?

1. Антифрикционные свойства.
2. Стоимость.
3. Литейные свойства.
4. Прочность.
5. Пластичность.

XI. Какой из перечисленных материалов обладает наибольшей пластичностью?

1. Эвтектоидная сталь.
2. Доэвтектоидная сталь.
3. Ковкий чугун на ферритной основе.
4. Доэвтектический белый чугун.
5. Техническое железо.

ТЕМА 2.2. УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ (ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ЗАКАЛКЕ И ОТПУСКЕ НА СВОЙСТВА СТАЛИ)

В предыдущей теме 2.1 был сделан важный вывод о том, что *механические свойства углеродистых сталей определяются количеством содержащегося в них углерода.*

Свойства стали с данным содержанием углерода могут изменяться в широких пределах в результате термической обработки.

Для получения оптимальных механических свойств все ответственные стальные изделия из качественных углеродистых и, тем более, легированных¹ сталей обязательно подвергаются упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки и отпуска.

2.2.1. ЗАКАЛКА (ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ)

Закалка – это нагрев стали до аустенитного состояния, выдержка и последующее ускоренное охлаждение со скоростью $V \geq V_{кр}$ ($V_{кр}$ – «критическая скорость закалки», см. ниже) с целью максимального повышения твердости и прочности. Подчеркнем сразу, что эффективное упрочнение стали при закалке обусловлено явлением полиморфизма этих сплавов (см. тему 2.1.1).

Обсудим последовательность структурных превращений, происходящих в стали в процессе закалки, на примере эвтектоидной стали (0,8 %С). Для удобства обсуждения на рис. 2.2.1 показан «стальной угол» диаграммы «Железо – цементит» (ср. с рис. 2.1.1).

Исходная структура эвтектоидной стали - перлит² - эвтектоидная смесь кристаллов феррита и цементита (см. рис. 2.1.2), в сокращенной записи – П(Ф+Ц).

¹ Стали, в которые специально вводятся примеси – легирующие элементы (см. ниже, раздел 2.3); очевидно, они еще дороже качественных углеродистых, поэтому экономически нецелесообразно использовать изделия из этих сталей в неупрочненном состоянии.

² Обычно перед закалкой делается **отжиг** для улучшения структуры заготовок и облегчения механической обработки. **Отжиг** – нагрев стали до аустенитного состояния и последующее медленное охлаждение с печью, в результате чего формируется равновесная структура в стали в соответствии с диаграммой Fe–Ц.

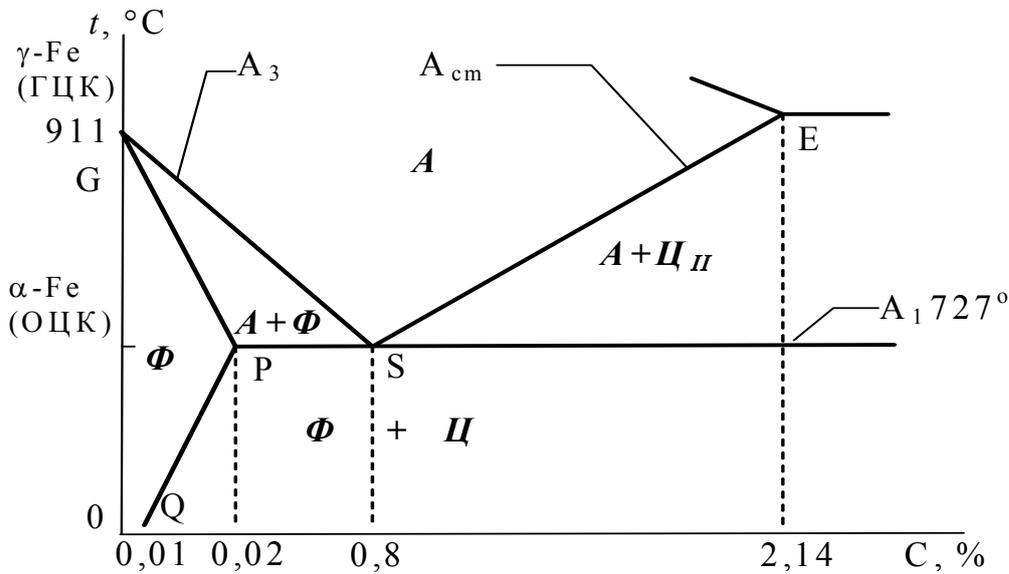
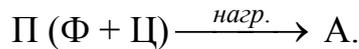
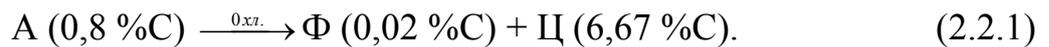


Рис. 2.2.1. «Стальной угол» диаграммы «Железо–цементит»
 A_1 , A_3 , A_{cm} – общепринятые обозначения критических линий

При нагреве сталей под закалку в них происходят превращения, обратные тем, которые были рассмотрены в теме 2.1.1. Так эвтектоидная сталь при $t > A_1$ (727 °C) приобретает однофазную аустенитную структуру, т.е.



В теме 2.1.1 отмечалось, что при последующем охлаждении аустенит при $t \leq A_1$, становится неустойчивым и распадается на смесь феррита и цементита, т.е.



Время начала и конца этого распада дается «**диаграммой изотермического превращения переохлажденного аустенита** («С – диаграмма») – рис. 2.2.2.

Левая С – образная линия на рис. 2.2.2 характеризует время (τ) начала, а правая – конца распада аустенита на смесь Φ и Ц (2.2.1) в зависимости от температуры изотермической выдержки. Для удобства обозначим эти линии буквами «н» и «к» соответственно.

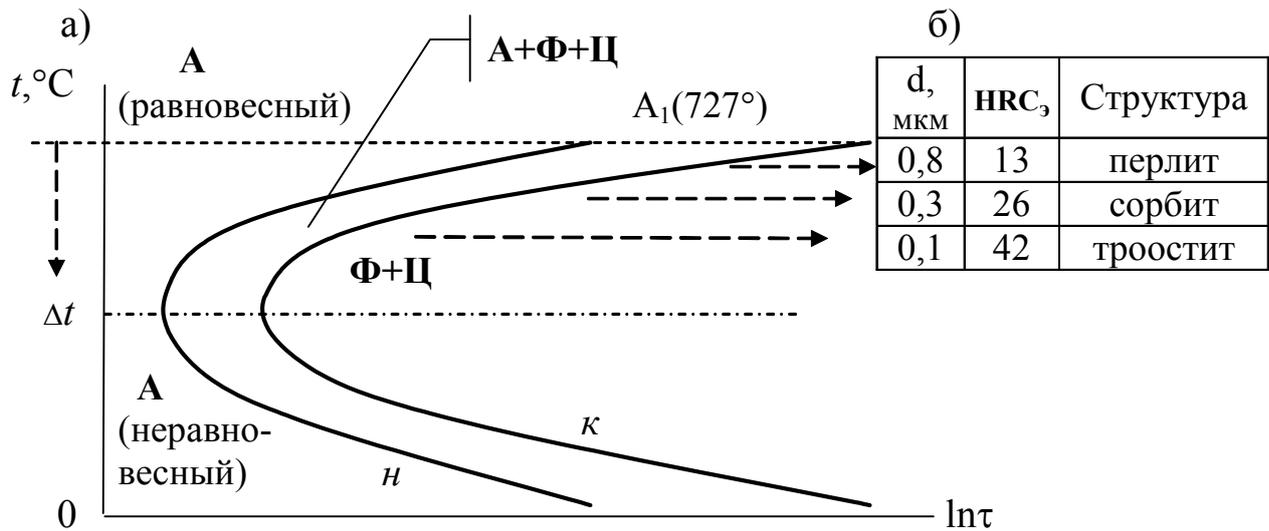


Рис. 2.2.2. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита эвтектоидной стали¹ (а) и характеристики перлитных структур (б)

Слева от линии «н» аустенит может какое-то время сохраняться в переохлажденном (относительно критической температуры $A_1=727^\circ\text{C}$), а значит неравновесном, неустойчивом состоянии. Правее линии «к» распад аустенита (2.2.1) завершается.

Степень дисперсности (величина, обратная размеру зерна) образующейся в результате ферритоцементитной смеси (Ф+Ц) зависит от конкретной температуры t , при которой происходит распад переохлажденного аустенита, или, что то же – от степени его переохлаждения

$$\Delta t = A_1 - t. \quad (2.2.2)$$

С понижением температуры распада (увеличением Δt) быстро уменьшается скорость диффузионного роста образующихся кристаллов, т.е. происходит измельчение ферритоцементитной смеси, соответственно возрастает ее твердость.

В связи с этим принято различать *три структуры перлитного типа: перлит, сорбит, троостит*². Они имеют одинаковое строение (это смеси пла-

¹ Поскольку в до – и заэвтектоидных сталях помимо перлитного превращения (2.2.1) происходят изменения в структуре на линиях A_3 и A_{cm} диаграммы Fe–Ц, то и «С – диаграммы» этих сталей выглядят сложнее. Однако главные процессы, происходящие при закалке сталей, могут быть поняты с помощью наиболее простой диаграммы, приведенной на рис. 2.2.2.

² Названия последних структур – по фамилиям исследователей: Sorby и Troost.

стинок Φ и Ψ), но отличаются степенью дисперсности, а значит и твердостью.

На рис. 2.2.2,б приведены усредненные характеристики (d - средняя толщина пластинок Φ и Ψ , HRC₃ - твердость) перлитных структур в эвтектоидной стали.

Все эти структуры получаются в результате *превращения перлитного типа* (2.2.1). Его протекание вызвано полиморфизмом железа и сплавов на его основе – сталей. *Характерной чертой этого превращения является его диффузионный механизм* (благодаря высоким температурам $\approx 500...720^\circ\text{C}$ и достаточно длительным временным выдержкам). Это видно из реакции (2.2.1), где несовпадение химического состава участвующих фаз означает активную диффузию атомов углерода.

На практике различные типы перлитных структур получают обычно не при изотермических выдержках, а при непрерывном охлаждении стали из аустенитного состояния с различными скоростями¹. Степень дисперсности образующихся при этом феррито-цементитных смесей (и соответственно, тип перлитной структуры) зависит от величины скорости охлаждения V . Эта зависимость отчетливо проявляется, когда на $C - \text{диаграмму}$ наносят кривые охлаждения $t=f(\tau)$, наклон которых характеризует величину скорости охлаждения, так как

$$V = \frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \text{tg} \alpha . \quad (2.2.3)$$

Очевидно, что на рис. 2.2.3 $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$. Из рисунка следует, что *чем больше скорость охлаждения*, тем при более низкой температуре происходит распад переохлажденного аустенита, тем *более дисперсной и твердой получается перлитная структура*: при скорости V_1 – перлит, V_2 – сорбит, V_3 – троостит.

Видно также, что при скорости $V \geq V_4$ аустенит не успевает превратиться ни в одну из перлитных структур, так как при таком быстром охлаждении «про-

¹ Это осуществляется использованием закалочных сред с различными охлаждающими способностями.

скакивает» область высоких температур, в результате его диффузионный распад на феррит и цементит становится невозможным.

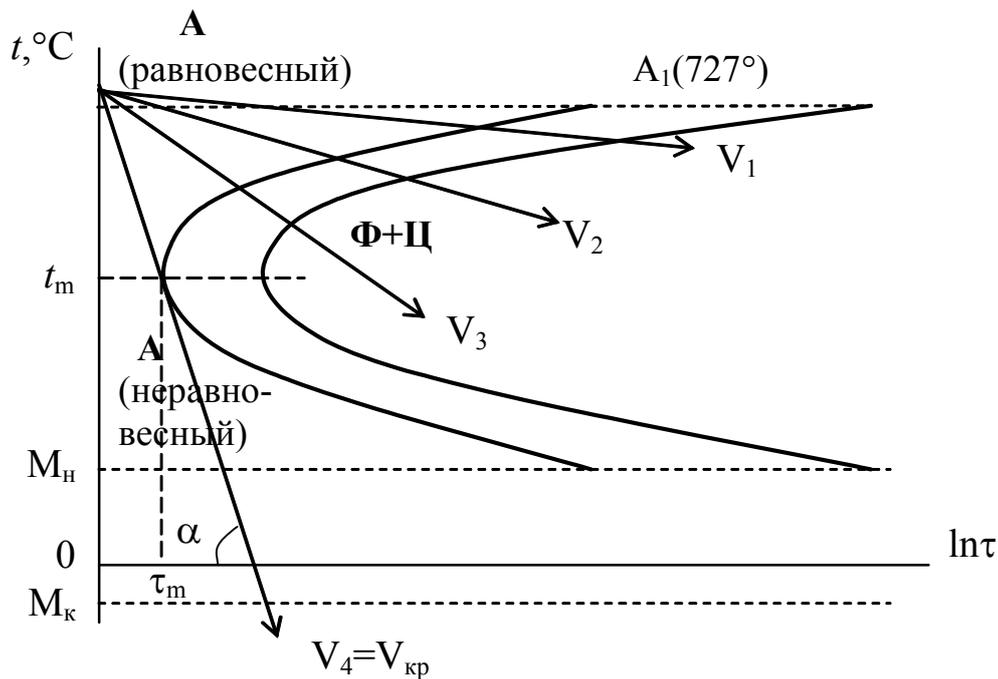


Рис.2.2.3. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита (эвтектоидная сталь) с нанесенными на нее скоростями охлаждения
 t_m и τ_m – температура и времени минимальной устойчивости переохлажденного аустенита

Минимальная скорость охлаждения, при которой не происходит распада аустенита на смесь Ф+Ц, называется **критической скоростью заковки** $V_{кр}$ (она характеризуется наклоном линии V , касательной к кривой начала распада А на Ф и Ц, т.е. $V_{кр} = V_4$).

Таким образом при охлаждении стали со скоростью $V \geq V_{кр}$ (заковке, см. начало темы 2.2.1) аустенит переохлаждается до таких низких температур, где диффузия атомов практически отсутствует. Если бы стали не обладали полиморфизмом, заковка приводила бы к сохранению аустенитной структуры¹. Наличие полиморфизма вызывает $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение аустенита, но, в отличие от перлитного превращения, **бездиффузионным мартенситным путем** при охлаждении в интервале $M_n \dots M_k$ (температуры начала и конца мартенситного пре-

¹ В общем случае под заковкой понимают сохранение высокотемпературного состояния с помощью быстрого охлаждения сплава.

вращения соответственно, см. рис. 2.2.3).

Равновесная α -фаза в сталях – это феррит – твердый раствор углерода в α -железе, содержащий $\leq 0,02\%C^1$. Из-за бездиффузионного характера мартенситного превращения содержание углерода в исходной γ -фазе (аустените) и конечной α -фазе должно быть одинаково. Но, так как в аустените углерода гораздо больше (0,8 %), в результате закалки α -фаза оказывается пересыщенной углеродом; она называется **мартенситом**.

Таким образом, **мартенсит, как и феррит – твердый раствор углерода в α -Fe, но в отличие от феррита он пересыщен углеродом.**

Вследствие этого пересыщения *решетка мартенсита становится тетрагональной* (в отличие от ОЦК решетки феррита – рис. 2.2.4), она характеризуется двумя параметрами c и a ; очевидно, что **степень тетрагональности** $\frac{c}{a} > 1$.

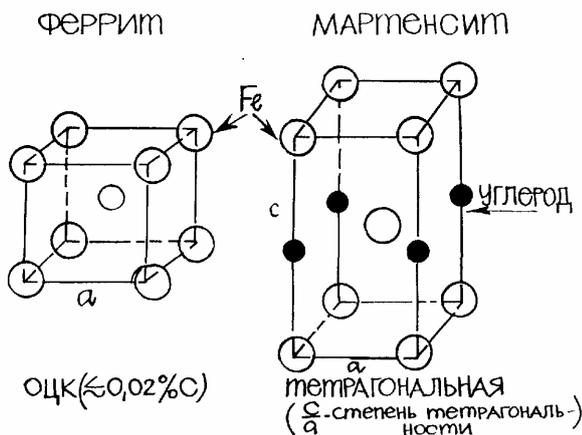


Рис. 2.2.4. Кристаллические решетки феррита и мартенсита

Образование мартенсита с тетрагональной решеткой приводит к появлению сильных внутренних напряжений, резкому повышению плотности дислокаций и степени дисперсности структуры, соответственно значительно возрастает твердость и прочность (вспомни пути повышения прочности, раздел 1.2.2 и 1.2.3). Очевидно, что действие перечисленных упрочняющих факторов тем эффективнее, чем больше углерода в стали, так как возрастает степень пересыщения решетки мартенсита углеродом, увеличиваются степень тетрагональности и внутренние напряжения. Поэтому *твердость закаленной стали (мартен-*

¹ Такой низкий предел растворимости C в α -Fe обусловлен отсутствием в ОЦК решетке феррита необходимых по размеру межатомных пустот для размещения атомов углерода.

сита) растет с увеличением содержания в ней углерода – рис. 2.2.5.

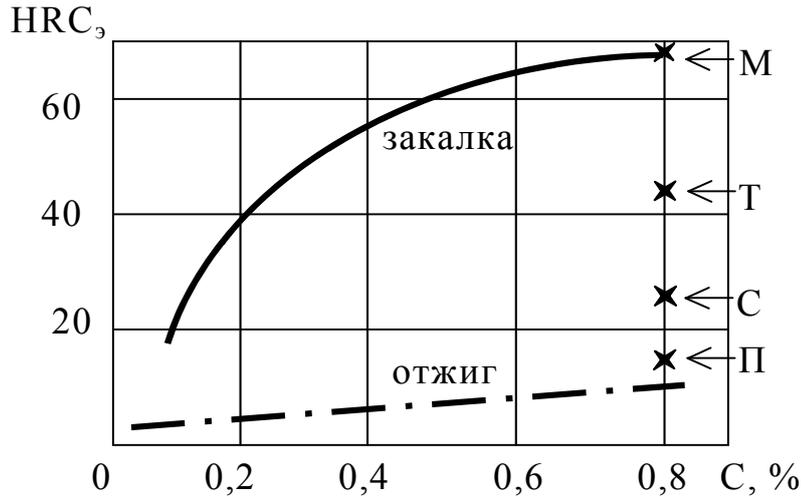


Рис. 2.2.5. Влияние содержания углерода на твердость стали в закаленном и отожженном состояниях. Для сравнения наряду с твердостью мартенсита (М) приведены значения твердости перлита (П), сорбита (С), троостита (Т) эвтектоидной стали

На этом же рисунке для сравнения приведены твердости перлитных структур в эвтектоидной стали (из данных рис. 2.2.2,б), а также зависимость твердости сталей в отожженном состоянии от содержания углерода (из рис. 2.1.3).

Из рис. 2.2.5 отчетливо видно, что:

1) степень упрочнения стали в результате закалки (характеризуется разницей между двумя зависимостями $HRC_s = f(C)$) возрастает пропорционально содержанию в ней углерода;

2) мартенсит – самая твердая из всех структур, которые могут быть получены из переохлажденного аустенита. Это основное достоинство мартенсита (закаленной стали), но, к сожалению, он обладает повышенной хрупкостью, которая растет с увеличением содержания углерода в стали. Поэтому *после закалки на мартенсит стали необходимо подвергать отпуску, главная цель которого повышение пластичности и ударной вязкости закаленной стали.*

2.2.2. ОТПУСК (ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ)

Мартенсит, получаемый в результате закалки неравновесная, неустойчивая структура, поэтому он может длительно сохраняться лишь при достаточно

низких температурах ($\leq 100 \dots 150$ °C), где диффузия атомов незначительна.

При нагреве закаленной стали в докритическом интервале температур ($t < A_1 = 727$ °C) в ней развиваются диффузионные процессы, постепенно приближающие структуру и свойства стали к равновесному состоянию – это **процессы отпуска**.

Структура и свойства стали при отпуске зависят от температуры нагрева. Соответственно различают **три вида отпуска: низкий** (≈ 200 °C), **средний** (≈ 400 °C), **высокий** (≈ 600 °C).

При низком отпуске существенных изменений в структуре еще не происходит (структура - **мартенсит отпуска**), лишь уменьшается степень тетрагональности, частично снимаются внутренние напряжения, незначительно понижается твердость и повышается пластичность. Низкий отпуск применяют в тех случаях, когда от изделий в первую очередь требуется высокая твердость (режущий, измерительный и холодноштамповый инструмент, детали шариковых подшипников, шестерни после цементации и т.п.).

При среднем отпуске избыточный углерод в виде мельчайших частиц цементита практически полностью покидает решетку мартенсита. Решетка мартенсита обезуглероживается и превращается в ОЦК решетку феррита (степень тетрагональности $\frac{c}{a} = 1$).

В результате образуется феррито – цементитная смесь, называемая **трооститом отпуска**. Твердость и прочность заметно понижаются, повышается ударная вязкость. Такая структура при твердости HRC₃ 35...45 обеспечивает наибольшую упругость стали, поэтому средний отпуск обычно применяют для пружин, рессор, мембран, ударного инструмента.

При высоком отпуске изменений в фазовом составе (Ф+Ц) уже не происходит (см. диаграмму Fe–Ц), но развиваются диффузионные процессы укрупнения и округления частиц цементита, что сопровождается дальнейшим снижением прочности и твердости, повышением пластичности и ударной вязкости. Соответствующая структура называется **сорбитом отпуска**.

Термическая обработка, состоящая из заковки и высокого отпуска, называется **улучшением**. Она применяется для ответственных изделий (валов, рычагов, зубчатых колес и т.п.), изготавливаемых из среднеуглеродистых (0,3...0,5 %С) **улучшаемых сталей**, так как обеспечивает в этом случае наилучший комплекс механических свойств – максимальную ударную вязкость при достаточно высокой прочности. Высокие механические свойства сорбита отпуска обусловлены малыми размерами и округлой формой частиц цементита (в отличие от сорбита заковки, в котором острые концы пластинок цементита играют роль концентраторов напряжений, способствующих зарождению микротрещин).

На рис. 2.2.6 в качестве примера показано изменение механических свойств стали 45 в зависимости от температуры отпуска.

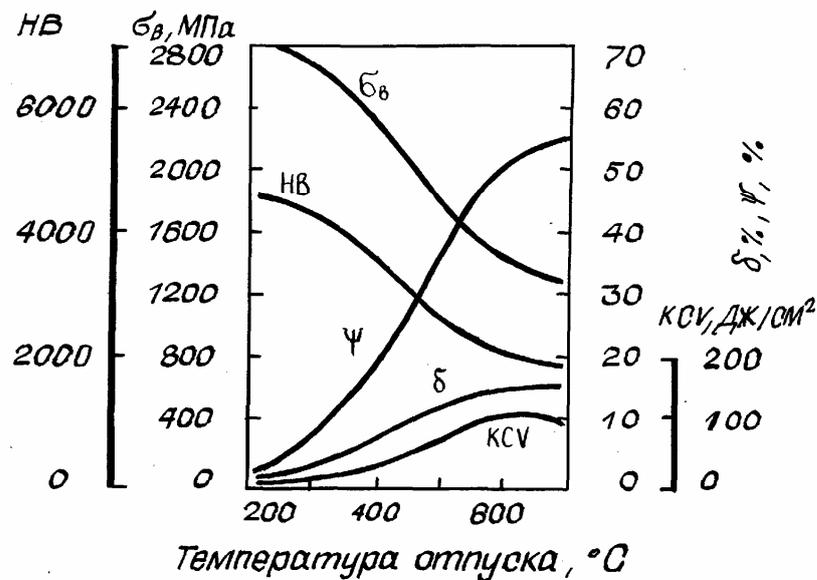


Рис. 2.2.6. Зависимости механических свойств закаленной стали от температуры отпуска (сталь 45)

Заметим, что с повышением температуры отпуска свойства приближаются к значениям, соответствующим отожженному (равновесному) состоянию, но не достигают их даже при высоком отпуске (в частности, сохраняется более высокая твердость и прочность).

Очевидно, что правильный выбор температуры отпуска позволяет сформировать окончательную структуру и комплекс механических свойств, обеспечивающих успешную работу изделия данного назначения.

Внимание!

В начале этой темы (2.2) отмечалось, что все ответственные стальные изделия должны проходить упрочняющую термическую обработку, состоящую из закалки и отпуска. *Поэтому данная тема с точки зрения и теории и практики – одна из наиболее важных в курсе материаловедения. Соответствующие знания совершенно необходимы для выполнения как первой, так и второй части контрольной работы, посвященной выбору материалов для изделий различного назначения. Поэтому изучению материала данной темы нужно уделить особое внимание. Все явления, касающиеся термической обработки сталей, входят и в обязательный перечень экзаменационных вопросов. Рекомендуется также выполнить лабораторную работу 6 и, конечно, ответить на вопросы для самопроверки.*

Вопросы для самопроверки к теме 2.2

1. Из каких этапов состоит упрочняющая термическая обработка сталей?
2. Что такое закалка сталей? Какова ее цель?
3. Нарисуйте диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита эвтектоидной стали; объясните смысл ее линий.
4. Что такое критическая скорость закалки ($V_{кр}$)? Как определяется ее величина?
5. Какую структуру и механические свойства приобретает сталь при охлаждении со скоростью $V \geq V_{кр}$?
6. Какие структуры получаются в стали при охлаждении со скоростями $V < V_{кр}$? Что у них общего, чем отличаются?
7. В чем принципиальное отличие мартенситного превращения от перлитного?
8. В чем причина высокой твердости мартенсита? Как зависит твердость закаленной стали от содержания в ней углерода?
9. Каков недостаток стали после закалки?
10. Что такое отпуск, какова его цель?
11. Перечислите виды и режимы отпуска.

Как изменяются структура и свойства закаленной стали с повышением температуры отпуска?

12. Что такое «улучшение»? Какие стали (и изделия) ему подвергаются?

Промежуточные тесты к теме 2.2

I. Какая обработка стальных изделий называется «улучшением»?

1. Закалка.
2. Закалка + низкий отпуск.
3. Высокий отпуск.
4. Закалка + высокий отпуск.
5. Шлифовка поверхности.

II. Какая фаза должна обязательно присутствовать в стали при температуре ее нагрева под закалку?

1. Мартенсит.
2. Цементит.
3. Феррит.
4. Аустенит.
5. Перлит.

III. Какая структура обеспечивает максимальную твердость доэвтектоидной стали?

1. Перлит + феррит.
2. Троостит.
3. Мартенсит отпуска.
4. Мартенсит.
5. Сорбит отпуска.

IV. Какую структуру должна иметь ответственная деталь из среднеуглеродистой стали, работающая при динамических (ударных) нагрузках?

1. Мартенсит.
2. Феррит + перлит.
3. Мартенсит + цементит вторичный.
4. Мартенсит отпуска.
5. Сорбит отпуска.

V. Полная закалка – это закалка стали из однофазного аустенитного состояния. Какая структура получается при полной закалке доэвтектоидных сталей?

1. Мартенсит + цементит вторичный.
2. Мартенсит.
3. Феррит + перлит.
4. Мартенсит + феррит.
5. Аустенит.

VI. Для заэвтектоидных сталей применяют закалку из двухфазного состояния (неполную). Какую структуру должна иметь сталь У10 после такой закалки?

1. Перлит + цементит вторичный (П + Ц_{II}).
2. Мартенсит (М).
3. Аустенит + Ц_{II}.
4. М + Ц_{II}.
5. М + феррит.

VII. Как изменяются прочность (σ_b) и ударная вязкость (КСУ) с повышением температуры отпуска?

1. σ_b и КСУ увеличиваются.
2. σ_b растет, КСУ падает.
3. σ_b падает, КСУ растет.
4. σ_b не изменяется, КСУ растет.
5. σ_b и КСУ уменьшаются.

VIII. Какое из перечисленных утверждений **неверно**?

Высокая твердость стали с мартенситной структурой обусловлена:

- 1) высокой плотностью мартенсита;
- 2) дисперсностью структуры;
- 3) пересыщением решетки мартенсита углеродом;
- 4) большим количеством дислокаций;
- 5) наличием сильных внутренних напряжений.

ТЕМА 2.3. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

В предыдущих темах 2.1 и 2.2 изучались структура и свойства углеродистых сталей, в составе которых помимо железа и углерода, (теоретически 0,02...2,14 %С – см. диаграмму «Железо–цементит», рис. 2.1.1; практически 0,05...1,5 %С) содержится лишь небольшое количество ($\leq 1,5$ %) металлургических примесей. Их механические свойства определяются содержанием углерода и могут целенаправленно изменяться в широких пределах посредством структурных превращений, вызываемых термической обработкой.

Оптимальный комплекс механических свойств достигается завершающей термической обработкой стальных изделий, состоящей из закалки и отпуска. Высокий уровень механических свойств углеродистых сталей в термически упрочненном состоянии позволяет использовать их для широкого круга изделий различного назначения (деталей и инструмента). Эти стали технологичны (хорошо свариваются и обрабатываются давлением и резанием) и экономичны, поэтому на их долю приходится около 80 % общего объема производства сталей.

Однако *существенным недостатком углеродистых сталей является их невысокая прокаливаемость* (≤ 12 мм) – способность приобретать мартенситную структуру при закалке на определенную глубину изделия (подробнее в разделе 2.3.2). Это ограничивает размеры (сечение) изделий, упрочняемых термической обработкой.

Этот недостаток устраняется легированием стали. Сталь, в которую специально, в определенных концентрациях вводятся примеси – легирующие элементы – **называется легированной**.

Введение даже небольшого количества легирующих элементов влияет на температуры и кинетику (скорость) фазовых превращений и, соответственно, на режимы термической обработки сталей. Значительное легирование специальными элементами может привести к качественному изменению структуры и свойств сталей (появлению особых физико-механических свойств).

2.3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПО СТРУКТУРЕ

Структура и свойства легированных сталей зависят не только от содержания углерода, но также от индивидуальных особенностей и количества легирующих элементов.

2.3.1.1. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОЛИМОРФИЗМ ЖЕЛЕЗА (КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО РАВНОВЕСНОЙ СТРУКТУРЕ)

В углеродистых сталях температуры полиморфных превращений (критические точки G и N в железе, см. рис. 2.1.1; в сталях их принято обозначать A_3 и A_4 соответственно) зависят от содержания углерода в соответствии с диаграммой «Железо–цементит».

Легирующие элементы, растворяясь в α и γ -модификациях Fe, влияют на положение критических точек (A_3 и A_4), что в свою очередь определяет область существования α -фазы (феррита) и γ -фазы (аустенита) – рис. 2.3.1.

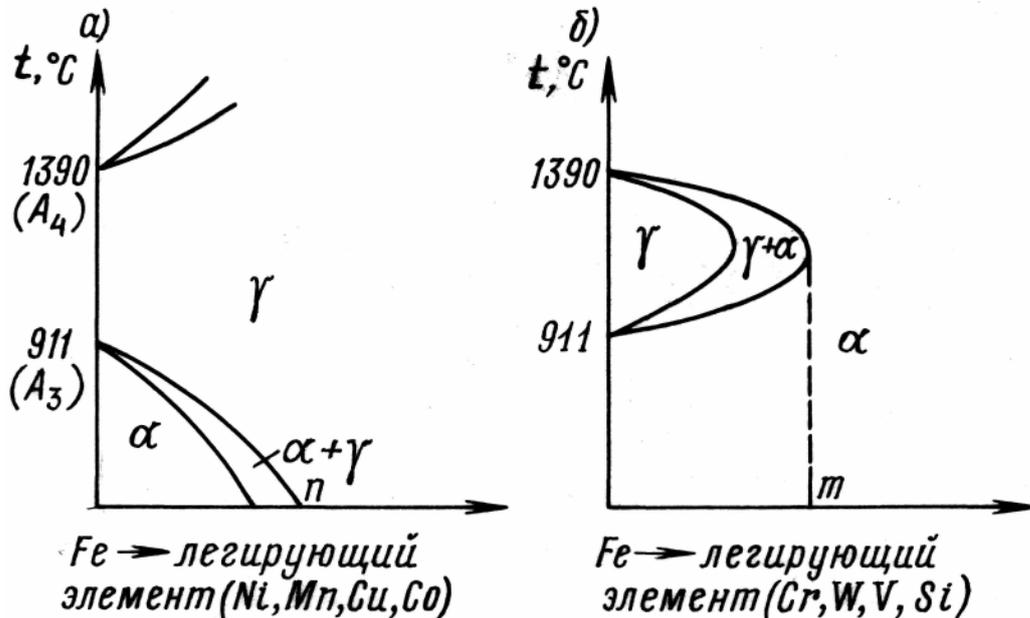


Рис. 2.3.1. Влияние легирующих элементов (л.э.) на полиморфизм железа и структуру легированных сталей

Видно, что элементы I группы повышают A_4 и понижают A_3 , соответственно сужая область α -фазы и расширяя γ -область (рис. 2.3.1,а). Из таких элементов наибольшее практическое значение имеют

Ni и Mn (подобным образом влияет и углерод – см. диаграмму «Железо–цементит», рис. 2.1.1).

Элементы II группы снижают A_4 , повышают A_3 , в результате расширяется область α -фазы (рис. 2.3.1,б). В основном это элементы, имеющие ОЦК решетку подобно α -Fe (Cr, W, V, Mo, Ti и др.).

Видно, что, если содержание легирующих элементов превышает концентрацию x , то стали при любой температуре имеют аустенитную (рис. 2.3.1,а) либо ферритную (рис. 2.3.1,б) структуры. Обычно это стали, которые в результате сильного легирования приобретают особые свойства, например, коррозионностойкие стали аустенитного и ферритного классов.

Очевидно, что такие стали при закалке не претерпевают мартенситного ($\gamma \rightarrow \alpha$) превращения и значит не упрочняются термической обработкой (закалка+отпуск, см. раздел 2.2).

В разделе 2.1 обсуждалась **классификация углеродистых сталей по равновесной структуре: доэвтектоидные (структура феррит+перлит), эвтектоидные (перлит) и заэвтектоидные (перлит+вторичный цементит¹)**.

В легированных сталях помимо этих трех классов возможны также стали с **аустенитной и ферритной** структурами. Как отмечалось, такое принципиальное изменение структуры качественно изменяет свойства высоколегированных сталей.

2.3.1.2. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КИНЕТИКУ РАСПАДА АУСТЕНИТА И ТЕМПЕРАТУРУ МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ (КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО СТРУКТУРЕ НОРМАЛИЗАЦИИ)

Остановимся на двух важных закономерностях, проявляющихся при легировании сталей.

1. Очевидно, что по сравнению с углеродистыми сталями диффузионная подвижность атомов в легированных сталях подавлена и в тем большей степени, чем выше концентрация легирующих элементов.

¹ В легированных сталях это – вторичные карбиды легирующих элементов.

Поэтому все легирующие элементы (кроме Co) замедляют скорость диффузионного распада аустенита ($\text{A} \rightarrow \text{Ф}+\text{П}$, см. раздел 2.2.1), т.е. увеличивают время его минимальной устойчивости (τ_{\min}) и соответственно смещают вправо линии C – диаграммы (см. ниже рис. 2.3.3).

2. Все легирующие элементы (кроме Co и Al), подобно углероду (рис. 2.3.2), снижают (в различной степени) температуры начала (M_{H}) и конца (M_{K}) мартенситного превращения.

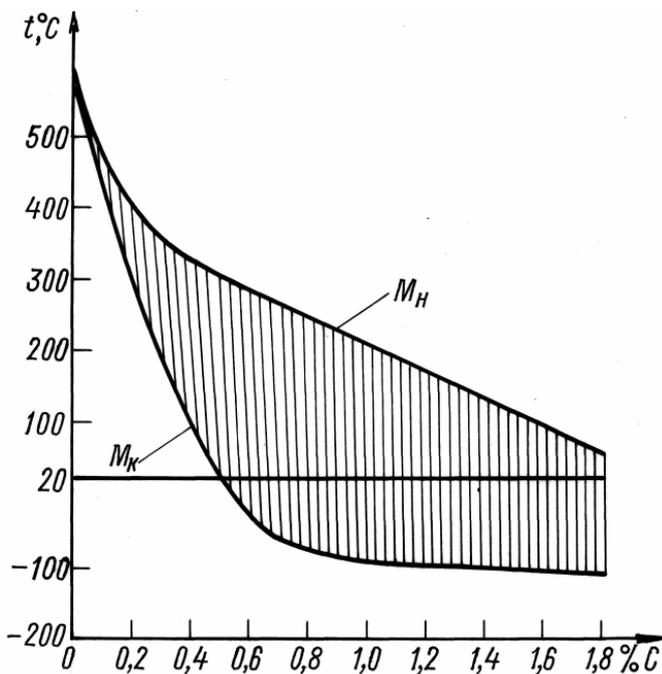


Рис. 2.3.2. Влияние содержания углерода на температуры начала (M_{H}) и конца (M_{K}) мартенситного превращения

Обе эти тенденции (смещение линий C – диаграммы и температур M_{H} и M_{K}) отражены на рис. 2.3.3. На этом же рисунке проведены линии $V_{\text{охл.}}$, наклон которых характеризует скорость охлаждения образцов стали из аустенитного состояния на спокойном воздухе (такая термическая обработка называется **нормализацией**).

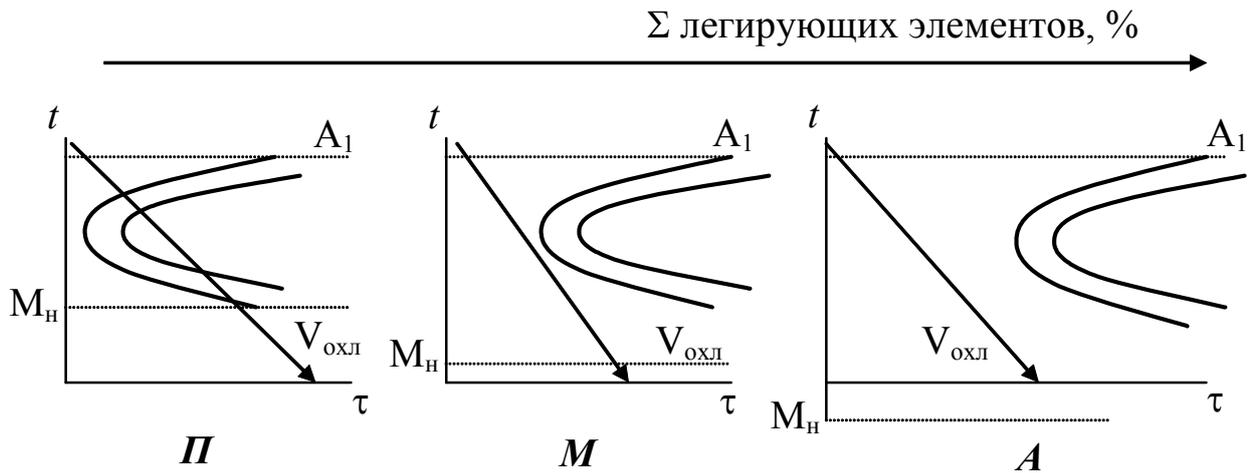


Рис. 2.3.3. Смещение линий С-диаграммы и температуры начала мартенситного превращения (M_H) при увеличении содержания легирующих элементов в стали (классификация сталей по структуре нормализации): *П*, *М*, *А* - перлитный, мартенситный и аустенитный класс соответственно

Этот рисунок поясняет **классификацию сталей по структуре нормализации**.

Видно, что при относительно небольшом количестве легирующих элементов (рис. 2.3.3,а) охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита на ферритокарбидные смеси (перлитному превращению, см. разд. 2.2.1); такие стали относят к **перлитному классу** (их большинство, так как из-за небольшого легирования они наиболее дешевы).

При повышенном содержании легирующих элементов (рис. 2.3.3,б) $V_{охл.} \geq V_{кр.}$, а так как $M_H > 20$ °С, нормализованная сталь при комнатной температуре приобретает мартенситную структуру – это **стали мартенситного класса**.

При большом содержании легирующих элементов (особенно Ni, Mn) M_H сдвигается в область отрицательных температур, поэтому после нормализации сталь сохраняет аустенитную структуру (**аустенитный класс**).

Очевидно различие механических свойств сталей, принадлежащих к этим трем структурным классам.

2.3.2. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА КРИТИЧЕСКУЮ СКОРОСТЬ ЗАКАЛКИ И ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ

В начале темы 2.3 отмечалось, что существенным недостатком углеродистых сталей является их пониженная прокаливаемость. Напомним, **прокаливаемость** – это способность стали приобретать мартенситную структуру на определенную глубину при закалке в данном охладителе.

Величину прокаливаемости обычно оценивают критическим диаметром ($D_{кр}$) – максимальным диаметром образца, приобретающим мартенситную структуру по всему сечению при закалке в данном охладителе.

Поскольку основное требование закалки на мартенсит (см. раздел 2.2.1) $V_{охл} \geq V_{кр}$, то прокаливаемость зависит от соотношения скорости охлаждения $V_{охл}$ и критической скорости закалки $V_{кр}$, величина которой определяется химическим составом стали.

Очевидно, что скорость охлаждения образца (изделия) уменьшается от поверхности к сердцевине (рис. 2.3.4).

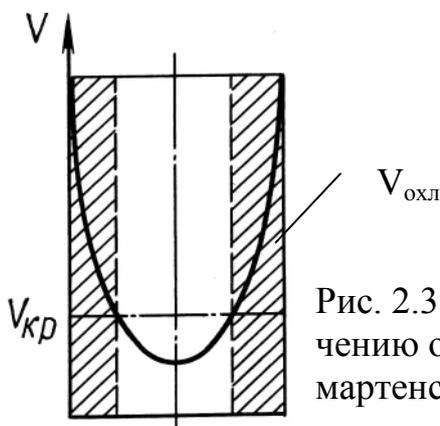


Рис. 2.3.4. Распределение скорости охлаждения ($V_{охл}$) по сечению образца при закалке (заштрихована закаленная зона с мартенситной структурой)

Если в сердцевине образца $V_{охл} < V_{кр}$, это приводит к несквозной закалке. При несквозной прокаливаемости в поверхностном слое образуется мартенсит, в сердцевине (где $V_{охл} < V_{кр}$) пластинчатые структуры перлитного типа (например, сорбит закалки). В результате возникает неоднородность механических свойств по сечению детали, которая сохраняется и после отпуска. Например, после высокого отпуска в поверхностном слое получится сорбит отпуска ("зернистый сорбит"), а структура сердцевины не изменится и будет иметь пони-

женные механические свойства (о чем говорилось в конце темы 2.2.2). Например, ударная вязкость улучшенной (закалка + высокий отпуск) стали 45 с диаметром образца 10 мм (сквозная закалка) составляет $KCU = 1 \text{ МДж/м}^2$, а при $\varnothing = 100 \text{ мм}$ (несквозная прокаливаемость) $KCU = 0,5 \text{ МДж/м}^2$.

Поэтому для ответственных изделий должны применяться стали со сквозной прокаливаемостью.

Из рис. 2.3.4 очевидно, что **основной путь повышения прокаливаемости – это уменьшение $V_{кр}$** . В предыдущем разделе (2.3.1.2) говорилось о том, что легирование приводит к смещению линий С- диаграммы вправо (см. рис. 2.3.3), а это означает уменьшение $V_{кр}$ (напомним, что величина $V_{кр}$ определяется наклоном касательной к кривой начала распада аустенита на феррито-карбидные смеси, см. стр. 84).

Как отмечалось выше, все легирующие элементы (кроме Со) замедляют скорость распада переохлажденного аустенита и соответственно уменьшают $V_{кр}$, причем тем сильнее, чем больше их количество в стали. Поэтому, чем больше диаметр изделия, тем более легированную сталь нужно применять для получения сквозной прокаливаемости.

Помимо повышения прокаливаемости легирование играет и еще одну важную положительную роль, так как, снижая $V_{кр}$, позволяет производить более «мягкую» закалку по сравнению с углеродистыми (нелегированными) сталями. Если для получения мартенсита в углеродистых сталях их необходимо охлаждать очень быстро в воде ($V_{охл} \approx 600 \text{ }^\circ\text{C/с}$), то в легированных тот же результат может быть достигнут при более медленном охлаждении в масле ($V_{охл} \approx 150 \text{ }^\circ\text{C/с}$) или даже (для некоторых высоколегированных, например, быстрорежущих сталей) на воздухе ($V_{охл.} \approx 3...30 \text{ }^\circ\text{C/с}$).

Существенное снижение $V_{охл.}$ при закалке легированных сталей уменьшает опасность возникновения закалочных трещин и коробления изделий.

Справедливости ради остановимся на примере отрицательного влияния легирования, усложняющего технологию термической обработки изделий.

Выше (раздел 2.3.1.2) отмечалось, что подобно углероду все легирующие

элементы (кроме Co и Al) снижают температуру начала (M_H) и конца (M_K) мартенситного превращения.

Если в стали данного химического состава температура M_K опускается ниже комнатной, то при закалке (закалочная среда при $t = 20$ °C) часть аустенита сохраняется, не превращаясь в мартенсит, - это **«остаточный аустенит»**.

Согласно рис. 2.3.2 он появляется в структуре закаленных углеродистых сталей, содержащих $\geq 0,5$ %C и его количество возрастает с увеличением содержания углерода (пропорционально заштрихованному на рис. 2.3.2 интервалу $\Delta t = 20$ °C – M_K).

Поскольку легирующие элементы дополнительно снижают M_H и M_K (особенно эффективно Mn, Cr, Ni) то в закаленных легированных сталях сохраняется много остаточного аустенита.

Остаточный аустенит ухудшает механические и эксплуатационные свойства изделий, поэтому для его устранения применяют **«обработку холодом»** - охлаждение изделий сразу после закалки до температур, возможно близких к M_K . Для этого используют, например, жидкий аммиак (-33 °C), жидкий азот (-196 °C) и другие охлаждающие среды.¹

Обработку холодом используют главным образом для деталей типа шестерен, режущих и измерительных инструментов, изготавливаемых из высоколегированных сталей.

Заметим, что в некоторых случаях остаточный аустенит играет положительную роль, уменьшая деформацию изделий при закалке (например, длинномерного режущего и измерительного инструмента).

2.3.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

В разделе 2.1.3 отмечалось, что *основой классификации углеродистых сталей по назначению (конструкционные и инструментальные) является зависимость их механических свойств от содержания углерода* (рис. 2.1.3). Эта

¹ В ряде случаев для устранения остаточного аустенита используют специальный высокотемпературный отпуск (например, в быстрорежущих сталях).

тенденция сохраняется в общих чертах и для подавляющего большинства, т.е. наиболее дешевых, мало – и среднелегированных сталей (это стали перлитного класса, см. разд. 2.3.1).

Высокоуглеродистые ($\geq 0,7$ %С) легированные стали – **инструментальные**, стали с меньшим содержанием углерода – **конструкционные**.

Наиболее многочисленные группы конструкционных сталей – это **цементуемые** (0,10...0,25 %С) и **улучшаемые** (0,30...0,50 %С).

Цементуемые стали применяются в основном для деталей типа шестерен, которые после цементации (диффузионного насыщения поверхности изделия углеродом), закалки и низкого отпуска приобретают высокую твердость и износостойкость наружного слоя (структуру высокоуглеродистого мартенсита) и сохраняют хорошую вязкость сердцевины, препятствующую хрупкому разрушению зубьев шестерни.

Улучшаемые стали используются для ответственных нагруженных изделий, работающих при динамических нагрузках, которые для получения оптимального сочетания прочности и ударной вязкости подвергают **улучшению** – *закалке и высокому отпуску* (см. разд. 2.2.2).

В марках конструкционных сталей число в начале марки указывает содержание углерода в сотых долях процента (как в качественных углеродистых конструкционных сталях). Далее следуют легирующие элементы, которые обозначаются русскими буквами, обычно – первыми в названии элемента. Например, **Cr** буквой **Х**, **Ni** – **Н**, **Ti** – **Т**, **V** – **Ф**, **Co** – **К**, **Mo** – **М**, **W** – **В**, но есть и исключения: **B** – **Р**, **Al** – **Ю**, **Si** – **С**, **Mn** – **Г**; буква **А** в конце марки означает **сталь высокого качества** (в таких сталях ограничено количество вредных примесей S и $P \leq 0,025$ % каждого из этих элементов).

Цифры после каждой буквы указывают содержание данного элемента в процентах, если цифра отсутствует, то среднее количество этого элемента – 1 %. Например, в стали 18X2H4MA – в среднем 0,18 % С; 2 % Cr, 4 % Ni, 1% Mo, $\leq 0,025$ % S и $\leq 0,025$ % P.

В таблице 2.3.1 для примера приведены химический состав, механические

свойства и критический диаметр $D_{кр}$ (соответствует максимальному рабочему сечению детали) некоторых цементуемых и улучшаемых конструкционных сталей (ГОСТ4543–71). Механические свойства цементуемых сталей даны после закалки и низкого отпуска, улучшаемых – после закалки и высокого отпуска (т.е. в улучшенном состоянии).

Помимо цементуемых и улучшаемых к конструкционным принадлежат также:

1) **строительные** (низколегированные) **стали**, содержащие до 0,2 %С и небольшое количество недорогих легирующих элементов (обычно до 2...3 %Mn и Si), 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 17ГС и др. Они используются в машиностроении, строительстве, магистральных газо – и нефтепроводах и т. п.; обладают хорошей свариваемостью, малой склонностью к хрупким разрушениям, хладостойкостью. Изделия из этих сталей обычно не подвергаются термической обработке.

2) **рессорно-пружинные стали** содержат 0,5...0,7 %С и небольшое количество легирующих элементов (Mn, Si, V); например, 50С2, 60СГ, 60С2ХФА, 70С3А и др. После закалки и среднего отпуска (на структуру троостит отпуска) приобретают высокий предел упругости и предел текучести $\sigma_{0,2}$ до 1200...1700 МПа; применяются в транспортном и станкостроении для рессор, пружин, различных упругих элементов.

3) **подшипниковые стали** содержат 0,95...1,05 %С, 0,4...1,7 %Cr, 1,7 %Mn, 0,85 %Si; например, ШХ6, ШХ15, ШХ15ГС и др. Буква Ш обозначает шарикоподшипниковую сталь, цифры – содержание Cr в десятых долях процента.

После закалки и низкого отпуска эти стали имеют структуру мартенсита с включениями мелких вторичных карбидов, обладают высокой твердостью (62...64 HRC₃) и износостойкостью; применяются для деталей подшипников качения.

Основная цель легирования этих сталей – повышение прокаливаемости (см. разд. 2.3.2). Чем больше легирующих элементов, тем больше критический

Химический состав, механические свойства и критический диаметр
некоторых конструкционных легированных сталей

Марка стали	Содержание элементов, %					Механические свойства					D _{кр} , мм
	С	Mn	Cr	Ni	Другие элементы	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, МДж/м ²	
Ц Е М Е Н Т У Е М Ы Е											
18ХГТ	0,17-0,23	0,8-1,1	1,0-1,3	-	0,03-0,09 Ti	900	1000	9	50	0,8	35
20ХГР	0,18-0,24	0,7-1,0	0,75-1,05	-	-	800	1000	9	50	0,8	40-60
25ХГМ	0,23-0,29	0,9-1,2	0,9-1,2	-	0,2-0,3 Mo	1100	1200	10	45	0,8	60-80
12Х2Н4А	0,09-0,15	0,3-0,6	1,25-1,65	3,25-3,65	-	950	1150	10	50	0,9	100-120
18Х2Н4МА	0,14-0,20	0,25-0,55	1,35-1,65	4,0-4,4	0,3-0,4 Mo	850	1150	12	50	1,0	≥ 120
У Л У Ч Ш А Е М Ы Е											
40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,8-1,1	-	-	800	1000	10	45	0,6	25-35
30ХГС	0,28-0,35	0,8-1,1	0,8-1,1	-	0,9-1,2 Si	850	1100	10	45	0,4	50-75
40ХН2МА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,6-0,9	1,25-1,65	0,15-0,25 Mo	950	1100	12	50	0,8	75-100
38ХН3МФА	0,33-0,4	0,25-0,5	1,2-1,5	3,0-3,5	0,35-0,45 Mo 0,1-0,18 V	1100	1200	12	50	0,8	≥ 100

диаметр закаливаемых деталей, тем более крупный подшипник может быть изготовлен из данной стали.

Помимо рассмотренных выше наиболее распространенных групп сталей к конструкционным относятся также **высокопрочные, износостойкие, коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные стали**, а также **стали** (и железосодержащие сплавы) **с особыми физическими свойствами**. С этими материалами (многие из них встречаются в контрольных работах) можно ознакомиться в рекомендуемой учебной литературе [1...4, 8].

Теперь – несколько слов о *классификации и маркировке инструментальных легированных сталей*. Выше уже отмечалось, что к инструментальным углеродистым и легированным сталям относятся в основном стали с большим содержанием углерода ($\geq 0,7\%C$), поскольку после закалки и низкого отпуска они должны обладать высокой твердостью (60...65 HRC₃) и износостойкостью. Это **стали для режущего и измерительного инструмента** (ГОСТ 5950–2000) большинство из них содержит небольшое количество легирующих элементов (в сталях повышенной прокаливаемости до $\approx 5\%$). *Цифры в начале марки этих сталей показывают содержание углерода в десятых долях процента*, например, в марках 9ХС, 11ХФ, 13Х – 0,9; 1,1 и 1,3 %С соответственно. Если среднее содержание углерода $\approx 1\%$, то цифра в начале марки обычно отсутствует Х, ХВГ, ХВ4.

Наилучшими свойствами в группе сталей для режущего инструмента обладают **быстрорежущие стали** (ГОСТ 19265–73). В результате сильного легирования карбидосодержащими элементами – (W, Mo, Cr, V) они приобретают высокую **теплостойкость – способность сохранять высокую твердость** (до 58 HRC₃) и **износостойкость при длительном нагреве** до $\approx 620\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В марках этих сталей (P18, P6M3, P6M5, P9K5,...) после буквы P (от англ. rapid – быстрый, скорый) число показывает содержание основного легирующего элемента W в процентах.

В результате сильного легирования в закаленных быстрорежущих сталях остается много (до 30 %) остаточного аустенита, поэтому для его устранения

используют обработку холодом или трехкратный отпуск при $t \approx 560$ °С (см. раздел 2.3.2). Твердость быстрорежущих сталей после такой термообработки 63...65 HRC₃. Инструмент из этих сталей используют для обработки на высоких скоростях резания, а также труднообрабатываемых материалов (например, высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов с аустенитной структурой).

Помимо сталей для режущего и измерительного инструмента по назначению различают штамповые стали для **холодного и горячего деформирования металлов.**

Для **холодного деформирования** в первую очередь требуется высокая твердость инструмента, поэтому используются в основном те же стали, что и для режущего инструмента (ГОСТ 5950-2000) с содержанием углерода ≈ 1 % (X, ХВСГ, Х6ВФ, Х12М), имеющие твердость 60...63 HRC₃ после закалки и низкого отпуска. В тех случаях, когда от инструмента требуется повышенная вязкость (ударные нагрузки) используют стали с меньшим (0,5...0,7 %) содержанием углерода (6ХВ2С, 7ХГ2ВМ).

В гораздо более тяжелых условиях работают стали **штампов горячей обработки давлением.** Их структуры, механические и эксплуатационные свойства не должны изменяться (ухудшаться) при нагревании до 400...600 °С. Помимо тепло – и окалиностойкости эти стали должны обладать **разгаростойкостью – устойчивостью к образованию поверхностных ("разгарных") трещин**, стимулируемых многократными циклами нагрев \leftrightarrow охлаждение. Комплекс этих свойств достигается применением сталей с пониженным содержанием углерода (0,3...0,6 %С) – 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС, 5ХНМ, обрабатываемым на структуру троостита или сорбита отпуска (температура отпуска ≈ 500 ...630 °С) и твердость 42...50 HRC₃.

В заключение отметим, что данный раздел 2.3 содержит многочисленные примеры влияния химического состава (легирования) на структуру и свойства сплавов.

Внимание!

Освоив этот раздел¹ (раздел 2.3) и не забыв, конечно, основные положения разделов 2.1 и 2.2, Вы делаете решительную заявку на вступление в «Клуб знатоков металловедения», способных выбирать стали (главные материалы промышленности!) для изделий различного назначения. В этом Вы убедитесь, ответив по традиции на вопросы для самопроверки.

Вопросы для самопроверки к теме 2.3

1. Какие стали называются легированными?
2. Как влияют легирующие элементы на полиморфизм железа? Сравните классификацию углеродистых и легированных сталей по равновесной структуре.
3. На какие классы делятся легированные стали по структуре нормализации? На чем основана эта классификация?
4. Что такое прокаливаемость? Какой характеристикой оценивают ее величину? Каков практический путь повышения прокаливаемости?
5. Какова принципиальная связь между размером (сечением) изделия и выбором марки используемой для него стали?
6. Что такое «остаточный аустенит»? Какова причина его появления?
7. Почему для изделий из легированных сталей часто применяют «обработку холодом», в чем она заключается? Какова ее цель?
8. Перечислите наиболее распространенные группы конструкционных легированных сталей. Каков принцип их маркировки?
9. К какой группе принадлежит сталь 20ХГНР? Приведите ее химический состав и последовательность технологических операций, формирующих окончательную структуру типовых изделий из этой стали.
10. Приведите 2-3 марки улучшаемых сталей, расшифруйте их. Почему их так называют? Для какого типа изделий их обычно применяют? Какова окончательная структура таких изделий?

¹ Желательно также выполнение лабораторных работ 7 и 8.

11. Какую сталь следует выбрать для изготовления нагруженных валов диаметром ≥ 100 мм?

12. Приведите марки и химические составы каких-либо рессорно-пружинных и подшипниковых сталей.

Какую термообработку применяют для соответствующих изделий? Какова окончательная структура этих изделий?

13. Приведите несколько марок и химические составы сталей для режущего и измерительного инструмента. Какая термическая обработка применяется для такого инструмента, какова должна быть его структура?

14. Приведите марку стали для инструмента, используемого при обработке изделий на больших скоростях резания. Каково основное достоинство таких сталей?

15. Приведите по 1-2 марки инструментальных сталей для холодного и горячего деформирования металлов, расшифруйте их. В чем принципиальное отличие химического состава и режимов термической обработки сталей этих двух групп?

Промежуточные тесты к теме 2.3

I. Укажите два химических элемента, ответственных за формирование структуры сталей аустенитного класса:

- 1) Mo;
- 2) Mn;
- 3) Cr;
- 4) Ni;
- 5) W.

II. Какое из перечисленных утверждений **неверно**?

Сквозной прокаливаемости можно добиться:

- 1) уменьшением критической скорости закалки;
- 2) уменьшением диаметра изделия;
- 3) уменьшением скорости охлаждения при закалке;
- 4) увеличением скорости охлаждения;
- 5) легированием стали.

III. В какой из перечисленных марок сталей после закалки будет наибольшее количество остаточного аустенита?

1. У 10.
2. 40Х.
3. Р6М5.
4. ХВГ.
5. 18Х2Н4МА.

IV. Какие операции (укажите их последовательность) необходимы для придания шестерни, изготовленной из стали 18ХГТ, оптимальных механических свойств?

1. Закалка.
2. Отжиг.
3. Высокий отпуск.
4. Низкий отпуск.
5. Цементация.

V. Какую структуру имеют изделия из улучшаемых сталей после стандартной термической обработки?

1. Мартенсит + цементит вторичный.
2. Мартенсит отпуска.
3. Сорбит отпуска.
4. Троостит.
5. Мартенсит + феррит.

VI. Какова структура деталей подшипников качения после грамотно проведенной термической обработки?

1. Мартенсит.
2. Мартенсит отпуска.
3. Перлит + вторичные карбиды.
4. Мартенсит отпуска + вторичные карбиды.
5. Троостит.

VII. Что такое теплостойкость сплава?

1. Способность выдерживать высокие температуры.
2. Способность не изменять размеры изделия при нагревании.
3. Способность сохранять высокую твердость при длительном нагреве.
4. Способность не окисляться при высоких температурах.
5. Жаропрочность.

VIII. Какую марку стали следует использовать для инструмента, обрабатывающего детали на больших скоростях резания?

1. 08.
2. У8.
3. ХВГ.
4. Р6М5.
5. У12.

IX. Какую сталь следует предпочесть для изготовления ответственных зубчатых колес сечением > 100 мм?

1. 40Х.
2. 45.
3. 30ХГСА.
4. 40ХН.
5. 36Х2Н2МФА.

X. Какая основная цель легирования большинства (т.е. наиболее экономичных) сталей?

1. Снижение стоимости.
2. Повышение твердости.
3. Повышение износостойкости.
4. Увеличение прокаливаемости.
5. Повышение ударной вязкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, изучив все темы 2-й части «Опорного конспекта», Вы можете наполнить «структурную схему материаловедения» (см. Введение, рис. В.1) конкретным содержанием (настоятельно рекомендуем сделать это, подобрав как можно больше примеров из освоенного материала конспекта).

На этом работа с «Опорным конспектом» заканчивается. В нем изложены основы строения металлических сплавов и на примере сталей – наиболее распространенных промышленных материалов – показаны эффективные пути оптимизации их свойств путем изменения химического состава и структуры. Таким образом, продемонстрированы «структурные связи материаловедения» (см. Введение), знание которых позволяет производить оптимальный выбор материалов и технологий их обработки для изделий различного назначения. Выработка такого умения является целью подготовки инженеров в области материаловедения.

Вынуждены с сожалением отметить, что проблема выбора материалов в процессе конструирования различных изделий является весьма сложной задачей. Ее решение зависит от грамотного учета множества факторов, определяющих эксплуатационные и технологические свойства материала, а также его стоимость и экономичность технологий изготовления и упрочняющей обработки изделия.

В связи с этим строгого алгоритма решения проблемы выбора материалов не существует. Каждый конструктор решает эту задачу, исходя из своего производственного опыта и знаний; знаний, в первую очередь, основных закономерностей материаловедения.

Наиболее полно круг вопросов, связанных с выбором материалов, освещен в учебной [1...3], а также [15, 17, 25, 27, 28] и специальной [32, 33] литературе.

В данном курсе и соответственно – настоящем УМК задача выбора материалов естественно в более суженном формате поставлена во второй части контрольной работы.

В методических указаниях к выполнению контрольных работ приведены рекомендации по решению этой задачи.

В заключение еще раз отметим, что **темы «Опорного конспекта» являются наиболее важными в курсе материаловедения**, их освоение совершенно необходимо для выполнения лабораторных и контрольных работ и, конечно, - сдачи экзамена.

Основные положения других разделов (см. тематический план и структурную схему дисциплины – стр. 31) также следует изучить, каждый раз обращая особое внимание на **связь трех С: Состав – Структура – Свойства**. В частности, при выполнении контрольных работ понадобятся сведения о сталях и сплавах с особыми свойствами, цветных сплавах и других материалах.

ОТВЕТЫ НА ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТЕСТЫ

Тема	Вопрос теста	Правильный ответ
1.1	I	4
	II	3
	III	4
	IV	3
1.2	I	3
	II	3
	III	1
	IV	4
	V	5
1.3	I	3
	II	3
	III	4
	IV	5
	V	3
2.1	I	3
	II	2, 3, 5
	III	1, 3, 5
	IV	2
	V	3
	VI	2
	VII	2, 3
	VIII	3
	IX	3
	X	1, 2, 3
	XI	5
2.2	I	4
	II	4
	III	4
	IV	5
	V	2
	VI	4
	VII	3
	VIII	1
2.3	I	2, 4
	II	3
	III	3
	IV	5, 1, 4
	V	3
	VI	4
	VII	3
	VIII	4
	IX	5
	X	4

3.3. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ (ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНИК)

Как отмечалось выше, темы «Опорного конспекта» обязательны для тщательного изучения, так как они составляют основу металловедения. Однако для полного освоения курса «Материаловедение», в частности решения некоторых задач контрольной работы, необходимо обращение к специальным разделам учебной литературы.

Достаточно полный список учебной и специальной (полезной при выполнении контрольных, курсовых и дипломных работ) литературы приведен на стр. 36...38. В случае затрудненного доступа к печатным изданиям в качестве «скорой помощи» на <http://www.elib.nwpi.ru> и <http://metall-2006.narod.ru> предлагаются «электронные учебники».

В данном УМК базой для создания такого пособия («электронного учебника») послужили монографии [1] и [8]. Материал, содержащийся в [8], рекомендуется для изучения части 1 тематического плана дисциплины, а для освоения остальных его частей – разделы учебника [1].

3.4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

ВВЕДЕНИЕ

“Материаловедение” - одна из основных общеинженерных дисциплин. Инженер должен уметь правильно выбирать материал и технологию его обработки с целью получения заданной структуры и свойств, обеспечивающих высокую надежность и долговечность изделий различного назначения (деталей машин, приборов, конструкций, инструмента и др.).

Настоящие методические указания включают описание 13 лабораторных работ, посвященных главным образом строению и свойствам металлических сплавов – основных конструкционных материалов машино- и приборостроения. Особое внимание уделено воздействию технологических факторов (термической обработки; обработки давлением) на структуру и свойства металлических материалов.

Обращаем Ваше внимание на то, что лабораторные работы – обязательный вид занятий, они выполняются индивидуально каждым студентом в лаборатории кафедры материаловедения СЗТУ (а.116, ул. Миллионная, д.6). Количество и тематика лабораторных работ выбирается преподавателем в зависимости от специальности и учебного плана группы студентов.

Основные цели методических указаний следующие:

1. Помощь студентам в усвоении и закреплении теоретического материала курса.
2. Практическое освоение методов изучения структуры металлических изделий и заготовок.
3. Выработка умения целенаправленного изменения структуры и свойств материалов путем внешних воздействий - термической обработки, пластической деформации.
4. Развитие навыков обработки и анализа полученных экспериментальных данных с использованием вычислительной техники.

Описание каждой работы включает разделы, позволяющие усвоить цель данной работы, методику ее выполнения и требования по оформлению отчета. Приведенные теоретические сведения достаточны для осознанного самостоятельного решения поставленных задач, поэтому обращение к дополнительной литературе не требуется. В случае возникновения затруднений следует прора-

ботать соответствующий материал по одному из рекомендуемых ниже учебников [1...4].

Работа 1

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ МЕТОДАМИ МАКРОСКОПИЧЕСКОГО И МИКРОСКОПИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

I. Цель работы

Ознакомление с методами макроскопического анализа и основами микроскопического анализа структуры металлических материалов. Приобретение навыков работы с металлографическим микроскопом.

II. Теоретическое обоснование

Изучение связи между строением (структурой) и свойствами материалов является основной задачей материаловедения. Понятие структуры включает в себя тип и относительное количество фаз, присутствующих в материале, форму, размеры и взаимное расположение кристаллов этих фаз, а также различные металлургические дефекты изделий (заготовок, образцов).

Некоторые из указанных характеристик структуры материалов можно изучать невооруженным глазом, другие - лишь с помощью микроскопа, соответственно, различают методы макроскопического и микроскопического анализа (макро- и микроанализа).

Основы макроанализа

Макроанализ - это анализ макроструктуры материалов, изучаемой невооруженным глазом или с помощью лупы (увеличение до 30 раз). Понятно, что такой метод исследования дает ограниченную информацию о структуре материала, однако, в силу его доступности и возможности одновременного изучения большой площади изделия, он широко применяется в заводской практике для контроля качества литых, кованных, сварных и термически обработанных заготовок и изделий.

Различают три способа изучения макроструктуры:

- 1 - осмотр контролируемой поверхности готового изделия (заготовки), это - неразрушающий метод контроля;

- 2 - изучение изломов контрольных образцов или разрушенных деталей;
- 3 - анализ структуры специально приготовленных образцов - макрошлифов.

С помощью первого вида макроанализа выявляются дефекты, расположенные на поверхности изделий: это трещины различной природы (литейные, деформационные, закалочные и др.), несплошности (усадочные пустоты, газовые раковины в литом металле), неметаллические включения (шлаковые, фрагменты литейной формы). Часто даже такой простой способ контроля позволяет сделать заключение о возможности дальнейшего использования изделия.

Более детальные сведения о материале дает изучение изломов - поверхностей разрушения образцов или изделий.

Различают два основных вида изломов: вязкий (волокнистый) и хрупкий (кристаллический).

Вязкий излом характеризуется матово-серым оттенком, обычно имеет неровную форму (выступы, впадины). Все эти признаки - следствие значительной пластической деформации, предшествовавшей разрушению металла.

В хрупком металле при разрушении отсутствует заметная пластическая деформация, оно происходит по границам зерен или плоскостям легкого скола внутри зерен. При этом поверхности разрушения остаются практически неповрежденными и хорошо отражают падающий свет. Поэтому **хрупкий излом** имеет зернистый рельеф, состоящий из множества блестящих граней (фасеток). Форма излома относительно ровная, без следов макроскопической деформации.

На практике часто наблюдаются смешанные изломы различного вида.

Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как возникает внезапно (без предварительной пластической деформации, сигнализирующей о начале нежелательного процесса) и распространяется с большой скоростью. Поэтому причины появления хрупкого излома должны быть тщательно проанализированы. При этом надо иметь в виду, что помимо низкой пластичности материала, выбранного для данного применения, хрупкому разрушению способствуют также низкие температуры эксплуатации, динамические (ударные) нагрузки и конст-

руктивные погрешности - наличие в нагруженных местах изделия выточек, галтелей, отверстий, играющих роль концентраторов напряжений.

Возможной причиной хрупкого разрушения может быть также нарушение режима термической обработки или его неправильный выбор. Так, при повышенной температуре нагрева стали под закалку (“перегреве”) значительно укрупняется зерно, падает ударная вязкость. В этом случае хрупкий крупнозернистый излом имеет характерное “нафталинистое” или “камневидное” строение.

Вид излома позволяет определить прокаливаемость стали - способность ее закаливаться на определенную глубину. В закаленном (поверхностном) слое излом имеет очень мелкое зерно, он матовый, в незакаленной сердцевине строение излома более грубое - крупнозернистое или вязкое. По этой же причине изучение излома может быть использовано для контроля режима технологического процесса поверхностной закалки или химико-термической обработки - определения глубины упрочненного слоя. Закаленный и цементованный слои - мелкозернистые, заметно отличаются по виду от сердцевины.

Наиболее трудоемким, но и самым информативным методом макроанализа является изучение структуры и дефектов изделий с помощью **макрошлифов**. Заготовки для таких шлифов вырезают из изделия в определенном направлении, тщательно шлифуют и подвергают травлению. Реактив (травитель) наиболее активно реагирует с границами зерен, трещинами, порами, неметаллическими включениями. В результате на поверхности макрошлифа создается рельеф, выявляющий строение и дефекты металла.

Анализ макрошлифов дает информацию о строении литого и деформированного металла и, соответственно, позволяет установить технологию изготовления изделий.

В зависимости от условий охлаждения жидкого металла в различных частях изложницы кристаллы приобретают определенные размеры и форму. Обычно различают корковую зону (1), зоны столбчатых (2) и равноосных (3) кристаллов (рис. 1.1).

Вблизи стенок изложницы наибольшая скорость охлаждения распла-

ва, соответственно, максимальная степень его переохлаждения и - наиболее мелкое зерно. После образования корковой зоны кристаллы преимущественно растут в направлении наилучшего теплоотвода, т.е. перпендикулярно стенкам формы - так возникает зона столбчатых кристаллов. В последнюю очередь затвердевает центр слитка, когда степень переохлаждения расплава в нем достигает необходимого уровня. Здесь рост кристаллов происходит без преимущественного направления - образуется зона равноосных кристаллов.

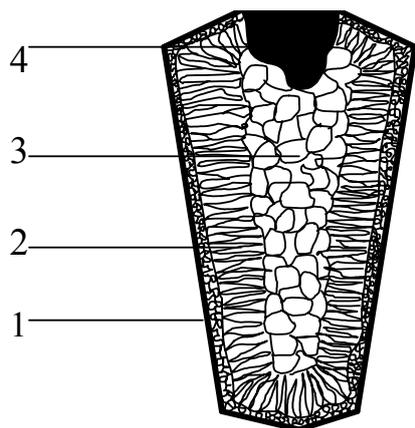


Рис.1.1. Макроструктура слитка (схема):
1 - корковая зона;
2 - зона столбчатых кристаллов;
3 - зона равноосных кристаллов;
4 - усадочная раковина

Макроанализ шлифов позволяет установить также дефекты литого металла - усадочную раковину (4, рис. 1.1), пористость, межкристаллитные трещины и различные виды ликвации - неоднородности металла по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям. Большинство дефектов литого металла сохраняется (видоизменяясь) в деформированном (кованом, катаном) металле.

Наличие этих дефектов существенно влияет на механические свойства изделий, поэтому для оценки характерных видов дефектов стального проката существуют стандартные шкалы (ГОСТ 10243-75).

При горячей обработке металлов давлением (ковке, прокатке, штамповке) кристаллы деформируются, вытягиваются вдоль направления деформации. В этом же направлении располагаются и неметаллические включения. Все это создает в деформированном металле слоистую, волокнистую структуру, отчетливо выявляемую на макрошлифах.

Свойства такого металла становятся анизотропными. Прочность, пластичность и ударная вязкость выше в образцах, вырезанных вдоль волокон.

Это необходимо учитывать при изготовлении ответственных деталей - для получения наилучших эксплуатационных свойств волокна не должны перерезаться контурами детали. Поэтому предпочтительными являются способы обработки металлов давлением (по сравнению с резанием).

Основы микроанализа

Микроанализ - исследование структуры материалов с помощью микроскопов. Большие увеличения позволяют определять в этом случае размеры, форму, взаимное расположение и количество кристаллов различных фаз, т.е. микроструктуру материала.

Наибольшее распространение имеют оптические микроскопы. Их полезное максимальное увеличение достигает примерно 1500 раз, а разрешающая способность (наименьшее расстояние между двумя точками, при котором они видны раздельно) 0,2 мкм (200 нм).

Поскольку металлы в видимом свете непрозрачны, для исследования их структуры в металлографическом оптическом микроскопе используется метод отражения падающего светового потока от специально подготовленной поверхности образца.

Образцы для таких исследований (микрошлифы) после тщательной полировки подвергаются травлению - воздействию специальными химическими реактивами. Травитель с разной интенсивностью реагирует с "телом" зерен и их границами, с различными фазами, структурными составляющими. В результате на полированной поверхности образца возникает микрорельеф, приводящий к избирательному отражению падающего светового потока и, соответственно, к формированию изображения микроструктуры изучаемого объекта (см.рис. 1.2).

Принцип работы на оптических микроскопах различных конструкций одинаков, поскольку для получения четкого изображения структуры необходимо совместить поверхность микрошлифа с фокальной плоскостью объектива. Расстояние между ними регулируется последовательно сначала макровинтом грубой настройки, а затем, когда изображение в окуляре обнаружено, окончательная фокусировка - микрометрическим винтом.

В последующих работах оптический микроскоп будет широко применяться для анализа структуры сплавов в различных состояниях. В этой работе в качестве примера рассмотрим **метод определения размера зерна в металле**.

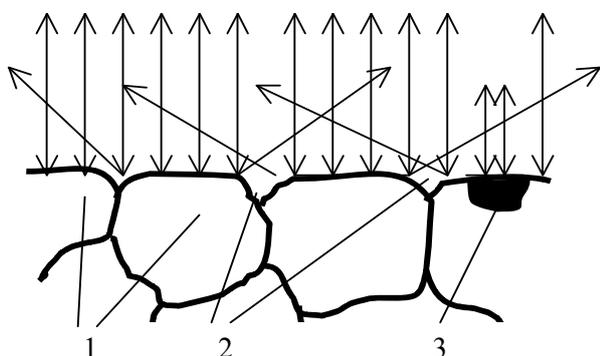


Рис.1.2. Схема отражения световых лучей от протравленной поверхности микрошлифа:

- 1 - зерна;
- 2 - границы зерен;
- 3 - неметаллическое включение.

Размер зерна является важным параметром структуры, так как от него в значительной мере зависят механические свойства металла. Так, при прочих равных условиях мелкозернистый металл обладает большей прочностью, твердостью и ударной вязкостью, чем крупнозернистый.

Существуют различные способы определения величины зерна - для сталей они регламентированы ГОСТ 5639-82.

Наиболее простой – **экспресс-метод визуального сравнения изображения с эталонными шкалами**. На эталонных шкалах приведена микроструктура с различной величиной зерна, оцениваемой номером от -3 до +14. Основной диапазон микроструктур - с номером зерна от 1 до 10 (большой номер соответствует меньшему зерну) при увеличении $\times 100$.

Специально подготовленные для выявления зерна образцы изучают при 100-кратном увеличении и сравнивают с эталонными шкалами. Отыскав аналог, определяют номер зерна. Если последний выходит за пределы 1...10 номеров,

Таблица 1.1

Пересчет номера зерна на стандартное увеличение ($\times 100$)

Увели- чение	Номер зерна при увеличении $\times 100$																		
	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
50			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
200							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
400									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
800												1	2	3	4	5	6	7	8

используют другие увеличения и данные табл. 1.1. Зная номер зерна (N), можно оценить количество зерен (n) на площади в 1 мм^2 по формуле $n = 2^{N+3}$, а также - среднюю площадь $S=1/n$ и средний диаметр $d = 1/\sqrt{n}$ зерна.

III. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными методами макроанализа.
2. Осмотреть образцы с дефектами, наблюдаемыми на поверхности изделий и заготовок. Установить возможную причину появления дефектов.
3. Изучить коллекцию изломов. Обратит внимание на характерные признаки вязкого и хрупкого изломов, описать их.
4. Изучить изломы образцов, прошедших предварительно поверхностную закалку либо цементацию. Сопоставить вид закаленной (либо цементованной) и незакаленной частей излома. Оценить приближенно глубину упрочненного слоя.
5. Изучить макрошлифы стальных слитков. Зарисовать и описать характерные особенности различных зон слитка.
6. Изучить макрошлифы деталей, прошедших цементацию. Зарисовать, оценить приближенно глубину цементованного слоя.
7. Изучить макрошлифы деталей, изготовленных методами обработки металлов давлением. Зарисовать один из них с указанием расположения волокон металла.
8. Ознакомиться с принципом работы оптического микроскопа и методикой изготовления микрошлифов.
9. С помощью эталонных шкал определить номер зерна на одном из микрошлифов.

IV. Содержание отчета

1. Основные методы изучения макроструктуры материалов.
2. Характерные признаки вязкого и хрупкого изломов. Описание излома стального образца с упрочненным поверхностным слоем (поверхностная закалка, цементация). Оценка глубины упрочненного слоя.
3. Рисунок макроструктуры стального слитка с описанием различных зон.

4. Рисунок макроструктуры детали, прошедшей цементацию. Оценка глубины цементованного слоя.

5. Рисунки макроструктуры детали, изготовленной методами обработки металлов давлением (ковка, штамповка) и резанием. Краткое изложение причины различия эксплуатационных свойств деталей, изготовленных по этим двум технологиям.

6. Краткое описание методики приготовления микрошлифов. Схема отражения светового потока от протравленной поверхности микрошлифа.

7. Зарисовка микроструктуры технического железа и результаты определения параметров зерна по методу сравнения с эталонными шкалами.

Л и т е р а т у р а: [1], с.7...11, 33...35, 77...79, 162...165, или [3], с.69...73 или [4], с.32, 33, 47...49.

Работа 2

ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРА ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

I. Цель работы

Ознакомление с основами построения и анализа диаграмм состояния. Использование диаграмм состояния для изучения процесса формирования структур сплавов и определения их химического состава по структуре.

II. Теоретическое обоснование

В работе 1 отмечалось, что свойства сплавов определяются их структурой. Сведения о структуре (микроструктуре) сплавов могут быть получены при анализе диаграмм состояния, которые являются графической формой описания фазовых равновесий (состояний) в сплавах различного химического состава при различных температурах.

То есть диаграммы состояния помогают установить связь между химическим составом, структурой и свойствами сплавов, что является основной задачей материаловедения. Поэтому умение анализировать диаграммы состояния и применять полученную информацию для оптимального выбора состава сплавов

для конкретных назначений, а также способов и режимов их обработки является важнейшим условием освоения науки о материалах.

В последующих работах будут рассмотрены многочисленные примеры практического использования диаграмм состояния. В настоящей работе обсуждаются лишь основные приемы построения и анализа диаграмм состояния.

Диаграммы состояния строятся в координатах температура-химический состав. Для построения необходимо знать температуры фазовых превращений (“критические” точки) компонентов и сплавов промежуточного состава. Для определения критических точек обычно используют данные термического анализа - экспериментального построения кривых охлаждения (нагрева). Критические точки - это точки перегиба на этих кривых - результат выделения (или поглощения) скрытой теплоты фазового превращения.

Конкретный вид кривых охлаждения зависит от числа фаз, участвующих в превращении, и определяется “**правилом фаз**”:

$$C = K - \Phi + 1,$$

где K - число компонентов, Φ - число фаз, находящихся в равновесии, C - число независимых переменных (число степеней свободы). Если, например, затвердевает химический элемент, то $C=1-2+1=0$, это значит, что “степени свободы” отсутствуют, т.е. переменные - температура и химический состав - неизменны. Поэтому на кривой охлаждения $t=f(\tau)$ должен быть горизонтальный участок, соответствующий постоянной температуре кристаллизации. Если затвердевает сплав - твердый раствор, то $C=2-2+1=1$ и, следовательно, кристаллизация протекает в интервале температур - на кривой $t=f(\tau)$ имеются две точки перегиба.

На рис. 2.1 показан пример построения диаграммы состояния по результатам термического анализа. Это случай неограниченной растворимости компонентов (А и В) в твердом состоянии. Соответственно любой сплав ниже линии солидус имеет однофазную структуру α -твердого раствора. Понятно, что химический состав твердого раствора в однофазной области совпадает с составом самого сплава.

Химический состав фаз в двухфазной области (в данном случае между линиями ликвидус и солидус), например, в сплаве состава X при температуре t_x **определяется с помощью коноды** - изотермы, проходящей через точку пересечения координат температура - состав сплава до границ данной двухфазной области (рис. 2.1).

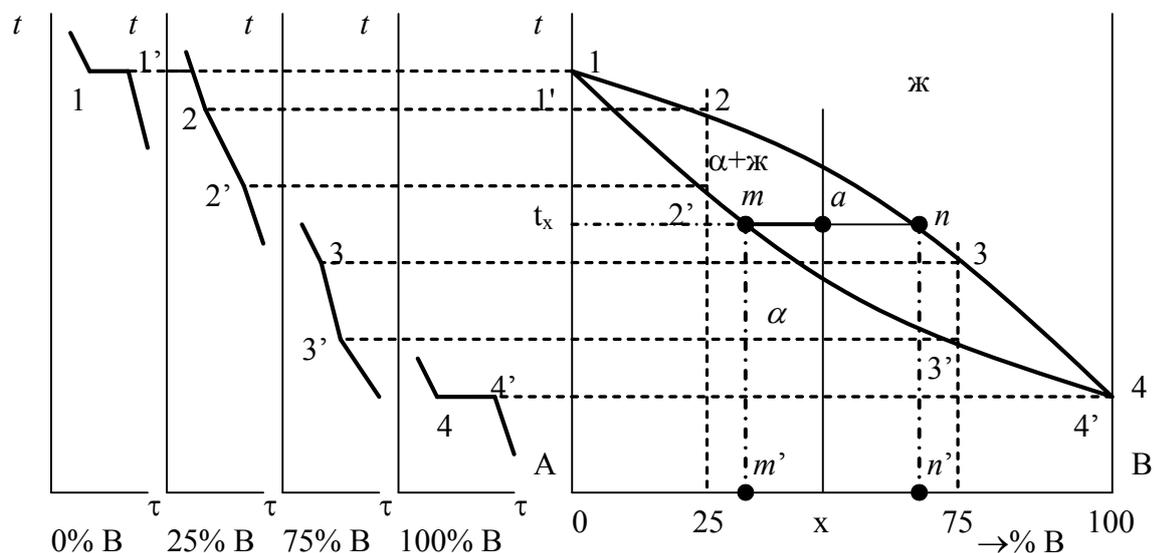


Рис. 2.1. Термический метод построения диаграмм состояния (случай неограниченной растворимости компонентов в жидком и твердом состояниях)

Конода используется и для оценки относительных количеств фаз в двухфазной области. Так, на рис. 2.1 химический состав α -фазы определяется точкой m' , а жидкой фазы - точкой n' ; относительные количества этих фаз:

$$Q_{\alpha} = \frac{an}{mn} 100 \%, \quad Q_{\text{ж}} = \frac{ma}{mn} 100 \%.$$

На рис. 2.2 показана диаграмма состояния для другого предельного случая, когда компоненты A и B абсолютно не растворяются друг в друге в твердом состоянии. Понятно, что тогда сплавы ниже линии солидус будут являться смесями кристаллов этих двух компонентов. Однако в зависимости от химического состава сплавы в такой системе могут иметь структуры трех типов.

Сплав, отвечающий составу точки d , называется эвтектическим, его структура - **эвтектика** - мелкодисперсная смесь кристаллов A и B , образующаяся при охлаждении в результате эвтектического превращения $Ж_d \rightarrow A+B$. В **доэвтектических сплавах** (состав в интервале между точками f и d) помимо эвтектики

в структуре содержатся избыточные кристаллы A , образовавшиеся в процессе кристаллизации между линиями ликвидус и солидус (cd и fd). Соответственно **заэвтектические сплавы** (интервал dg) имеют структуру $B + \text{эвт}(A + B)$.

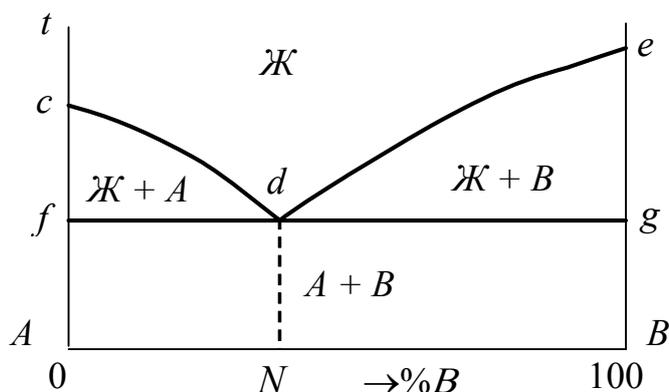


Рис. 2.2. Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых не растворимы в твердом состоянии

Зная из диаграммы химический состав эвтектики (количество компонента B на рис. 2.2 - $N\%$, соответственно содержание компонента $A = 100\% - N\%$), и, изучив структуру сплава, можно по этим данным определить химический состав любого сплава.

Пусть, например, в заэвтектическом сплаве количество эвтектики в структуре составляет $Q_{\text{э}}\%$ (определяется с помощью микроскопа по относительной площади, занимаемой эвтектикой (помимо избыточных кристаллов B) в поле зрения окуляра). Тогда, используя пропорцию:

в 100% эвтектики содержится $(100 - N)\% A$;

в $Q_{\text{э}}\%$ эвтектики - $x\% A$,

определим содержание компонента A (а значит и B) в изучаемом сплаве.

III. Порядок выполнения работы

1. Снять экспериментальные кривые охлаждения сплавов системы Pb-Sb различного состава.

2. По результатам анализа кривых охлаждения определить критические точки изучаемых сплавов. Занести эти точки, а также температуры превращений сплавов других составов данной системы (получить у преподавателя) в таблицу.

3. По данным таблицы построить диаграмму состояния Pb-Sb. Указать фазы в различных областях диаграммы. Установить типовые структуры сплавов

данной системы.

4. Получив комплект микрошлифов, изучить микроструктуры сплавов системы Pb-Sb, зарисовать их, обозначить структурные составляющие.

5. Для одного из микрошлифов (до- или заэвтектического сплава) определить химический состав сплава по его структуре.

IV. Содержание отчета

1. Краткое изложение сути термического метода построения диаграмм состояния. Принципиальная схема определения критических точек.

2. Таблица результатов определения критических точек сплавов системы Pb-Sb (экспериментальные и справочные данные).

3. Построение диаграммы состояния Pb-Sb по результатам термического анализа.

4. Рисунки микроструктур сплавов системы Pb-Sb различного состава с указанием структурных составляющих.

5. Определение химического состава до- или заэвтектического сплава системы Pb-Sb по его структуре.

Л и т е р а т у р а: [1], с.48...61, или [2], с.87...95, или [3], с.168...178 или [4], с.100...113.

Работа 3

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

1. Цель работы

1. Изучение влияния холодной пластической деформации на структуру и свойства металла.

2. Изучение влияния температуры нагрева на структуру и свойства холоднодеформированного металла.

II. Теоретическое обоснование

При нагружении тела (например, приложении растягивающего усилия P к образцу сечением S) в нем возникают **напряжения** ($\sigma = P/S$). Напряжения вызывают **деформацию** - изменение размеров и, часто, формы тела. Если напряжения невелики, то деформация будет упругой, исчезающей при снятии нагрузки. Если уровень возникающих напряжений σ превысит некоторую критическую величину, то возникает необратимая **остаточная или пластическая деформация**. В технике такой величиной считают **предел текучести $\sigma_{0,2}$** - напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,2 %.

В кристаллических телах пластическая деформация осуществляется последовательным перемещением дислокаций вдоль определенных плоскостей скольжения. Это вызывает сдвиг одних частей кристалла относительно других. В результате меняется форма зерен. При значительных деформациях зерна (а также неметаллические включения) вытягиваются в направлении преимущественной деформации - возникает **волокнистая структура металла**¹.

Процессы сдвига, происходящие при деформировании металла, резко увеличивают количество **дислокаций**, а также точечных (вакансий, межузельных атомов) дефектов решетки. Значительное увеличение числа дефектов решетки (в первую очередь дислокаций) затрудняет дальнейшее скольжение дислокаций, повышает сопротивление металла пластической деформации, соответственно увеличивает его прочность и твердость, снижает пластичность.

Упрочнение металла в результате пластической деформации называется **наклепом или нагартовкой**.

Наклепанный металл обладает повышенным запасом внутренней энергии, поэтому находится в неравновесном (неустойчивом) состоянии. При нагреве такого металла до температур, при которых атомы приобретают достаточную подвижность, в его структуре протекают диффузионные процессы, приводящие к постепенному возвращению структуры и свойств к равновесному состоянию с

¹ Возможна также определенная ориентация деформированных зерен - текстура. Все это приводит к анизотропии свойств поликристаллического материала.

минимальной энергией. Различают две основные стадии этих процессов - возврат и рекристаллизацию.

Возврат начинается при относительно небольших температурах и заключается в снятии искажений решетки, уменьшении остаточных напряжений и плотности дефектов решетки. В результате несколько снижаются прочность и твердость (на 10...30 %) и повышается пластичность.

Рекристаллизация заключается в образовании новых равноосных зерен и их дальнейшем росте. При достаточно высокой температуре нагрева завершается формирование структуры и свойств, присущих недеформированному металлу, т.е. происходит его полное разупрочнение. Температура, при которой начинается процесс образования и роста новых недеформированных зерен, приводящий к резкому изменению свойств, называется **температурой** (или порогом) **рекристаллизации** (t_p) - рис. 3.1.

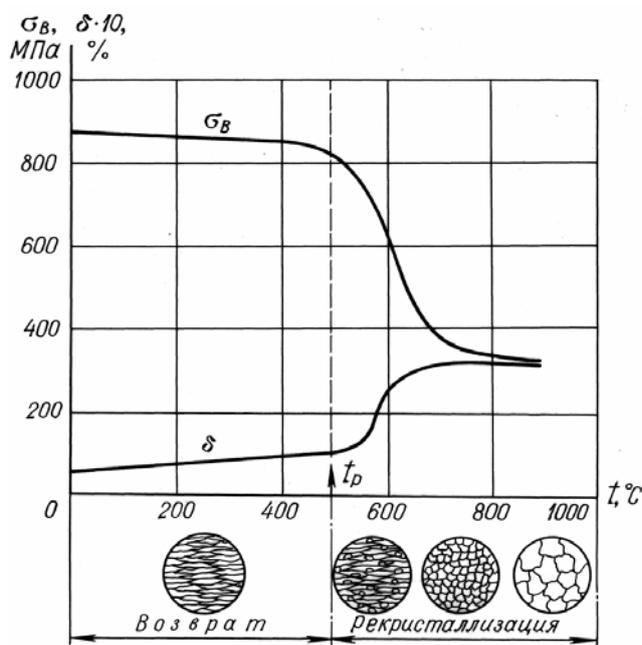


Рис. 3.1. Изменение структуры и механических свойств наклепанного металла (техническое железо) при нагреве

Установлено, что величина t_p зависит от температуры плавления металла ($t_{пл}$)¹ и степени чистоты металла (через коэффициент a):

$$t_p = a \cdot t_{пл} . \quad (3.1)$$

В чистых металлах $a=0,1...0,2$, в металлах обычной технической чистоты $0,3...0,4$, в сплавах (твердых растворах) $0,5...0,6$.

¹ Температура плавления ($t_{пл}$) и соответственно t_p в формуле (3.1) выражается в абсолютной шкале, т.е. в К.

Из рис. 3.1 следует, что для полной ликвидации наклепа деформированный металл необходимо подвергать **рекристаллизационному отжигу** – нагреву до температур выше t_p .

Очевидно что свойства деформированного металла будут зависеть от соотношения t_p и температуры обработки давлением ($t_{об}$). Если $t_{об} < t_p$, то такая обработка (пластическая деформация) вызывает наклеп и называется **холодной**. При $t_{об} > t_p$ изменения механических свойств практически не происходит, так как возникающий наклеп снимается вследствие протекающего одновременно процесса рекристаллизации - такая обработка давлением называется **горячей**. Для того, чтобы гарантировать полное разупрочнение и максимальную пластичность металла при горячей обработке, ее проводят при температурах, значительно превышающих t_p (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Температуры плавления ($t_{пл}$), рекристаллизации (t_p), рекристаллизационного отжига (t_o) и горячей обработки давлением ($t_{об}$) некоторых технических металлов

Металл	Температура, °С			
	$t_{пл}$	t_p ($a=0,4$)	t_o	$t_{об}$
Fe	1539	450	600...700	900...1200
Cu	1083	270	500...600	800...900
Al	660	100	250...350	350...460

III. Порядок выполнения работы

1. Произвести пластическое деформирование образца отожженной низкоуглеродистой стали с различными степенями деформации

$$q = \frac{h_0 - h}{h_0} 100 \%,$$

где h_0 и h - высота образца в исходном и деформированном состояниях соответственно. Измерить твердость образца в исходном состоянии и при различных значениях q , данные занести в таблицу. Построить зависимость твердости (HRB) от степени пластической деформации.

2. Изучить микроструктуру холоднодеформированного образца, зарисовать ее.

3. Образец с максимальной степенью пластической деформации отжечь при различных температурах. Температуры отжига выбрать, исходя из рис. 3.1 и табл. 3.1. После каждого отжига измерить твердость, данные занести в таблицу. Построить зависимость твердости от температуры отжига (t).

4. Используя полученную зависимость $HRB=f(t)$, определить температуру рекристаллизации стали t_p . Оценить t_p стали по формуле (3.1), сравнить результат этой оценки с полученной экспериментальной величиной t_p .

5. Изучить микроструктуру рекристаллизованного образца, зарисовать ее.

6. Обработать полученные экспериментальные данные на РС с помощью Microsoft Excel.

IV. Содержание отчета

1. Определение холодной и горячей пластической деформации. Краткое описание изменений структуры и свойств, происходящих в металле при холодной пластической деформации.

2. Результаты измерений твердости образца низкоуглеродистой стали при различных степенях пластической деформации (таблица и график).

3. Микроструктура холоднодеформированного образца.

4. Краткое описание изменений структуры и свойств, происходящих в деформированном металле в процессе рекристаллизации. Определение температуры (порога) рекристаллизации (t_p).

5. Результаты измерений твердости деформированного образца при различных температурах отжига (таблица и график).

6. Результаты оценок величины t_p :

1) по формуле (3.1);

2) по полученным экспериментальным данным.

7. Микроструктура рекристаллизованного образца.

Л и т е р а т у р а: [1], с. 69...75, 81...86, или [2], с. 122...125, 131...138,

или [4], с. 55, 56, 58...62, 76...83.

Работа 4

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И БЕЛЫХ ЧУГУНОВ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

I. Цель работы

Изучение микроструктуры железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии и влияния содержания углерода на их свойства.

II. Теоретическое обоснование

Сплавы железа с углеродом (стали и чугуны) являются основными материалами машиностроения.

Понятно, что их структура в равновесном состоянии должна изучаться с помощью диаграммы состояния железо-углерод. В зависимости от условий кристаллизации углерод в этих сплавах может находиться преимущественно в свободном состоянии (в виде графита), либо в виде химического соединения Fe_3C – карбида железа, называемого цементитом. Соответственно **различают диаграммы состояния железо-графит и железо-цементит**. По первой диаграмме кристаллизуются серые чугуны (работа 5). По второй диаграмме происходит формирование структуры железоуглеродистых сплавов (сталей и белых чугунов) в обычных условиях довольно быстрого охлаждения расплава.

Диаграмма состояния железо-цементит приведена на рис. 4.1 (для наглядности рисунка масштаб несколько искажен).

Фазы в системе железо-цементит

Компонентами данной системы являются железо и цементит. Характерным свойством железа является его **полиморфизм** - существование в двух модификациях α и γ в различных температурных интервалах. В интервале температур от 0 до 911°C (от 0 до точки G диаграммы), а также 1392...1539 °C (N - A) существует модификация Fe_α (или α -Fe) с ОЦК решеткой¹. В интервале температур 911...1392 °C (G - N) железо имеет ГЦК решетку - это Fe_γ (или γ -Fe). Со-

¹ Железо, существующее при $t > 1392$ °C, часто обозначают как Fe_δ (δ -Fe), хотя это та же модификация α (т.е. Fe_α).

ответственно при сплавлении железа с углеродом образуются твердые растворы внедрения углерода (С) в железе: **феррит** - раствор С в Fe_{α} и **аустенит** - раствор С в Fe_{γ} , а также упомянутый выше **цементит** - карбид железа Fe_3C .

Таким образом в системе железо-цементит имеются жидкая (*Ж*) и твердые (кристаллические) **фазы** - аустенит (*A*), феррит (Φ)¹ и цементит (*Ц*).

Видно (рис. 4.1), что **окончательная структура сплавов** (при нормальных температурах) формируется их двух фаз - феррита и цементита.

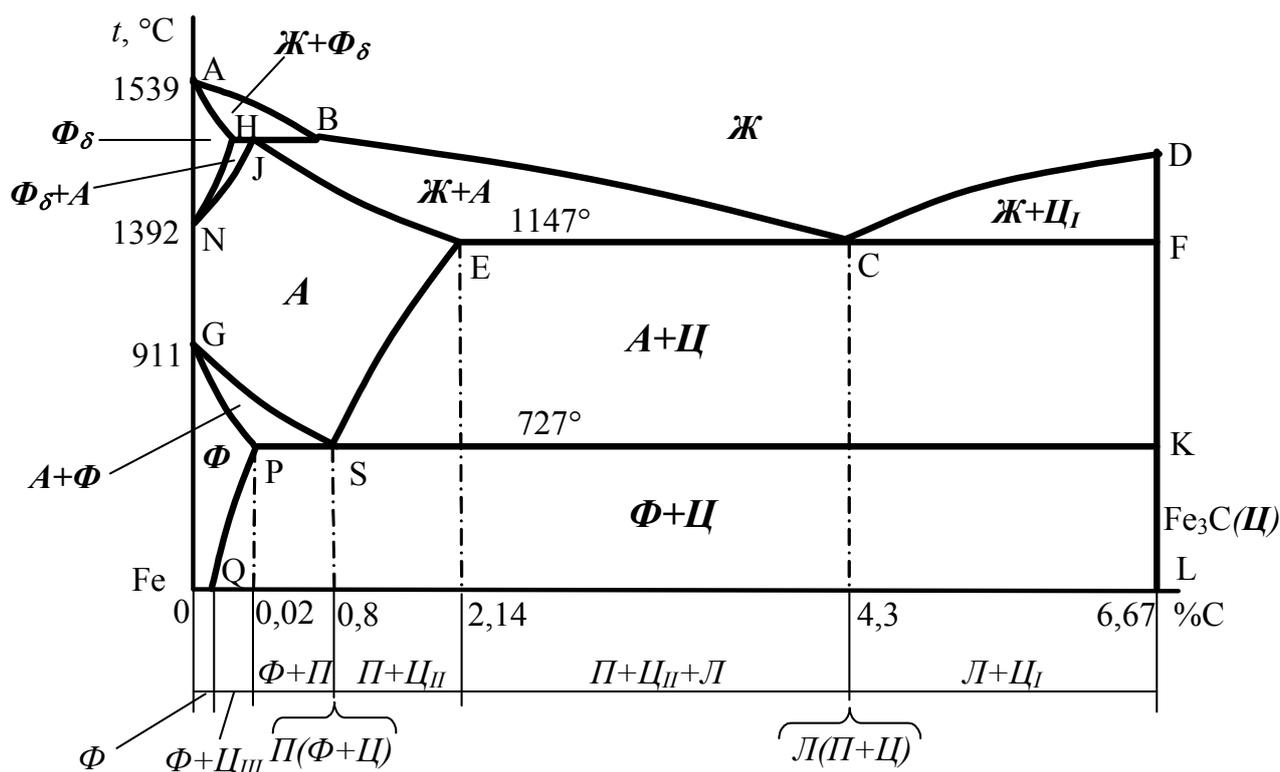


Рис. 4.1. Диаграмма состояния железо-цементит (внизу – обозначения структур сплавов с различным содержанием углерода при нормальных температурах)

Феррит - твердый раствор на основе Fe_{α} , содержащий $<0,02\%C$, очень мягкая (твердость $HB \leq 800^2$) и пластичная (относительное удлинение $\delta \geq 40\%$) фаза.

Цементит – химическое соединение Fe_3C ($6,67\%C$) - в отличие от феррита очень тверд ($HB \approx 8000$) и хрупок ($\delta \approx 0\%$). Такие характеристики фер-

¹ Высокотемпературный ($t > 1392\text{ °C}$) феррит на рис. 4.1 обозначен как Φ_{δ} (см. примечание¹ на стр. 134).

² Здесь и ниже твердость по Бринеллю (НВ) дается в МПа.

рита и цементита обуславливают существенную зависимость механических свойств железоуглеродистых сплавов от содержания углерода (см. ниже).

Структура железоуглеродистых сплавов

В зависимости от содержания углерода сплавы в процессе охлаждения из жидкого состояния пересекают разные линии диаграммы состояния и, соответственно, имеют различные структуры.

Основной структурной составляющей сплавов, содержащих 0,02...2,14 %С (это **стали**), является **перлит**. Перлит образуется в результате эвтектоидного превращения аустенита при $t \leq 727 \text{ }^\circ\text{C}$ $A_s \rightarrow \Phi_p + \text{Ц}$ и представляет собой смесь чередующихся тонких пластинок феррита и цементита.

По содержанию углерода **углеродистые стали** делятся на **дозэвтектоидные** (0,02...0,8 %С), **эвтектоидные** ($\approx 0,8$ %С) и **заэвтектоидные** (0,8...2,14 %С). Равновесная структура эвтектоидной стали - перлит¹. В доэвтектоидных сталях помимо перлита в структуре содержатся кристаллы избыточного феррита, образовавшиеся из аустенита при охлаждении между линиями GS и PS. В заэвтектоидных сталях зерна перлита разделены сеткой кристаллов вторичного цементита (Ц_{II}), выделившихся из аустенита ниже линии ES вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените.

Сплавы, содержащие менее 0,02 % С (техническое железо), не содержат перлита в структуре. Их структура – феррит, либо (в сплавах 0,01...0,02 %С, т.е. ниже линии QP) - феррит и небольшое количество третичного цементита (Ц_{III}) по границам зерен.

Сплавы, содержащие более 2,14 %С - **белые чугуны**, в процессе кристаллизации пересекают эвтектическую горизонталь (ECF), следовательно основной составляющей их структуры является эвтектика. Эвтектика в чугунах называется ледебуритом, в интервале температур 1147...727 °С он состоит из кри-

¹ Согласно диаграмме состояния Fe-Fe₃C перлит содержит 0,8 % С. Это позволяет определять содержание углерода в стали при микроскопическом изучении ее структуры по методике, подобной той, которая использовалась в работе 2 для определения химического состава сплавов, содержащих эвтектику. Например, процентное содержание углерода в доэвтектоид-

сталлов аустенита и цементита, а при $t < 727$ °С - представляет собой светлую цементитную матрицу (основу) с темными включениями перлита.

Эвтектический белый чугун (4,3 %С) имеет структуру - ледебурит, **доэвтектические** (2,14...4,3 %С) - ледебурит+перлит+цементит вторичный, **заэвтектические** (>4,3 %С) - ледебурит+цементит первичный.

Зависимость механических свойств железуглеродистых сплавов от содержания углерода

Из диаграммы железо-цементит следует, что структуры практически всех сплавов (>0,01 % С) при нормальных температурах формируются из двух фаз - феррита и цементита. Очевидно, что с увеличением содержания углерода в структуре возрастает количество твердого и хрупкого цементита и уменьшается количество мягкого, пластичного феррита. Твердые частицы цементита повышают сопротивление сплава пластической деформации. Соответственно растут твердость (НВ) и прочность (σ_b) сплавов, падают их пластичность (δ , ψ) и ударная вязкость (КСУ) - рис. 4.2.

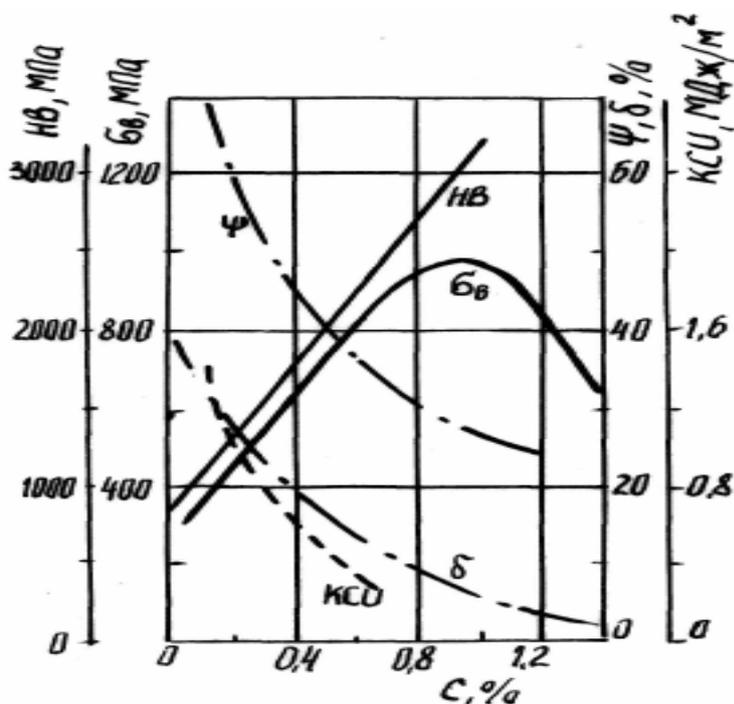


Рис. 4.2. Зависимость механических свойств углеродистых сталей в равновесном состоянии от содержания углерода

ных сталях равно $0,01 \times (0,8 \times S)$, где S - относительная площадь (в %), занимаемая перлитом в структуре (на микрошлифе) изучаемой стали.

Такой характер зависимости механических свойств от содержания углерода является основой **классификации сталей по назначению**¹. Стали с большим содержанием углерода ($\geq 0,7$ %С) имеют высокую твердость и относятся к группе **инструментальных** (марки У7, У8, У10, ..., У13, ГОСТ 1435-90). Низко- и среднеуглеродистые стали обладают оптимальным сочетанием прочности, пластичности, ударной вязкости и по назначению являются **конструкционными**. Они подразделяются на **стали обыкновенного качества** общего назначения (Ст0, Ст1, Ст2, ..., Ст6, ГОСТ 380-94) и **качественные конструкционные стали** (08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, ..., 85² ГОСТ 1050-88).

III. Порядок выполнения работы

1. Нарисовать диаграмму железо-цементит, установить с ее помощью структуру сплавов с различным содержанием углерода.

2. Используя микроскоп, изучить структуры сплавов с различным содержанием углерода, зарисовать их. Отметить основные структурные составляющие технического железа, углеродистых сталей и белых чугунов. Проверить правильность зарисовки микроструктур с помощью электрифицированного стенда “Диаграмма железо-цементит”.

3. При изучении структуры доэвтектоидной стали определить содержание в ней углерода по соотношению площадей, занимаемых перлитом и ферритом. Установить примерную марку изучаемой стали.

4. Измерить твердость (HRB) отожженных образцов сталей с различным содержанием углерода, с помощью Microsoft Excel построить соответствующую зависимость.

¹ Все достаточно ответственные стальные изделия подвергаются закалке и отпуску - термической обработке, формирующей оптимальный комплекс механических свойств (работа 6). Однако и после термической обработки сохраняется принципиальный характер зависимости свойств от содержания углерода - увеличение содержания углерода приводит к возрастанию прочности (твердости) и хрупкости стали.

² В этой группе сталей есть также стали с высоким содержанием углерода (0,6...0,85 % С) - 60, 65, 70, 75, 80, 85. Эти стали применяют в основном в качестве рессорно-пружинных, а также для изготовления ответственных деталей с повышенной прочностью и износостойкостью (шпиндели станков, прокатные валки и др.).

5. Нарисовать график зависимости механических свойств сталей в равновесном состоянии от содержания углерода (рис. 4.2). Дать объяснение этих зависимостей.

IV. Содержание отчета

1. Рисунок диаграммы состояния железо-цементит с указанием фаз в различных областях диаграммы, а также (см. рис. 4.1) - микроструктур сплавов с различным содержанием углерода.

2. Схематическое изображение микроструктур сплавов с различным содержанием углерода (7 рисунков). Против каждого рисунка указать название сплава, структурные составляющие и примерное содержание углерода.

3. Результаты определения содержания углерода в доэвтектоидной стали (по структуре) и ее примерной марки.

4. Результаты определения твердости сталей с различным содержанием углерода (таблица и график).

5. График зависимости механических свойств сталей от содержания углерода (рис. 4.2) и объяснение этих зависимостей.

Литература: [1], с. 118...129, 131...132, 256...258, или [2], с. 99...109, 237...250, или [3], с. 194...202, 204...210, или [4], с. 144...163, 174...177.

Работа 5

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СЕРЫХ ЧУГУНОВ

I. Цель работы

Изучение структуры и свойств различных типов серых чугунов.

II. Теоретическое обоснование

Чугуны - железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14 %С. В работе 4 изучалась структура белых чугунов. Их название и механические свойства обусловлены наличием большого количества цементита в структуре. По правилу отрезков в эвтектическом белом чугуне (структура - ледебурит) со-

держится $\frac{4,3 - 0,01}{6,67 - 0,01} 100 \% \approx 64 \%$ цементита. Цементит придает светлый оттенок излому (отсюда название) этих чугунов, делает их очень твердыми и хрупкими, не способными противостоять растягивающим, изгибающим и особенно ударным нагрузкам¹. Поэтому их применение очень ограничено.

Широкое распространение в машиностроении имеют чугуны, в которых углерод находится преимущественно не в химически связанном состоянии (в виде цементита), а в свободном - в виде включений графита различной формы. Такие чугуны в отличие от белых называются серыми (по темному оттенку излома).

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры металлической основы (матрицы), формы, размеров и количества графитных включений.

Структура металлической **основы серых чугунов** может быть трех типов: феррит, феррит+перлит, перлит. Понятно, что при прочих равных условиях чугун с перлитной основой более прочен и менее пластичен по сравнению с чугуном на ферритной основе (см. зависимость структуры и свойств железоуглеродистых сплавов от содержания углерода, работа 4).

Структурные особенности графитных включений (прежде всего их форма) зависят от способа получения чугунов и в значительной степени определяют их механические свойства. В связи с этим различают собственно **серые (СЧ)**, **высокопрочные (ВЧ)** и **ковкие (КЧ)** чугуны.

Для **получения серых чугунов** должны быть созданы условия, при которых в процессе кристаллизации образовывались бы кристаллы графита, а не цементита (т.е. не получался бы белый чугун). Образованию графита (графитизации) способствуют два фактора: замедленное охлаждение и повышенное содержание графитообразующих элементов (C+Si) - рис. 5.1².

¹Представление о механических свойствах белых чугунов можно получить, экстраполируя зависимости, приведенные на рис. 4.2, на большие содержания углерода.

² По оси абсцисс откладывается толщина стенок отливки L. Очевидно, что возрастание L соответствует уменьшению скорости охлаждения $V_{\text{охл}}$.

Видно, что при низких скоростях охлаждения и определенном содержании $(C+Si)^1$ процесс графитизации завершается полностью - весь углерод в чугуне находится в кристаллах графита (за исключением $\approx 0,01\% C$, содержащегося в феррите).

Графит в серых чугунах имеет форму крупных заостренных пластин. Концы таких пластин являются концентраторами напряжений, очагами зарождения трещин в металлической матрице при нагружении. Особенно опасно, когда пластины графита настолько длинные, что образуют сплошную сетку. В связи с этим серые чугуны имеют низкий предел прочности и практически нулевую пластичность. Некоторое улучшение механических свойств может быть достигнуто путем **модифицирования** - введения в расплав порошкообразных примесей (модификаторов) ферросилиция или силикокальция. В результате пластинки графита измельчаются - повышается прочность, однако пластичность остается низкой ($\delta \approx 0,2...0,5\%$). Поэтому серые чугуны применяются для литых изделий, работающих в основном на сжатие, либо при относительно небольших нагрузках (станины станков, блоки цилиндров, картеры двигателей, тормозные барабаны и т.п.).

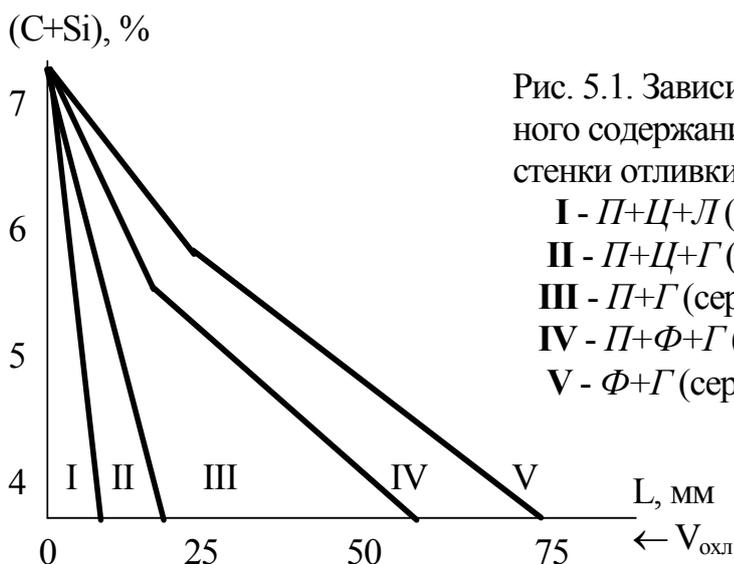


Рис. 5.1. Зависимость структуры чугунов от суммарного содержания углерода и кремния и толщины стенки отливки L (скорости охлаждения $V_{\text{охл}}$):

- I - $II+Ц+Л$ (белый чугун);
- II - $II+Ц+Г$ (половинчатый чугун);
- III - $II+Г$ (серый перлитный чугун);
- IV - $II+Ф+Г$ (серый феррито-перлитный чугун);
- V - $Ф+Г$ (серый ферритный чугун)

Значительного улучшения механических свойств можно добиться, применяя модифицирование магнием или церием. В этом случае включения графита

¹ Обычно серые чугуны содержат 3,5...3,6 %C и 1,5...3,0 %Si.

принимают шаровидную форму. Округлые включения в гораздо меньшей степени создают опасную концентрацию напряжений, поэтому существенно повышается прочность и пластичность чугуна. Чугуны с изолированными шаровидными включениями графита называют высокопрочными. **Высокопрочные чугуны** используют для ответственных отливок в авто- и тракторостроении (коленчатые валы, поршни), тяжелом машиностроении (валки прокатных станов, детали кузнечно-прессового оборудования), химической промышленности (корпуса насосов, вентили).

Получение изделий из ковкого чугуна принципиально отличается от технологии производства отливок из серых и высокопрочных чугунов. Сначала изготавливают отливку из белого чугуна, при этом используются его высокие литейные свойства, позволяющие получать плотные отливки сложной формы. Затем эти отливки подвергают длительному “графитизирующему” отжигу по схеме, приведенной на рис. 5.2.

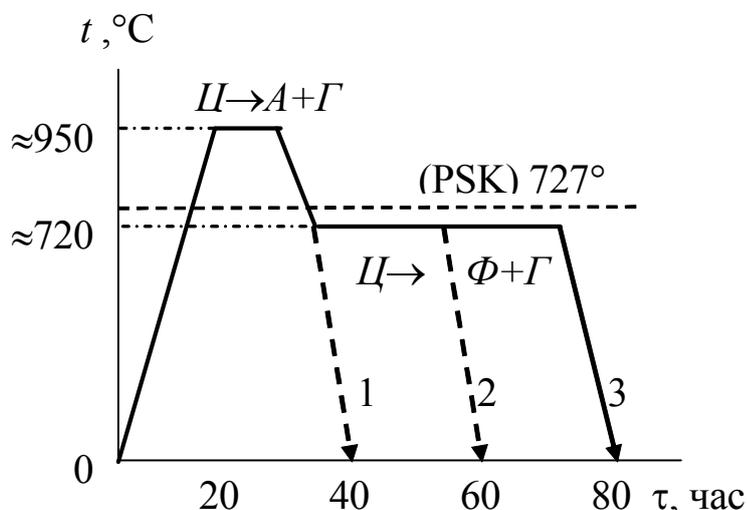


Рис. 5.2. Схема отжига белого чугуна на ковкий:
1, 2 и 3 - режимы для получения ковкого чугуна на перлитной, феррито-перлитной и ферритной основе соответственно

В основе этого метода лежит неустойчивость (метастабильность) цементита.

Длительная выдержка белого чугуна при $t=950...1000$ °C вызывает распад цементита на смесь аустенита и графита хлопьевидной формы. Ускоренное охлаждение от этих температур (режим 1 на рис. 5.2) приводит к превращению аустенита в перлит (ниже линии эвтектоидного превращения PSK), т.е. к получению ковкого чугуна на перлитной основе. Если же охлаждение прервать и длительное время выдержать отливку при $t \approx 720$ °C (несколько ниже PSK), то

распадается также цементит, входящий в перлит, на смесь феррита и графита. Так получают ковкий чугун на феррито-перлитной (2, рис. 5.2) или ферритной (3, рис. 5.2) основе.

Свойства ковких чугунов близки к свойствам высокопрочных чугунов. Из них изготавливают ответственные литые детали, работающие при динамических нагрузках (втулки, муфты, тормозные колодки, ступицы и т.п.).

Принцип маркировки чугунов понятен из табл. 5.1.

Таблица 5.1

Классификация, маркировка, механические свойства чугунов

Марка чугуна	$\sigma_{в}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , %	Структура металличес- кой основы	Форма графитных включений
С е р ы е ч у г у н ы (ГОСТ 1412-85)				
СЧ 10	100(10)	≈0	Ф	
СЧ 18	180(18)	≈0	Ф+П	
СЧ 30	300(30) 450(45)	≈0	П	
СЧ 45				
В ы с о к о п р о ч н ы е ч у г у н ы (ГОСТ 7293-85)				
ВЧ 38	380(38)	17	Ф	
ВЧ 45	450(45)	5	Ф+П	
ВЧ 120	1200(120)	2	П	
К о в к и е ч у г у н ы (ГОСТ 1215-79)				
КЧ 30-6	300(30)	6	Ф	
КЧ 45-6	450(45)	6	Ф+П	
КЧ 80-1,5	800(80)	1,5	П	

Приведенные выше данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Уровень механических свойств всех типов серых чугунов определяется двумя основными структурными факторами - формой (а также размерами и количеством) графитных включений и структурой металлической основы.

2. По сути, серые чугуны представляют собой углеродистые доэвтектоидные (Ф+П), эвтектоидные (П) стали или техническое железо (Ф) с включениями графита. Графит уменьшает прочность и пластичность металлической основы. Поэтому серые чугуны имеют более низкий комплекс механических свойств по сравнению с углеродистыми сталями. Однако от сталей они отли-

чаются более высокими литейными свойствами, низкой стоимостью, нечувствительностью к надрезам и другим дефектам поверхности, антифрикционными (см. работу 11) и некоторыми другими полезными свойствами.

III. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с классификацией, маркировкой и способами получения различных типов серых чугунов. Обратит внимание на принципиальное отличие структур серых и белых чугунов.

2. С помощью микроскопа изучить структуры различных типов чугунов. Отметить особенности структур, изучаемых на нетравленных микрошлифах.

IV. Содержание отчета

1. Принципиальное отличие структуры и свойств серых чугунов от белых.

2. Классификация, маркировка и механические свойства различных типов серых чугунов (данные из табл. 5.1).

3. Краткое описание способов получения серых, высокопрочных и ковких чугунов.

4. Микроструктуры серых, ковких и высокопрочных чугунов с указанием структурных составляющих.

Л и т е р а т у р а: [1], с. 144...155, или [2], с. 292...302, или [3], с. 224...233

или [4], с.181...198.

Работа 6

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА (ЗАКАЛКА И ОТПУСК) УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

I. Цель работы

1. Изучение влияния содержания углерода и режима закалки (температуры нагрева и скорости охлаждения) на структуру и свойства закаленной стали.

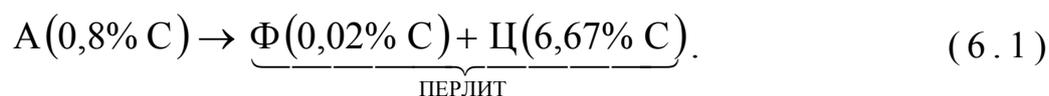
2. Изучение влияния температуры отпуска на структуру и свойства стали.

II. Теоретическое обоснование

Механические свойства углеродистых сталей определяются процентным содержанием в них углерода. Этот важный вывод был сделан в работе 4 на основании изучения структуры и свойств сталей в равновесном состоянии. Свойства стали с данным содержанием углерода могут изменяться в широких пределах в результате термической обработки.

Практически равновесное состояние достигается путем **отжига** - нагрева стали до аустенитного состояния и последующего очень медленного охлаждения (с печью). При отжиге формируются равновесные структуры сталей в соответствии с диаграммой железо-цементит (см. работу 4).

Основной структурной составляющей сталей в этом случае является перлит, образующийся при распаде аустенита при $t \leq A_1 (727^\circ\text{C})$:



Отжиг - смягчающая термическая обработка. Он обеспечивает минимальную твердость и наилучшую обрабатываемость резанием и давлением и в процессе изготовления изделий обычно предшествует механической обработке.

Оптимальные механические свойства готовых изделий, обеспечивающие их работоспособность, формируются в результате комплексной термической обработки, состоящей из закалки и отпуска.

Закалка - это нагрев стали до аустенитного состояния, выдержка и последующее ускоренное охлаждение (со скоростью $V \geq V_{\text{кр}}$, см. ниже) с целью максимального повышения твердости и прочности.

Выше уже отмечалось, что аустенит, охлажденный ниже A_1 , становится неустойчивым и распадается на смесь феррита и цементита (6.1). Время начала и конца этого распада дается диаграммой изотермического превращения переохлажденного аустенита ("С-диаграммой") - рис. 6.1.

Дисперсность (величина, обратная размеру частиц) образующейся при распаде аустенита феррито-цементитной смеси зависит от температуры (t), при которой происходит этот распад, или, что то же, - от степени переохлаждения ау-

стенита $\Delta t = A_1 - t$. С понижением температуры распада (увеличением Δt) быстро уменьшается скорость диффузионного роста образующихся кристаллов, т.е. происходит измельчение феррито-цементитной смеси, соответственно возрастает ее твердость (см. рис. 6.1, б). В связи с этим различают три **структуры перлитного типа: перлит, сорбит и троостит**; они имеют одинаковое строение (это смеси пластинок феррита и цементита), но отличаются степенью дисперсности, а значит и твердостью.

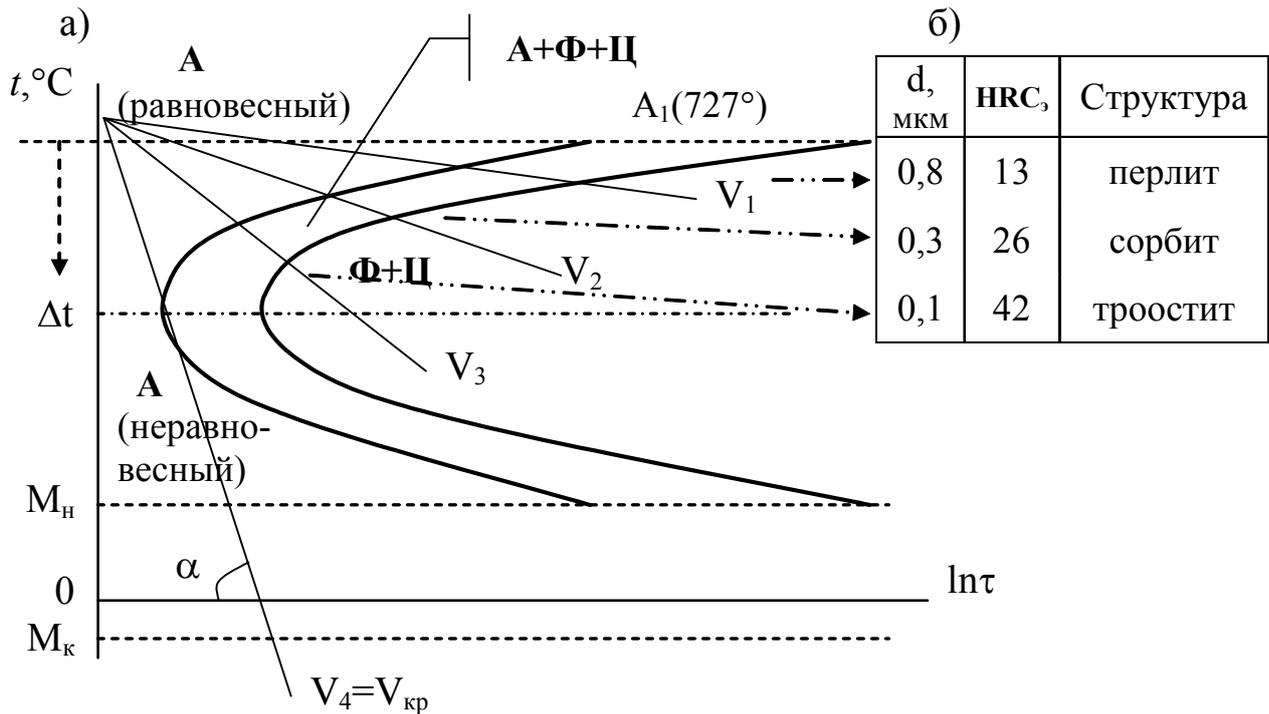


Рис. 6.1. Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита (эвтектоидная сталь) с нанесенными на нее кривыми охлаждения (а) и усредненные характеристики перлитных структур (б). d – ”межпластиночное расстояние” - средняя суммарная толщина соседних пластинок феррита и цементита

Все эти структуры получаются в результате перлитного превращения - (6.1). Его протекание вызвано полиморфизмом железа и сплавов на его основе - сталей (см. работу 4). Поскольку оно происходит при достаточно высоких температурах ($\approx 720 \dots 500$ °C), механизм распада аустенита на смесь феррита и цементита имеет диффузионный характер. Это видно из реакции (6.1), где несовпадение химического состава фаз свидетельствует об активной диффузии атомов.

На практике различные типы перлитных структур получают обычно не при изотермических выдержках, а при непрерывном охлаждении стали из ау-

стенитного состояния с различными скоростями. Степень дисперсности образующихся при этом ферритоцементитных смесей (и, соответственно, тип перлитной структуры) зависит от величины скорости охлаждения V . Эта зависимость отчетливо проявляется, когда на C -диаграмму наносят кривые охлаждения $t=f(\tau)$ (рис.6.1), наклон которых характеризует величину

$$V = \frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \operatorname{tg} \alpha .$$

Видно, что чем больше скорость охлаждения, тем при более низкой температуре происходит распад переохлажденного аустенита, соответственно, более дисперсной и твердой получается перлитная структура: при скорости V_1 - перлит, V_2 - сорбит, V_3 - троостит.

Очевидно, что при скорости $V=V_4$ аустенит не распадается на смесь феррита и цементита и, следовательно, переохлаждается до низких температур. Такая скорость охлаждения (“ее линия” V_4 - касательная к кривой начала распада переохлажденного аустенита на феррит и цементит) называется **критической скоростью закали** $V_{кр}$.

При охлаждении стали со скоростью $V \geq V_{кр}$ аустенит переохлаждается до таких низких температур, где диффузия атомов практически отсутствует. В этом случае полиморфное ($\gamma \rightarrow \alpha$) превращение аустенита происходит бездиффузионным мартенситным путем при $t < M_n$ (температура начала мартенситного превращения). Значит содержание углерода в исходной фазе (аустените) и конечной (мартенсите) должно быть одинаково. Поэтому **мартенсит** - пересыщенный твердый раствор углерода в α -Fe. Вспомним, что пересыщенным, равновесным твердым раствором углерода в α -Fe является феррит, он содержит не более 0,02 %C (работа 4). Вследствие этого пересыщения решетка мартенсита становится вытянутой, тетрагональной в отличие от ОЦК решетки феррита.

Образование мартенсита с тетрагональной решеткой приводит к появлению сильных внутренних напряжений, резкому повышению плотности дислокаций и степени дисперсности структуры, соответственно значительно возрастают

твердость и прочность. Очевидно, что действие перечисленных упрочняющих факторов тем эффективнее, чем больше углерода в стали, так как возрастает степень пересыщения решетки мартенсита углеродом. Поэтому твердость закаленной стали (мартенсита) растет с увеличением содержания в ней углерода - рис. 6.2.

Эта зависимость характеризует **закаливаемость стали** - ее способность повышать твердость в результате закалки. Таким образом, закаливаемость определяется в первую очередь содержанием углерода в стали.

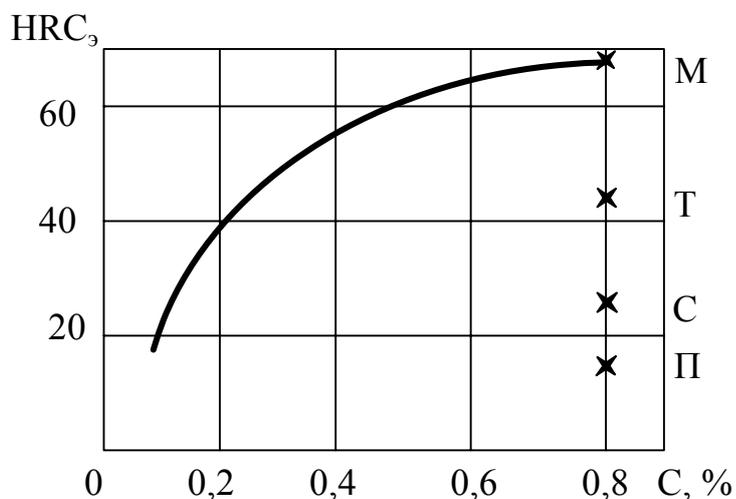


Рис. 6.2. Зависимость твердости закаленной стали от содержания углерода

Для сравнения, наряду с твердостью мартенсита (М), приведены значения твердости перлита (П), сорбита (С) и троостита (Т) эвтектоидной стали.

Понятно также, что для получения максимальной твердости должен быть соблюден **режим закалки** - это, во-первых, применение охлаждающей среды, обеспечивающей скорость охлаждения $V \geq V_{кр}$, и, во-вторых, - **правильный выбор температуры нагрева стали под закалку**. Оптимальный интервал закалочных температур показан на рис. 6.3.

Доэвтектоидные стали нужно закаливать от температур на 30...50 °С выше линии A_3 , т.е. из однофазного аустенитного состояния. В этом случае в результате закалки получается однофазная мартенситная структура¹. **Такая закалка называется полной**. Закалка от более высоких температур также дает мартенситную структуру, но с пониженными механическими свойствами вследствие

¹ В сталях, охлажденных при закалке до комнатной температуры, в структуре остается некоторое количество непревращенного (остаточного) аустенита. Количество остаточного аустенита возрастает с увеличением содержания углерода (и легирующих элементов) в стали.

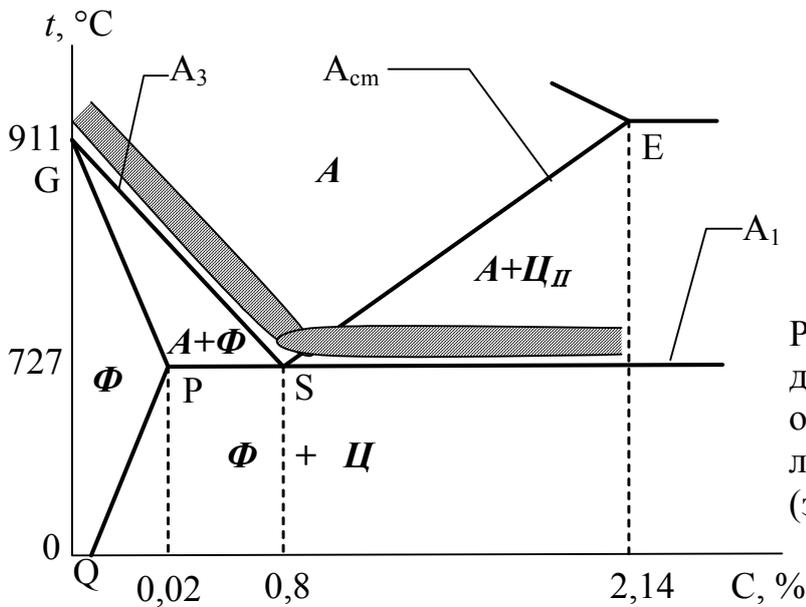


Рис. 6.3. «Стальной угол» диаграммы железо-цементит; оптимальный интервал закалочных температур (заштрихованная область)

укрупнения кристаллов мартенсита¹ (это дефект термической обработки, называемый перегревом). Закалка от температур ниже A_3 , т.е. из межкритического интервала $A_1...A_3$ называется **неполной**, она приводит к получению в доэвтектоидных сталях структуры мартенсит+феррит. Феррит снижает твердость закаленной стали, поэтому такая закалка для доэвтектоидных сталей обычно не делается.

Для заэвтектоидных сталей напротив применяется **неполная закалка** ($t = A_1 + (30...50 \text{ }^\circ\text{C})$), приводящая к получению структуры мартенсита с включениями твердых цементитных частиц. Такая структура обеспечивает высокую твердость и износостойкость, что является совершенно необходимым для заэвтектоидных инструментальных сталей.

Мартенсит - наиболее твердая из всех структур, которые получают при распаде переохлажденного аустенита (см. рис. 6.2). Но он обладает повышенной хрупкостью, которая растет с увеличением содержания углерода в стали. Поэтому после закалки стали необходимо подвергать **отпуску**, основная цель которого - повышение пластичности и ударной вязкости закаленной стали.

¹ Повышение температуры нагрева стали под закалку приводит к резкому возрастанию зерна аустенита. При закалке (мартенситном превращении) кристаллы мартенсита наследуют размер зерна аустенита, образовавшегося при нагреве.

Отпуск - нагрев закаленной стали в докритическом интервале температур ($t < A_1$), при котором развиваются диффузионные процессы, постепенно приближающие структуру и свойства стали к равновесному состоянию.

Структура и свойства стали зависят от температуры отпуска, соответственно различают **три вида отпуска**: низкий (≈ 200 °C), средний (≈ 400 °C), высокий (≈ 600 °C).

При низком отпуске существенных изменений в структуре еще не происходит (структура - **мартенсит отпуска**), лишь несколько снижаются внутренние напряжения, незначительно уменьшается твердость и повышается пластичность. Низкий отпуск применяют в тех случаях, когда от изделий в первую очередь требуется высокая твердость (режущий - см. работу 8, измерительный и холодноштамповый инструмент, детали шариковых подшипников - см. работу 11, шестерни после цементации и т.п.).

При среднем отпуске избыточный углерод практически полностью покидает решетку мартенсита в виде мельчайших частиц цементита. В результате образуется ферритоцементитная смесь, называемая **трооститом отпуска**. Твердость заметно понижается, повышается ударная вязкость. Такая структура при твердости HRC, 35...45 обеспечивает наибольшую упругость стали, поэтому средний отпуск обычно применяют для пружин, рессор, мембран (см. работу 12), ударного инструмента.

Высокий отпуск приводит к укрупнению (и округлению) частиц цементита, что сопровождается дальнейшим снижением прочности и твердости и повышением пластичности и ударной вязкости. Соответствующая структура называется **сорбитом отпуска**.

Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется **улучшением**. Она применяется для ответственных изделий, изготавливаемых из среднеуглеродистых (0,3...0,5 %C) сталей, так как обеспечивает в этом случае наилучший комплекс механических свойств - максимальную ударную вязкость при достаточно высокой прочности. Высокие механические свойства

сорбита отпуска обусловлены малыми размерами и округлой формой частиц цементита (в отличие от сорбита закалки, в котором острые концы пластинок цементита играют роль концентраторов напряжений).

III. Порядок выполнения работы

1. С помощью диаграммы железо-цементит (рис. 6.3) установить температуры нагрева под закалку сталей 20, 45 и У8. Поместить в печь 5 образцов стали 45 и по одному - сталей 20 и У8. Охладить на воздухе и в масле по одному образцу стали 45, все остальные образцы закалить в воде.

2. Зачистить от окалины торцы образцов на наждачном круге. Измерить твердость ($HRC_{\text{с}}$) всех образцов. Результаты измерений твердости и режимы термообработки занести в таблицу. Сравнить полученные значения твердости с твердостью тех же сталей в равновесном (отожженном) состоянии (работа 4). На основании рис. 6.1 и 6.2 установить примерные структуры образцов, охлажденных в различных средах. Проанализировать влияние скорости охлаждения на структуру и свойства сталей.

3. Изучить и зарисовать структуры сорбита и мартенсита закалки.

4. С помощью Microsoft Excel построить по экспериментальным данным зависимость твердости закаленной на мартенсит стали от содержания углерода, объяснить полученную зависимость.

5. Три образца стали 45, закаленные в воде, отпустить при температурах 200, 400 и 600 °С. Измерить твердость ($HRC_{\text{с}}$) отпущенных образцов, результаты занести в таблицу. На основании полученных данных с помощью Microsoft Excel построить зависимость твердости закаленной стали 45 от температуры отпуска, объяснить эту зависимость.

6. Изучить и зарисовать микроструктуру сорбита отпуска. Отметить отличие структур сорбита отпуска и сорбита закалки, объяснить, как оно влияет на механические свойства стали.

IV. Содержание отчета

1. Закалка и ее цель.

2. Рисунок диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита (рис. 6.1).

3. Краткое описание структур (и их свойств), получаемых в результате превращения переохлажденного аустенита.

4. Рисунок “стального угла” диаграммы железо-цементит (рис. 6.3) и методика выбора температуры нагрева сталей под закалку (полная и неполная закалка).

5. Таблица результатов закалки углеродистых сталей с указанием структур сталей, полученных при различных скоростях охлаждения. Объяснение влияния скорости охлаждения на структуру и свойства стали.

6. График зависимости твердости закаленной стали (мартенсита) от содержания углерода, объяснение полученной зависимости.

7. Отпуск и его цель.

8. Таблица результатов отпуска закаленной стали 45.

9. График зависимости твердости закаленной стали 45 от температуры отпуска и объяснение его (изменение структуры и свойств стали при отпуске).

10. Микроструктуры мартенсита, сорбита закалки и сорбита отпуска. Объяснение различий механических свойств сталей со структурами сорбита закалки и отпуска.

Литература: [1], с. 165...172, 175, 180...188, 200...202, 215...217, или [2], с. 163...173, 179, 180, 185...188, 190...192, или [3], с. 240, 241, 245...252, 256, 258...260, 266...267, или [4], с. 216...221, 225, 226, 229...231, 246...252, 256, 257.

Работа 7

ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ

I. Цель работы

Изучение влияния легирования на прокаливаемость стали.

II. Теоретическое обоснование.

Классификация и маркировка легированных сталей

В предыдущих работах изучались структура и свойства углеродистых сталей. Кроме них существует большое количество легированных сталей, в которые для получения требуемых свойств вводятся специальные **легирующие элементы**. Наиболее распространенными легирующими элементами в сталях являются **Cr** (в маркировке обозначается буквой X), **Ni** (Н), **Mn** (Г), **Si** (С), **W** (В), **V** (Ф), **Ti** (Т), **Al** (Ю). Цифры после букв в марках легированных сталей указывают процентное содержание данного элемента (если цифра отсутствует, то содержание этого элемента не превышает 1,0...1,5 %). Цифры в начале марки - среднее содержание углерода в сотых долях процента (в высокоуглеродистых инструментальных сталях - в десятых долях процента).

Структура и свойства легированных сталей зависят от индивидуальных особенностей легирующих элементов (и, конечно, углерода) и их количества. Остановимся на двух важных для практики закономерностях, проявляющихся при легировании сталей.

1. Все легирующие элементы (кроме Со), растворяясь в аустените, замедляют скорость его распада в области перлитного превращения, т.е. смещают вправо линии С - диаграммы (см. рис. 6.1), соответственно снижается критическая скорость закалки $V_{кр}$.

2. Все легирующие элементы (кроме Со и Al) снижают температуру начала (M_n) и конца (M_k) мартенситного превращения (особенно эффективно - Mn, Cr, Ni). Эти две тенденции (смещение линий распада переохлажденного аустенита и температуры M_n с увеличением степени легирования) отражены на рис. 7.1.

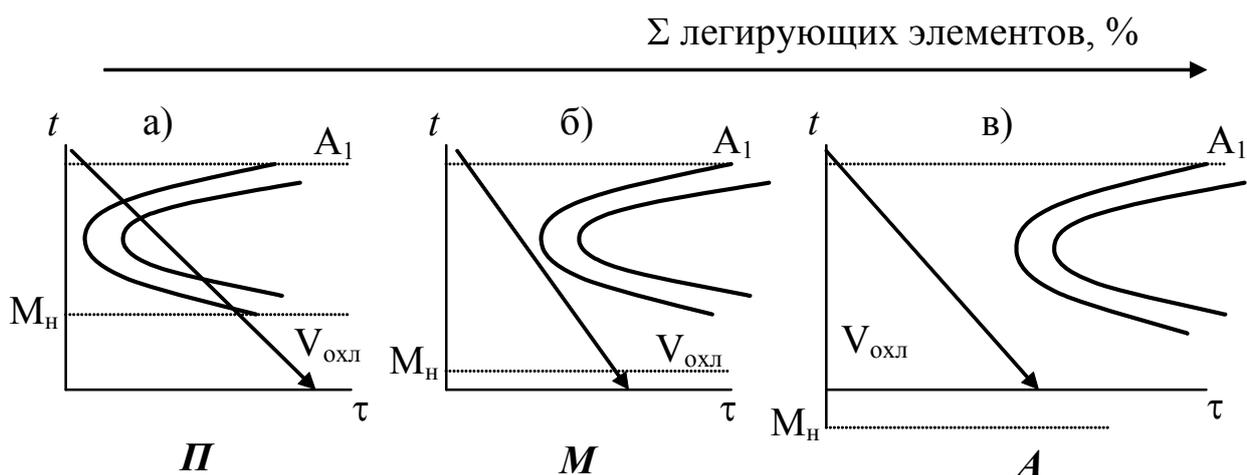


Рис. 7.1. Смещение линий диаграммы изотермического превращения аустенита при увеличении содержания легирующих элементов в стали (классификация легированных сталей по структуре в нормализованном состоянии): наклон линии $V_{\text{охл}}$ характеризует скорость охлаждения образцов на воздухе; варианты а), б) и в) - соответствуют сталям перлитного (**П**), мартенситного (**М**) и аустенитного (**А**) классов

На этом же рисунке (а, б, в) проведена линия, наклон которой характеризует скорость охлаждения ($V_{\text{охл}}$) образцов стали на спокойном воздухе (нормализация). Этот рисунок поясняет принятую **классификацию легированных сталей по структуре после нормализации**. При относительно небольшом содержании легирующих элементов (5...6 %) охлаждение на воздухе приводит к распаду аустенита на феррито-цементитные смеси (перлит, сорбит, троостит) - рис. 7.1,а; такие стали относятся к **перлитному классу**. При повышенном содержании легирующих элементов $V \geq V_{\text{кр}}$, а $M_{\text{н}} > 20$ °С, следовательно, при комнатной температуре нормализованная сталь имеет мартенситную структуру (**мартенситный класс**). При большом содержании легирующих элементов (особенно Mn, Ni) $M_{\text{н}}$ сдвигается в область отрицательных температур, поэтому при нормальных температурах стали имеют аустенитную структуру (**аустенитный класс**). Очевидно различие механических свойств сталей, принадлежащих к этим структурным классам¹.

Следует, однако, отметить, что подавляющее большинство сталей, применяемых в машиностроении, относится к перлитному классу, поскольку они

¹ Специальным легированием получают также стали ферритного и ледебуритного классов.

имеют наименьшую стоимость из-за невысокой степени легирования. Механические свойства этих сталей, как и углеродистых, определяются в основном содержанием углерода. Поэтому сходна и **классификация этих сталей по назначению**¹ (см. работу 4): низко- и среднеуглеродистые легированные стали относятся к группе **конструкционных** (ГОСТ 4543-71), высокоуглеродистые - **инструментальные** (X, 9ХС, ХГ, ХВГ и др. ГОСТ 5950-2000). Кроме этих двух классов (по назначению) различают еще стали и сплавы **с особыми свойствами** (коррозионно- и износостойкие, жаропрочные, с особыми физическими свойствами и др.), но это, как правило, высоколегированные (>12 %) сплавы аустенитного, мартенситного и ферритного классов.

Конструкционные машиностроительные стали в зависимости от содержания углерода (и соответственно механических свойств, получаемых после термической обработки) подразделяют на цементуемые и улучшаемые. **Цементуемые** - это стали с низким (0,1...0,25 %) содержанием углерода (12ХНЗ, 18ХГТ, 18Х2Н4МА, ...), которые после цементации, закалки и низкого отпуска приобретают высокую твердость (и износостойкость) поверхностного слоя и сохраняют вязкую (и достаточно прочную) сердцевину. Эти стали в основном применяются для изготовления шестерен. **Улучшаемые** - это среднеуглеродистые (0,3...0,5 % С) стали (30Х, 30ХГС, 38ХМЮА, 40ХН, ...), изделия из которых подвергаются улучшению - закалке и последующему высокому отпуску (см. работу 6). Такая термообработка обеспечивает изделиям из этих сталей (валы, оси, штоки, шатуны и другие ответственные детали) высокий предел текучести, высокую ударную вязкость и малую чувствительность к концентраторам напряжений.

Прокаливаемость стали

Выше отмечалось, что механические свойства легированных сталей перлитного класса определяются в основном содержанием углерода. Однако даже

¹ Данный принцип классификации сталей по назначению (подробнее см стр. 134) отражает лишь основную тенденцию. Реально к конструкционным относятся также рессорно-пружинные (0,5...0,7 %С) и шарикоподшипниковые (~1 %С) стали, а, например, инструментальные штамповые стали для ударного деформирования металла содержат 0,3...0,6 % С.

относительно низкое легирование позволяет значительно повысить такую важную характеристику стали, как ее прокаливаемость.

Прокаливаемость - это способность стали закаливаться (т.е. приобретать мартенситную структуру) на определенную глубину (сравните с закаливаемостью - работа 6). Поскольку основное требование закалки $V_{\text{охл}} \geq V_{\text{кр}}$, то прокаливаемость зависит от соотношения скорости охлаждения $V_{\text{охл}}$ и критической скорости закалки $V_{\text{кр}}$. Если в сердцевине образца $V_{\text{охл}} < V_{\text{кр}}$, это приводит к несквозной закалке (прокаливаемости) - рис. 7.2.

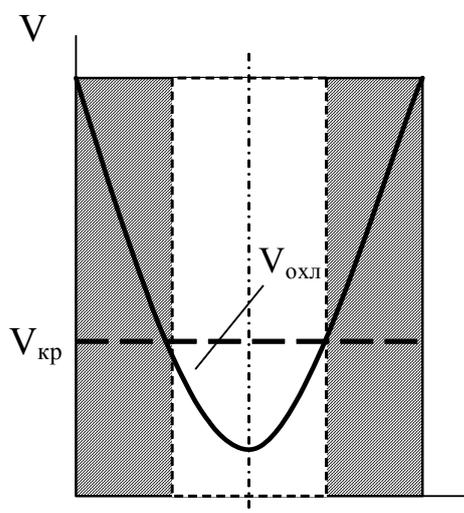


Рис.7.2. Распределение скорости охлаждения ($V_{\text{охл}}$) по сечению образца при закалке: заштрихована закаленная зона с мартенситной структурой

При несквозной прокаливаемости на поверхности образца образуется мартенсит, а в сердцевине (где $V_{\text{охл}} < V_{\text{кр}}$) - пластинчатые структуры перлитного типа. В результате возникает неоднородность механических свойств по сечению детали, которая сохраняется и после отпуска. В частности, сердцевина будет иметь более низкую ударную вязкость (см. работу 6). Поэтому для ответственных изделий должны применяться стали со сквозной прокаливаемостью. Очевидно, что **основной путь повышения прокаливаемости** - это уменьшение величины $V_{\text{кр}}$. Выше отмечалось, что легирование приводит к повышению устойчивости переохлажденного аустенита, соответственно - к сдвигу линий С-диаграммы вправо (рис. 7.1), а значит к снижению $V_{\text{кр}}$ и повышению прока-

ливаемости¹. Поэтому, чем больше диаметр изделия, тем более легированную сталь нужно применять для получения сквозной прокаливаемости.

За глубину прокаливаемости обычно принимают расстояние от поверхности образца до зоны с полумартенситной структурой (50 % мартенсита + 50 % троостита) с высокой твердостью. Твердость сталей с полумартенситной структурой зависит в основном от содержания углерода и в гораздо меньшей степени - легирующих элементов - рис. 7.3.

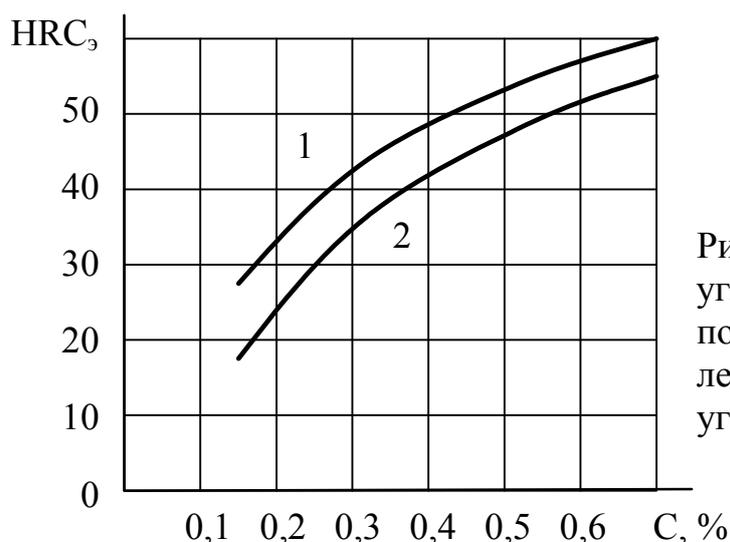


Рис. 7.3. Влияние содержания углерода в стали на твердость полумартенситной зоны легированной (1) и углеродистой (2) сталей

Для определения прокаливаемости наиболее распространен **метод торцовой заковки** (ГОСТ 5657-69). Цилиндрический образец определенной формы и размеров нагревают до температуры заковки, а затем охлаждают с торца струей воды в специальной установке. Затем измеряют твердость по высоте образца, начиная с торца. Очевидно, что она убывает в этом направлении в связи с уменьшением скорости охлаждения и постепенным переходом от мартенситной к перлитным структурам. Далее строится график изменения твердости по длине образца L , и с помощью рис. 7.3 определяется **критическое расстояние** $L_{кр}$ до полумартенситной зоны. Величина $L_{кр}$ характеризует прокаливаемость стали данной марки. Однако для практики важнее знать величину **критического диаметра** $D_{кр}$ – диаметра образца, прокаливаемого насквозь (в сердцевине полумар-

¹ Важным следствием уменьшения величины $V_{кр}$ при легировании является то, что закалку на мартенсит можно производить не в воде, а в масле и даже на воздухе, т.е. с меньшими скоростями. Такое охлаждение существенно снижает внутренние напряжения в закаленных изделиях и соответственно - опасность возникновения трещин и коробления.

тенситная структура) в данном охладителе. Значение $D_{кр}$ определяется по величине $L_{кр}$, полученной методом торцевой закалки, с помощью номограммы, приведенной на рис. 7.4 (штриховая линия со стрелками показывает методику определения $D_{кр}$ по величине $L_{кр}$ при закалке в различных средах).

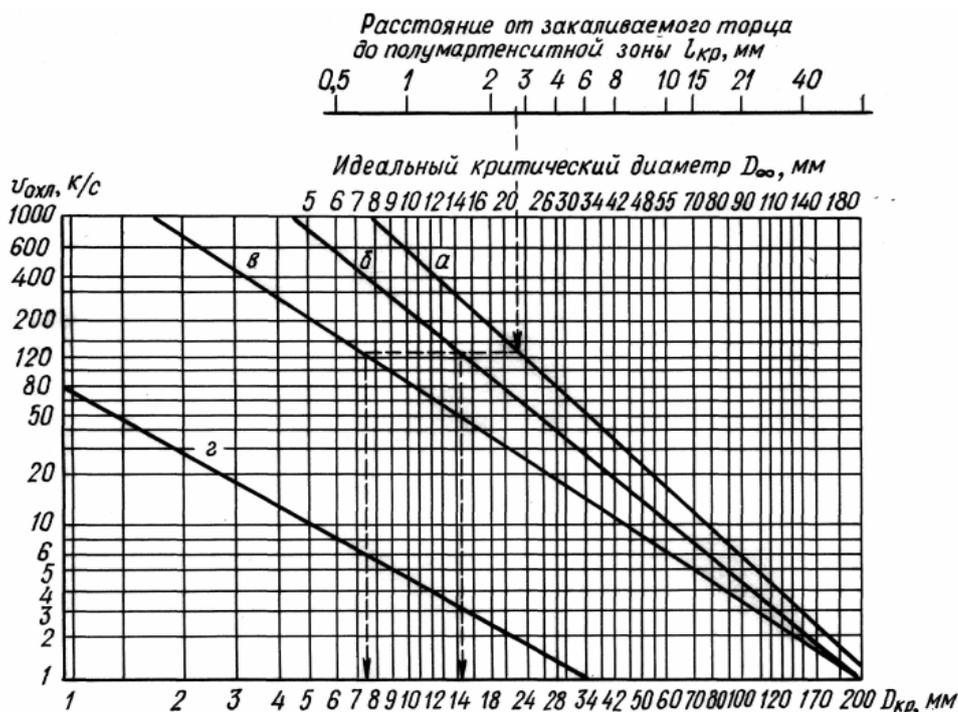


Рис. 7.4. Номограмма для определения прокаливаемости (критического диаметра $D_{кр}$): а – «идеальная» охлаждающая среда, б – вода, в – масло, г – воздух

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить методику проведения торцевой закалки для определения прокаливаемости стали.

2. Образец конструкционной стали¹ для торцевой закалки в специальном кожухе, предохраняющем от окисления и обезуглероживания, поместить в закалочную печь.

3. Отрегулировать установку для торцевой закалки. Высота свободной струи должна быть 65 мм, расстояние от сопла до торца образца 12,5 мм. Струя воды должна касаться только торца образца и не омывать его цилиндрическую

¹ Практическую часть работы по определению прокаливаемости стали одна группа студентов выполняет на образце углеродистой стали (например, 40), вторая - на образце легированной стали с тем же содержанием углерода (например, 40X).

поверхность. 4. Провести торцовую закалку нагретого образца. Образец выдерживается под струей воды до полного охлаждения (не менее 10 минут).

5. Сошлифовать закаленный образец с двух противоположных сторон вдоль образующей цилиндра на глубину 0,2...0,5 мм. Измерить твердость (HRC_3) в осевом направлении от торца через каждые 1,5...2 мм. Измерения закончить после того, как твердость перестанет изменяться. Повторить процедуру на противоположной стороне образца. Определить среднеарифметические значения твердости по длине образца. Результаты занести в таблицу.

6. Построить график изменения твердости по длине образца. С помощью рис. 7.3 определить расстояние $L_{кр}$ до полумартенситной зоны.

7. С помощью номограммы (рис. 7.4) оценить критический диаметр ($D_{кр}$) при закалке данной стали в воде и в масле.

IV. Содержание отчета

1. Краткие сведения о классификации и маркировке легированных сталей.
2. Прокаливаемость; влияние легирования на ее величину.
3. Сущность методики определения прокаливаемости методом торцовой закалки. Схема установки.
4. Результаты измерений твердости по длине образца после торцовой закалки (таблица и график).
5. Зависимость твердости полумартенситной зоны углеродистых и легированных сталей от содержания углерода (рис. 7.3). Определение твердости полумартенситной зоны исследуемой стали.
6. Методика и результаты определения расстояния $L_{кр}$ до полумартенситной зоны образца после торцовой закалки.
7. Методика и результаты оценки критического диаметра $D_{кр}$ при закалке исследуемой стали в воде и в масле. Сравнение значений $D_{кр}$, определенных на образцах углеродистой и легированной сталей; краткое объяснение полученных данных.

Л и т е р а т у р а: [1], с. 141...143, 206...210, 259...262, 267...281, или [2], с. 184, 185, 238, 239, или [3], с. 210...213, 269...270, или [4], с. 262...268, 318...321, 331...337.

Работа 8

ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ СПЛАВОВ ДЛЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

I. Цель работы

Изучение теплостойкости сплавов различного химического состава, применяемых для изготовления режущего инструмента.

II. Теоретическое обоснование

Основные требования, предъявляемые к материалам для режущего инструмента - это высокая твердость и износостойкость. От этих характеристик зависит прежде всего качество обрабатываемой поверхности. Кроме того, при тяжелых условиях резания (высокие значения скорости резания, а также - прочности, твердости или вязкости обрабатываемых изделий), когда режущая кромка может разогреваться до температур красного каления и выше, материал инструмента должен обладать **теплостойкостью** - способностью сохранять высокую твердость (износостойкость) при длительном нагреве. Величина теплостойкости оценивается предельной температурой, при которой сохраняется высокое значение твердости (обычно 58...59 HRC₃), обеспечивающей работоспособность инструмента. В дальнейшем эту температуру, характеризующую теплостойкость, будем обозначать t_{58} .

По теплостойкости сплавы для режущего инструмента подразделяют на следующие группы:

- 1) углеродистые и низколегированные стали с теплостойкостью $t_{58} \approx 200$ °С;
- 2) высоколегированные быстрорежущие стали с $t_{58} \approx 600...640$ °С;
- 3) твердые сплавы с $t_{58} \approx 800...1000$ °С¹.

Высокая твердость сталей для режущего инструмента обеспечивается большим содержанием углерода - обычно 0,9...1,2 %, иногда до 1,3...1,5 %.

¹ Кроме того, применяются сверхтвердые минералокерамические материалы, например, нитрид бора с теплостойкостью до 1200 °С.

Углеродистые стали (У9, У10, У11, У12, У13, ГОСТ 1435-90) после неполной закалки (см. работу 6) и низкого отпуска имеют структуру мартенсита с мелкозернистыми включениями вторичного цементита и высокую твердость HRC₃, 62...64. Недостаток этих сталей - пониженная прокаливаемость, поэтому из них изготавливают металлообрабатывающий инструмент небольшого размера (метчики, сверла, напильники, пилы и др.). Закалку проводят в воде или солевых растворах.

Низколегированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-2000) содержат такое же количество углерода и до 5 % легирующих элементов. Основным легирующим элементом является хром.

Стали этой группы, как и инструментальные углеродистые, подвергаются закалке и низкому отпуску, имеют аналогичную структуру и практически такую же твердость (см. табл. 8.1). Их теплостойкость лишь незначительно выше ($t_{58} < 250...260$ °С). Однако вследствие легирования они обладают более низкой критической скоростью закалки $V_{кр}$ и существенно большей прокаливаемостью (см. работу 7). Так, из стали ХВСГ можно изготавливать инструмент с поперечным сечением до 100 мм. Закачивают эти стали обычно в масле.

В быстрорежущих сталях (ГОСТ 19265-73) высокая теплостойкость (**красностойкость**) достигается введением большого количества вольфрама¹ наряду с другими карбидообразующими элементами (Мо, Cr, V).

Карбиды этих элементов в отличие от цементита в углеродистых сталях выделяются из мартенсита и коагулируют (укрупняются) при более высоких температурах отпуска. Поэтому распад мартенсита в быстрорежущих сталях и последующая коагуляция карбидов, приводящие к снижению твердости, сдвигаются в область высоких температур (500...600 °С). Для получения высокой теплостойкости карбиды как можно полнее должны быть растворены в аустените (этим обеспечивается получение высоколегированного мартенсита). Для

¹ В связи с дефицитностью W разработаны также быстрорежущие стали с малым его содержанием (РЗМЗФЗ) и даже безвольфрамовые (Р0М5Ф1, Р0М3Ф2).

этого необходима высокая температура нагрева стали под закалку. Сильное легирование быстрорежущих сталей приводит к тому, что температура окончания мартенситного превращения лежит ниже комнатной (см. работу 6). Поэтому в закаленной стали сохраняется до $\approx 30\%$ остаточного аустенита, снижающего режущие свойства инструмента. Для его уничтожения применяют трехкратный отпуск при $t \approx 560^\circ\text{C}$. При этом аустенит превращается в мартенсит, кроме того, выделяются дисперсные вторичные карбиды, что на несколько единиц ($1...3 \text{ HRC}_3$) повышает твердость закаленной стали. Структура стали после такой термообработки: мартенсит, дисперсные вторичные и относительно крупные первичные карбиды.

Твердые сплавы - это металлокерамические материалы на основе высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама, титана, тантала. Они изготавливаются методом порошковой металлургии. Порошки карбидов смешивают с порошком кобальта, выполняющим роль связки, прессуют и спекают при $1400...1550^\circ\text{C}$. Таким образом изготавливают режущие пластинки, которыми оснащают резцы, фрезы, сверла и другие инструменты. Структура таких материалов на $80-95\%$ состоит из карбидных частиц, обеспечивающих высокую твердость $\text{HRA } 85...92$ ($\text{HRC}_3, 67...76$) и теплостойкость ($t_{58} \approx 800...1000^\circ\text{C}$) инструмента.

По ГОСТ 3882-74 выпускают твердые сплавы трех групп:

- 1) вольфрамовые (ВК3, ВК6, ..., ВК25);
- 2) титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, ..., Т5К12);
- 3) титанотанталовольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ..., ТТ20К9).

В группе ВК цифры показывают содержание кобальта в процентах, остальное карбид вольфрама WC . В группе ТК цифры после букв Т и К - содержание карбида титана TiC и Co соответственно, остальное WC . В группе ТТК цифры после букв ТТ и К - содержание карбидов титана и тантала в сумме ($\text{TiC}+\text{TaC}$) и Co соответственно, остальное WC . Например, ВК6 – 6 % Co , 94 % WC ; Т30К4 – 30% TiC , 4% Co , 66 % WC ; ТТ7К12 – 7 % ($\text{TiC}+\text{TaC}$), 12 % Co , 81 % WC .

Таблица 8.1

Химический состав, режимы термической обработки и твердость
некоторых инструментальных сталей

Марка стали	Содержание элементов, % по массе						Температура, °С		Тверд. HRC ₃
	С	Cr	Si	W	Mo	Другие эл-ты	закалки	отпуска	
НИЗКОЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ (ГОСТ 5950-2000)									
Х	0,95...1,0	1,3...1,65	0,15...0,35	—	—	0,15...0,4Мп	840...860	150...160	62...64
9ХС	0,85...0,95	0,95...1,25	1,2...1,6	—	—	0,3...0,6Мп	840...860	140...180	63...64
ХВГ	0,9...1,05	0,9...1,2	—	1,2...1,6	—	0,8...1,1Мп	830...850	140...170	63...64
ХВСГ	0,95...1,05	0,6...1,1	0,65...1,0	0,5...0,8	—	0,6...0,9Мп	840...860	140...160	62...64
ХВ4	1,25...1,45	0,4...0,7	—	3,5...4,3	—	0,15...0,3V	800...820	120...160	64...65
БЫСТРОРЕЖУЩИЕ СТАЛИ (ГОСТ 19265-73)									
P18	0,7...0,8	3,8...4,4	—	17...18,5	1	1,0...1,4V	1270...1290	550...570	63...65
P19	0,85...0,95	3,8...4,4	—	8,5...10	1	2,0...2,6V	1220...1240	550...570	63...65
P6M5	0,8...0,88	3,8...4,4	—	5,5...6,5	5...5,5	1,7...2,1V	1210...1230	540...560	63...65

Твердые сплавы применяются для высокоскоростного резания сталей, а также черновой и чистовой обработки труднообрабатываемых материалов (чугуна, жаропрочных сталей и сплавов, керамики).

III. Порядок выполнения работы

1. Выбрать режимы закалки и отпуска и произвести термическую обработку образцов углеродистой (У10) и низколегированной инструментальной стали (ХВГ).

2. Измерить твердость термически обработанных образцов сталей У10, ХВГ, а также быстрорежущей стали (Р6М5) и твердого сплава. При измерении твердости твердого сплава используется шкала А (HRA; вдавливание алмазного конуса с нагрузкой 600 Н (60 кгс)).

3. Выдержать образцы исследуемых материалов при температурах 250, 400, 550 и 700 °С в течение 30 мин. Измерить твердость образцов после выдержки при каждой температуре. Результаты измерений занести в таблицу.

4. Построить график зависимости твердости инструментальных материалов от температуры нагрева. Оценить теплостойкость исследуемых сплавов по уровню твердости HRC₃, 58.

5. Изучить и зарисовать микроструктуры исследуемых материалов, написать объяснение полученных зависимостей.

IV. Содержание отчета

1. Теплостойкость, критерий ее оценки. Классификация материалов для режущего инструмента по теплостойкости.

2. Режимы термической обработки инструментальных сталей различных групп (У10, ХВГ, Р6М5).

3. Таблица результатов измерений твердости образцов сталей У10, ХВГ, Р6М5 и твердого сплава в исходном состоянии (соответствующем готовому инструменту) и после получасовой выдержки при температурах 250, 400, 550 и 700°С.

4. График изменения твердости инструментальных материалов в зависимости от температуры нагрева (использовать Microsoft Excel). Результаты оценки теплостойкости исследуемых материалов.

5. Объяснение полученных данных и микроструктуры исследуемых материалов.

Литература: [1], с. 349...357, 364...366; [2], с. 609...621, или [3], с. 320...331, или [4], с. 358...367, 379...382.

Работа 9

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

I. Цель работы

Изучение структуры и свойств различных групп алюминиевых сплавов и процессов их термической обработки.

II. Теоретическое обоснование

Алюминий из-за невысокой прочности ($\sigma_B \leq 140$ МПа даже в наклепанном состоянии) как конструкционный материал практически не используется. Сплавы на основе алюминия, сохраняя присущие ему достоинства (низкая плотность, 2700 кг/м^3 ($2,7 \text{ г/см}^3$), высокая коррозионная стойкость), обладают достаточно высокой прочностью (после термической обработки) и хорошими технологическими свойствами: способностью свариваться, подвергаться различным видам механической обработки; литейными и т.п. Это обусловило выдвигание алюминиевых сплавов на второе место после стали по объему производства.

Алюминиевые сплавы **классифицируются** по двум признакам: по технологическим свойствам, определяющим способ изготовления полуфабрикатов и деталей; по способности эффективно упрочняться в результате термической обработки.

По первому признаку алюминиевые сплавы подразделяются на **деформируемые** и **литейные**. Из деформируемых сплавов методами холодной и горячей пластической деформации получают полуфабрикаты в виде листов, профилей, прутков и т.п. Литейные сплавы предназначены для отливки деталей.

Деформируемые и литейные алюминиевые сплавы по их способности уп-

рочняться в результате термической обработки классифицируются на **упрочняемые** и **не упрочняемые термической обработкой**.

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой, легируют медью, магнием, марганцем, цинком, литием. Эти элементы образуют с алюминием твердые растворы (α) с ограниченной растворимостью и промежуточные фазы, например CuAl_2 , Mg_2Al_3 , MnAl_6 , Al_3Li .

Характерной особенностью α -твердого раствора на основе алюминия является значительное увеличение растворимости легирующих элементов с повышением температуры (например, в системе Al-Cu максимальная растворимость меди в алюминии возрастает почти в 30 раз при нагреве в интервале 20...548 °С - см. рис. 9.1).

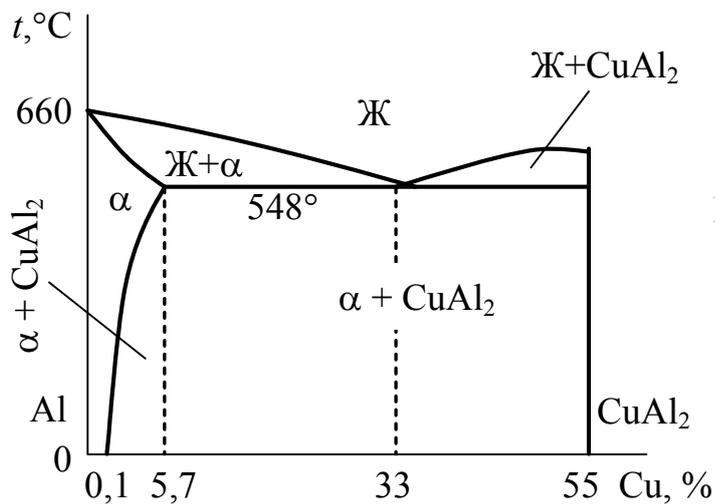


Рис. 9.1. Диаграмма состояния алюминий-медь

Содержание легирующих элементов в сплавах данной группы приближается к составу, отвечающему предельной растворимости в α -растворе, но не превосходит его, т.е. структура этих сплавов в равновесном состоянии: α -твердый раствор с включениями соответствующих промежуточных вторичных фаз. Это, с одной стороны, обеспечивает сохранение деформируемости сплава, так как его основа - пластичный α -раствор, с другой - создает возможность эффективного упрочнения термической обработкой.

Основы теории термической обработки алюминиевых сплавов могут быть рассмотрены на примере **дуралюминов** - сплавов системы Al-Cu-Mg. Эти сплавы содержат около 4...5 % Cu, поэтому согласно диаграмме Al-Cu (рис. 9.1) их

структура в равновесном состоянии: α -твердый раствор с включениями промежуточной фазы CuAl_2 , называемой θ -фазой.

Упрочняющая термическая обработка состоит из двух этапов: закалки и старения.

Для закалки сплав нагревается выше линии предельной растворимости, так что θ -фаза полностью растворяется.

Быстрое охлаждение до комнатной температуры фиксирует однофазную структуру пересыщенного медью α -раствора. Прочность при этом изменяется мало (сравните с закалкой стали, работа б). Существенное увеличение прочности происходит в результате старения - процессов, протекающих при длительной выдержке неравновесного, закаленного сплава при комнатной или повышенной температуре. В зависимости от природы сплава и режима старения структура сплава в той или иной мере приближается к равновесному ($\alpha + \theta$) состоянию.

Длительная выдержка закаленного сплава при комнатной температуре (“естественное старение”) не приводит к образованию θ -фазы. В отдельных плоскостях решетки α -раствора начинают скапливаться атомы меди, однако их концентрация еще не достигает той, которая необходима для образования зародышей θ -фазы (55,4 % Cu). Из-за разницы атомных радиусов меди (0,128 нм) и алюминия (0,143 нм) решетка α -раствора в местах скопления меди сильно искажается. Эти области искажений называются **зонами Гинье-Престона** или зонами ГП. Являясь искажениями решетки, зоны ГП препятствуют скольжению дислокаций и эффективно упрочняют сплав (рис. 9.2).

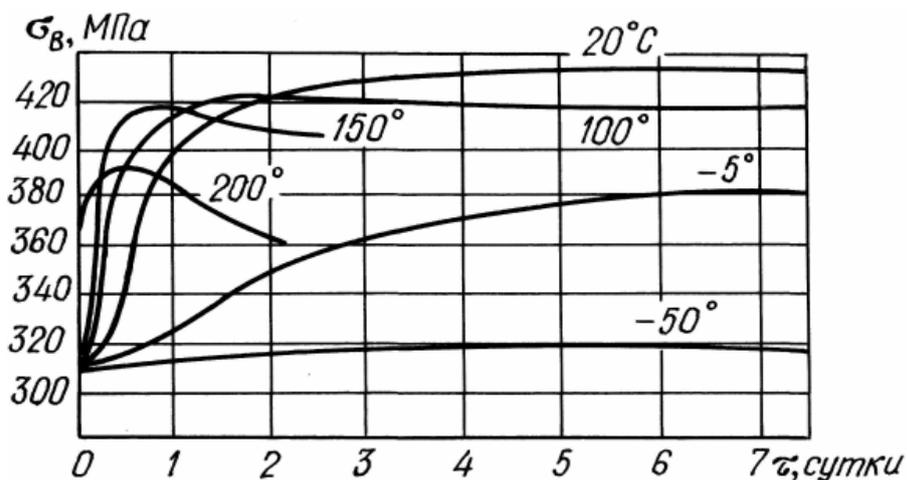


Рис. 9.2. Зависимость прочности дуралюмина от режима старения

В результате “искусственного старения” при 100...150 °С в местах скопления меди в α -растворе образуются метастабильные θ' - и θ'' - фазы, отличающиеся от равновесной θ -фазы типом решетки. Решетка метастабильной фазы еще не отделена от решетки α -раствора (когерентная связь), а так как параметры этих решеток различны, то в местах образования θ' - и θ'' - фаз решетка α -раствора искажается. Степень искажения, однако, меньше, чем в случае образования зон ГП, поэтому меньше и эффект упрочнения (рис. 9.2).

Еще меньше величина упрочнения при старении в интервале 200...250 °С. При этих температурах образуется равновесная θ -фаза, ее решетка полностью отделена от решетки α -раствора. В результате снимаются искажения решетки α -раствора и понижается степень упрочнения; на этом этапе оно обусловлено торможением дислокаций мелкодисперсными выделениями θ -фазы. Из рис. 9.2 видно, что длительная выдержка при 200...250 °С, приводящая к коагуляции упрочняющих частиц θ -фазы, вызывает уменьшение прочности (“перестаривание”).

Промышленные **деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой**, - это главным образом дуралюмины - сплавы системы Al-Cu-Mg. Кроме того, в них вводится марганец для повышения коррозионной стойкости.

В табл. 9.1 приведены состав и свойства наиболее распространенных дуралюминов, а также относящихся к этой группе высокопрочных (В95, ВАД23), ковочных (АК8) и жаропрочных (АК4) сплавов. Отличительной чертой сплавов этой группы является высокая **удельная прочность** (отношение прочности к плотности сплава), обусловившая их широкое применение в авиации, транспортном машиностроении и приборостроении.

Деформируемые сплавы, **не упрочняемые термической обработкой**, в равновесном состоянии имеют структуру α -твердого раствора, либо α -раствора, с включениями промежуточных фаз. При двухфазной структуре упрочнение термической обработкой, в принципе, возможно (если промежуточные фазы раствори

Таблица 9.1

Химический состав и механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой (ГОСТ 4784-97)

Марка сплава	Химический состав, % (остальное Al)				d, г/см ³	Упрочняющая термообработка	σ_B , МПа	δ , %
	Cu	Mg	Mn	Другие элементы				
Д16	3,8...4,9	1,2...1,8	0,3...0,9	Fe 0,5; Si 0,5	2,8	Закалка 500 °С, старение 20 °С, 96 часов	470(220)	17(18)
Д18	2,2...3,0	0,2...0,5	0,2	Fe 0,5; Si 0,5	2,76	То же	300(160)	24(24)
01420	—	5,0...6,0	0,3	Li 1,9...2,3 Zr 0,09...0,15	2,5	Закалка 500 °С, старение 170 °С, 10...12 ч	450	4...5
В95	1,4...2,0	1,8...2,8	0,2...0,6	Zn 5,0...7,0 Cr 0,1...0,25	2,85	Закалка 470 °С, старение 130 °С, 16...24 ч	500...580	7...5
ВАД23	4,8...5,8	—	0,4...0,8	Li 0,9...1,4 Cd 0,1...0,25	2,72	Закалка 520 °С, старение 170 °С, 10...12 ч	550...580	4
АК8	3,9...4,8	0,4...0,8	0,4...1,0	Si 0,6...1,2	2,8	Закалка 500 °С, старение 160 °С, 6...15 ч	450...460	10
АК4-1	1,9...2,7	1,2...1,8	—	Fe 0,8...1,4 Ni 0,8...1,4; Si 0,35	2,8	Закалка 530 °С, старение 190 °С, 10 часов	430	13

Примечание. В скобках указаны значения σ_B и δ дуралюминов в отожженном состоянии.

мы в α -растворе), однако его эффект мал из-за небольшого количества упрочняющей фазы. Поэтому сплавы данной группы упрочняющей термообработке не подвергаются, их можно упрочнять пластической деформацией (см. работу 3).

К этой группе относятся сплавы системы Al-Mn (маркируются АМц) и Al-Mg (АМг), они имеют невысокую прочность, легко обрабатываются, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Состав и свойства сплавов этой группы приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Химический состав и механические свойства алюминиевых сплавов,
не упрочняемых термической обработкой (ГОСТ 4784-97)

М а р к а с п л а в а	Химический состав, % (остальное Al)		$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Mn	Mg		
АМц	1,0...1,6	—	130(220)	25(23)
АМг2	0,6...0,6	1,8...2,8	200	23
АМг6	0,5...0,8	5,8...6,8	300	18

Примечание. Свойства приведены для отожженного состояния, в скобках - в нагартованном состоянии.

Литейные алюминиевые сплавы различны по химическому составу и структуре. Наилучшими по литейным свойствам (жидкотекучесть, плотность отливок) являются сплавы, состав которых приближается к эвтектическому. К таким сплавам относятся силумины (система Al-Si), диаграмма состояния которых показана на рис. 9.3. Промышленные сплавы содержат 10...13 % Si. Эвтектика (α +Si) имеет грубое игольчатое строение (за счет кристаллов Si); помимо эвтектики в структуре обычно имеются избыточные первичные кристаллы Si. Сплавы с такой структурой характеризуются низкой пластичностью. В связи с этим **силумины подвергают модифицированию** (обычно введением в расплав солей натрия), в результате чего температура эвтектического превращения понижается (штриховая линия на рис. 9.3) и сплав становится доэвтектическим.

Вместо твердых и хрупких избыточных кристаллов кремния в его структуре появляются пластичные включения α -раствора (почти чистый Al), а эвтектика становится более дисперсной. Вследствие этого повышается прочность, пластичность возрастает почти в 3 раза.

Литейные алюминиевые сплавы могут упрочняться термической обработкой (закалка и искусственное старение, обычно 8...10 часов при 180 °С), однако эффект упрочнения гораздо ниже, чем в дуралюминах.

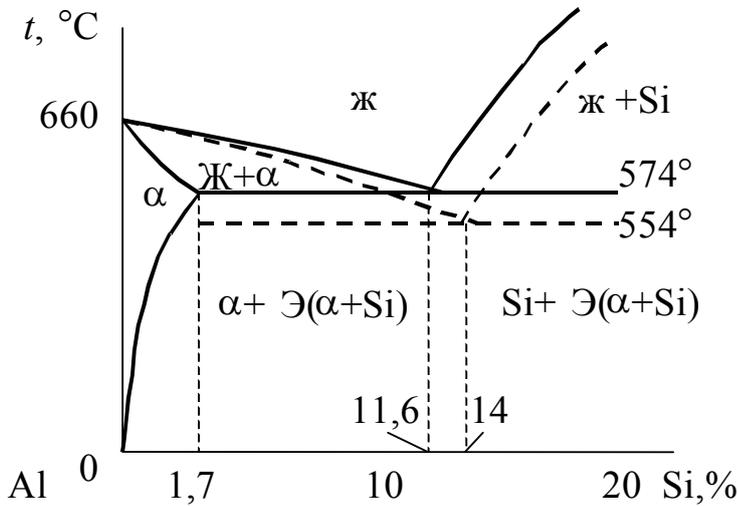


Рис. 9.3. Диаграмма состояния алюминий – кремний (штриховые линии - после модифицирования)

Кроме силуминов применяются сплавы систем Al-Cu, Al-Mg; они имеют более высокие прочностные свойства, чем силумины, но их литейные свойства ниже (это видно из соответствующих диаграмм состояния).

Литейные алюминиевые сплавы имеют малую плотность и применяются для изготовления фасонных отливок. Состав и свойства некоторых сплавов этой группы приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Химический состав и механические свойства литейных алюминиевых сплавов (ГОСТ 1583-93)

Марка сплава	Химический состав, % (остальное Al)				Вид термо-обработки	σ_B , МПа	δ , %
	Mg	Si	Mn	Cu			
АК12 (АЛ2)	—	10...13	—	—	Т2	130	2
	м о д и ф и ц и р о в а н н ы й					180	6
АК9 (АЛ4)	0,17...0,3	8...10,5	0,25...0,5	—	Т6	260	4
АМ4,5 (АЛ7)	—	—	—	4...5	Т5	260	3
АМГ10 (АЛ8)	9,5...11,5	—	—	—	Т5	350	10

Примечания. Т2 - отжиг (300 °С в течение 5...10 часов); Т5 - закалка и кратковременное старение (150...175 °С в течение 2...3 час); Т6 - закалка и полное искусственное старение (200 °С в течение 3...5 часов). В скобках - маркировка по ГОСТ 1583-89Е.

III. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципами классификации алюминиевых сплавов.
2. Получить у преподавателя образец отожженного дуралюмина. Измерить твердость на приборе Роквелла (HRB). Закалить образец с температуры 500 °С в воде, произвести измерение твердости (HRB).
3. Подвергнуть закаленный образец искусственному старению при $t=100$ °С. Измерить твердость через 1, 2, 5, 10, и 20 мин (охлаждая образец до комнатной температуры в воде).
4. Получить у преподавателя микрошлифы сплавов Д16 и В95 в различных состояниях, изучить их структуры, зарисовать, обозначить структурные составляющие.
5. Получить у преподавателя микрошлифы немодифицированного и модифицированного сплавов АЛ2. Изучить структуры, зарисовать.

IV. Содержание отчета

1. Классификация алюминиевых сплавов.
2. Диаграмма состояния Al-Cu. Процессы, происходящие на отдельных этапах термической обработки дуралюмина. Кривые старения дуралюмина (рис. 9.2).
3. Данные измерения твердости дуралюмина в зависимости от режима термической обработки в виде таблицы. Структура дуралюмина в исходном и закаленном состояниях.
4. Химический состав, свойства и области применения нескольких деформируемых сплавов, упрочняемых и не упрочняемых термической обработкой.
5. Диаграмма состояния Al-Si, краткое описание процесса модифицирования силуминов; структуры силумина до и после модифицирования.
6. Химический состав, свойства и области применения некоторых литейных алюминиевых сплавов.

Л и т е р а т у р а: [1], с.385...390, 392...401, или [2], с.358...372, или [3], с.478...490,

или [4], с.490...502.

Работа 10

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

I. Цель работы

Изучение связи между диаграммами состояния, структурой и свойствами сплавов на основе меди.

II. Теоретическое обоснование

Медь относится к цветным металлам с высокой плотностью – 8940 кг/м^3 ($8,94 \text{ г/см}^3$). Характерной особенностью меди является ее высокая электропроводность, поэтому техническая медь используется главным образом для изготовления проводников электрического тока.

В качестве материалов конструкционного и специального назначения широкое распространение имеют **сплавы на основе меди - латуни и бронзы**.

ЛАТУНИ

Латунями называют сплавы меди с цинком. Кроме Zn часто вводятся дополнительные легирующие элементы. Соответственно различают двухкомпонентные, или двойные, простые латуни (система Cu-Zn) и многокомпонентные, **сложные латуни** (система Cu-Zn - легирующие элементы).

По структуре промышленные латуни делятся на **однофазные**, или α -латуни, и **двухфазные** - $(\alpha+\beta)$ - латуни¹, а по технологическим свойствам - на **обрабатываемые давлением** (деформируемые) и **литейные**. Эта классификация основана на изменении структуры и свойств латуней в зависимости от содержания Zn (рис. 10.1).

Твердый раствор Zn (и других легирующих элементов) в Cu (α) обладает высокой пластичностью, фаза β -интерметаллическое соединение CuZn - повышенной твердостью и хрупкостью. Соответственно характерным свойством α -латуней (содержание Zn до 39 %) является исключительно высокая пластич-

¹В литом состоянии α -латуни имеют дендритную структуру - светлые дендриты, обогащенные медью, на темном фоне междендритных областей. После деформации и отжига α -латуни имеют зернистую структуру химически однородного α -раствора. Структура двухфазных $(\alpha+\beta)$ -латуней состоит из светлых зерен α -раствора и темных зерен β -фазы.

ность (относительное удлинение δ достигает 65 %); $(\alpha+\beta)$ -латуни ($39 < Zn < 45$ %) более прочны и тверды, но менее пластичны. Однофазные латуни с β -структурой ($Zn > 45$ %) имеют низкий комплекс механических свойств и практического применения не получили.

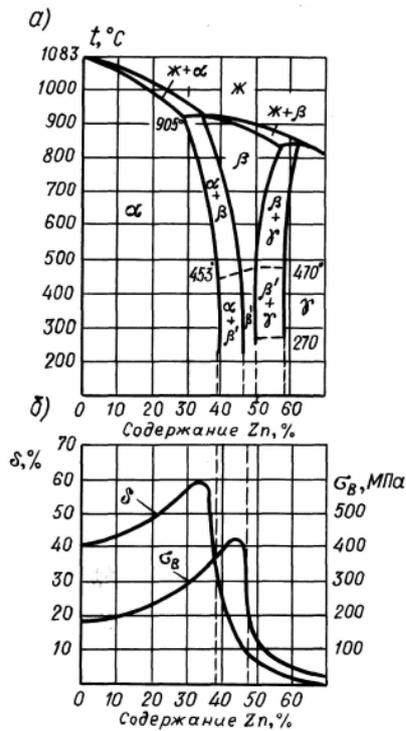


Рис. 10.1. Диаграмма состояния Cu-Zn(a); зависимость механических свойств латуней от содержания Zn (б)

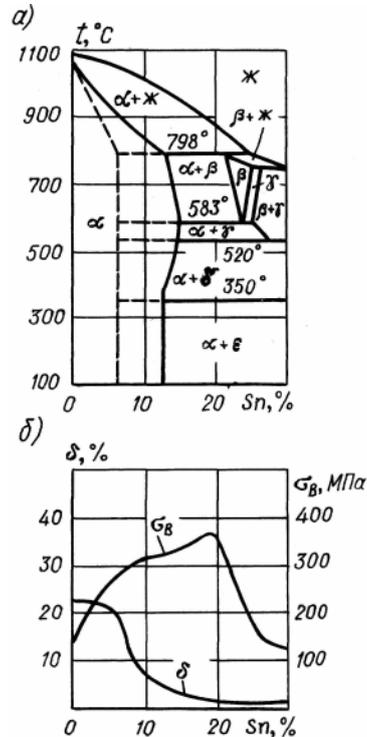


Рис.10.2. Диаграмма состояния Cu-Sn (a); зависимость механических свойств оловянных бронз от содержания Sn (б)

Латуни с высокой пластичностью, т.е. преимущественно α -латуни, относятся к группе обрабатываемых давлением (деформируемых). Они выпускаются в основном в виде холоднокатаного полуфабриката (листы, ленты, проволока), детали из которого изготавливают методами холодной пластической деформации, например глубокой вытяжкой (трубы, сильфоны, гильзы).

По сравнению с обрабатываемыми давлением литейные латуни содержат, как правило, большее количество Zn и дополнительные легирующие элементы, улучшающие литейные свойства.

Большинство легирующих элементов повышает прочность и снижает пластичность латуней; Sn, Ni, Al, кроме того, улучшают антикоррозионные свойства, Pb облегчает обрабатываемость резанием.

Принцип маркировки обрабатываемых давлением (ГОСТ 15527-2000) и литых (ГОСТ 17711-93) латуней различен, что видно из табл. 10.1.

Таблица 10.1

Химический состав и механические свойства латуней

Марка латуни	Химический состав, % по массе			$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Cu	Другие элементы	Среднее содерж. Zn		
ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ ДАВЛЕНИЕМ					
Л 90	88...91	—	10	260(480)	45(4)
Л 68	67...70	—	32	320(660)	55(3)
ЛО70-1	69...71	1,0...1,5 Sn	29	350(700)	60(3)
ЛС59-1	57...60	0,8...1,9 Pb	40	400(550)	45(5)
ЛЖМц59-1-1	57...60	0,6...1,2 Fe, 0,5...0,8 Mn	39	450(700)	50(6)
ЛИТЕЙНЫЕ					
ЛЦ40С	57...61	0,8...2,0 Pb, 3,0...4,0 Mn	40	215	12
ЛЦ40МцЗЖ	53...58	0,5...1,5 Fe, 1,5...2,5 Mn	40	500	10
ЛЦ38Мц2С2	57...60	1,5...2,5 Pb	38	350	8

Большинство латуней не упрочняется термической обработкой, но их прочность может быть значительно повышена в результате холодной пластической деформации (явление наклепа, см. работу 3). Особенно эффективно упрочняются наиболее пластичные однофазные α -латуни. В табл. 10.1 механические свойства обрабатываемых давлением латуней приведены для сравнения в отожженном и деформированном (данные в скобках при степени деформации 50 %) состояниях. Видно, что в ряде случаев прочность в результате деформации возрастает в 2 раза.

БРОНЗЫ

Бронзы - сплавы меди с различными элементами кроме цинка. В некоторых бронзах может содержаться и цинк, но, в отличие от латуней, не в качестве основного компонента. По основным легирующим элементам различают **оловянные** и **безоловянные** (алюминиевые, кремниевые, бериллиевые и другие) бронзы.

Так же, как и Zn, в латунях, легирующие элементы в бронзах образуют с Cu твердые растворы с ограниченной растворимостью и промежуточные интерметаллические соединения, обладающие высокой твердостью и хрупкостью.

В связи с этим характер изменения структуры и свойств бронз в зависимости от их состава во многом напоминает закономерности, рассмотренные выше для латуней. Соответственно бронзы, как и латуни, могут иметь **однофазную** (α) и **двухфазную структуру** и по технологическим свойствам подразделяются на **обрабатываемые давлением** и **литейные**. Рассмотрим это на примере оловянных бронз – система Cu-Sn, рис. 10.2, а.

Фаза α -твердый раствор Sn в Cu, β -интерметаллическое соединение Cu_5Sn , δ - $Cu_{31}Sn_8$. При обычных скоростях охлаждения кристаллизация оловянных бронз происходит по неравновесной диаграмме (штриховые линии на рис. 10.2, а). В результате область α -раствора сужается, и на практике бронзы, содержащие 5...6 % Sn, имеют в структуре эвтектоид ($\alpha+\delta$), т.е. двухфазную структуру.

В литом состоянии структура бронз имеет дендритное строение: в однофазных бронзах (менее 5...6 % Sn) темные дендриты, обогащенные медью, окружены светлыми (повышенное содержание Sn) междендритными участками; в бронзах, содержащих более 5...6 % Sn, в структуре появляются также темные включения эвтектоида.

Длительным гомогенизирующим отжигом (700...750 °C) в бронзах, содержащих менее 14 % Sn, можно получить однофазную структуру однородного α -раствора.

Применяемые на практике оловянные бронзы содержат обычно не более 10% Sn и легирующие элементы (Zn, P, Ni, Fe), вводимые для улучшения технологических свойств и замены дефицитного олова. Бронзы, содержащие относительно небольшое количество Sn и легирующих элементов, имеют однофазную α -структуру и обладают высокой пластичностью (рис. 10.2, б). Они относятся к группе деформируемых бронз (например, БрОЦ4-3, БрОФ6,5-0,15)¹, из которых

¹ Буквы после обозначения “Бр” указывают легирующие элементы, а цифры - их процентное содержание.

полуфабрикаты изготавливают в виде лент, полос, проволоки, трубок и т.п.

Бронзы с большим содержанием легирующих элементов являются двухфазными, имеют низкую пластичность и относятся к группе литейных (например, БрО5Ц5С5, БрО3Ц7С5Н1). Особенностью литейных свойств бронз является отсутствие концентрированной усадочной раковины в отличие от латуней, в связи с чем оловянные бронзы имеют малую усадку и применяются для сложных художественных отливок.

Наряду с оловянными широкое распространение получили другие бронзы. Например, хорошим заменителем дефицитной оловянной бронзы являются алюминиевые бронзы, которые также могут иметь однофазную (БрА5, БрА7) или двухфазную (БрА10Мц2Л, БрА10Ж3Мц2) структуру. Однофазные алюминиевые бронзы являются деформируемыми, двухфазные с большим содержанием алюминия и легирующих элементов - литейными сплавами. Алюминиевые бронзы имеют высокие механические и антикоррозионные свойства и применяются для изготовления шестерен, червячных передач, различных втулок.

В качестве материала для пружинных электрических контактов ответственного назначения широкое распространение получила бериллиевая бронза (БрБ2), см. диаграмму состояния Cu-Be, рис. 10.3.

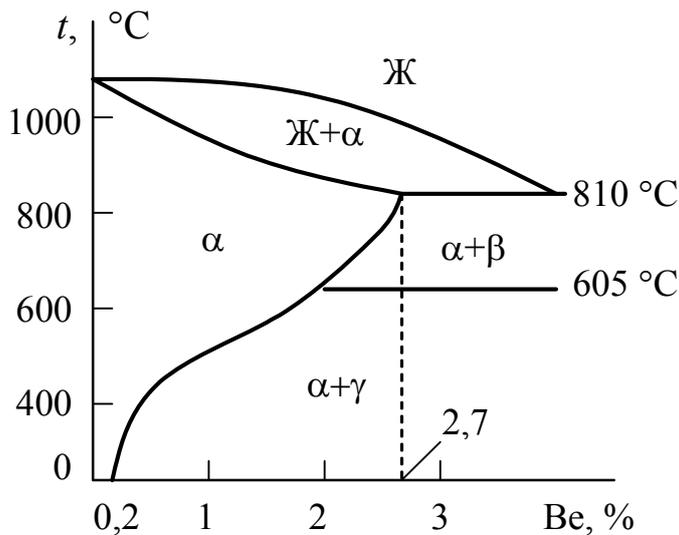


Рис. 10.3 Диаграмма состояния медь-бериллий

Бериллиевая бронза в равновесном состоянии имеет двухфазную структуру $\alpha + \gamma$, где α - твердый раствор Be в Cu, а γ - интерметаллическое соединение CuBe.

Наличие переменной растворимости Ве в решетке Си дает возможность эффективно упрочнять бериллиевую бронзу закалкой с последующим старением (сравни с диаграммой Al-Cu и термообработкой алюминиевых сплавов, работа 9). Закалка с 800 °С фиксирует структуру пересыщенного α -раствора с высокой пластичностью ($\delta=30\text{...}40\%$), но относительно малой прочностью ($\sigma_{\text{в}}\approx 450$ МПа). Старение в течение 2 часов при 320 °С повышает прочность сплава в результате процесса “дисперсионного твердения” (см. работу 9) до 1200 МПа, пластичность при этом снижается до $\delta\approx 4\%$.

Бериллиевые бронзы (БрБ2; БрБНТ1,7; БрБНТ1,9) обладают высокими механическими и антикоррозионными свойствами, имеют большую электропроводность, немагнитны, не искрят при ударе.

В табл. 10.2 приведены химический состав и механические свойства некоторых оловянных и безоловянных бронз. Как и в случае латуней, следует обратить внимание на различный принцип маркировки обрабатываемых давлением литейных бронз.

Видно, что обрабатываемые давлением (деформируемые) бронзы, как и латуни аналогичной группы, эффективно упрочняются в результате холодной пластической деформации (в табл. 10.2 в скобках указаны механические свойства при 50 % деформации).

III. Порядок выполнения работы

1. Получить комплект микрошлифов латуней и бронз различных марок в литом и отожженном состояниях. Изучить микроструктуры сплавов, зарисовать их. Установить связь между химическим составом (марками) сплавов, их структурой и механическими свойствами (сопоставить данные микроскопического анализа с соответствующими диаграммами состояния и зависимостями свойств от химического состава сплавов; начертить рис. 10.1).

2. Произвести упрочняющую термическую обработку образцов бериллиевой бронзы. Измерить твердость в исходном (отожженном) и закаленном состояниях, а также после старения. Результаты оформить в виде таблицы. Нарисовать диаграмму состояния Си-Ве (рис. 10.3) и написать о структурных превращениях,

приводящих к изменениям твердости при термической обработке бериллиевой бронзы.

3. Ознакомиться с принципами маркировки сплавов на основе меди и выписать в качестве примера несколько марок латуней и бронз различных групп.

IV. Содержание отчета

1. Классификация сплавов на основе меди. Диаграмма состояния Cu-Zn (до 50 % Zn), график изменения механических свойств латуней в зависимости от содержания Zn.

2. Микроструктуры изучаемых латуней с указанием структурных составляющих.

3. Примеры марок латуней различных групп (в соответствии с их классификацией), их химический состав и механические свойства.

4. Микроструктуры изучаемых бронз с указанием структурных составляющих.

5. Примеры марок бронз различных групп, их химический состав и механические свойства.

6. Таблица результатов термической обработки образцов бериллиевой бронзы.

7. Объяснение причины повышения твердости в результате термической обработки (включающее рисунок диаграммы состояния Cu-Be).

Л и т е р а т у р а: [1], с. 408...417, или [2], с. 304...318, или [3], с. 505...516,

или [4], с. 512...522.

Таблица 10.2

Химический состав и механические свойства оловянных и безоловянных бронз

Марка бронзы	Химический состав, % по массе (остальное Cu)					$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
	Sn	Zn	Pb	P	Другие элементы		
О Л О В Я Н Н Ы Е							
Обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017-74)							
БрОЦ4-3	3,5...4,0	2,7...3,3	—	—	—	350 (550)	40 (4)
БрОФ6,5-0,15	6,0...7,0	—	—	0,1...0,25	—	400 (750)	65 (10)
БрОЦС4-4-2,5	3,0...5,0	3,0...5,0	1,5...3,5	—	—	330 (600)	40 (3)
Литейные (ГОСТ 613-79)							
БрОЗЦ12С5	2,0...3,5	8,0...15,0	3,0...6,0	—	—	206	5
БрО5Ц5С5	4,0...6,0	4,0...6,0	4,0...6,0	—	—	176	4
БрО10Ф1	9,0...11,0	—	—	0,4...1,1	—	245	3
Б Е З О Л О В Я Н Н Ы Е							
Обрабатываемые давлением (ГОСТ 18175-78)							
БрА5	—	—	—	—	Al 4,0...6,0	380 (750)	65 (5)
БрАМц9-2	—	—	—	—	Al 8...10; Mn 1,5...2,5	450 (700)	30 (4,5)
БрМц5	—	—	—	—	4,5...5,5 Mn	300 (550)	40 (2)
БрКд1	—	—	—	—	0,9...1,2 Cd	270 (500)	50 (4)
Литейные (ГОСТ 493-79)							
БрА10Мц2Л	—	—	—	—	Al 5,6...11,0; Mn 1,5...2,5	500	12
БрА11Ж6Н6	—	—	—	—	Al 10,5...11,5; Fe 5,0...6,5; Ni 5,0...6,5	600	2

Работа 11

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЛАВОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ

I. Цель работы

Изучение особенностей структуры и свойств металлических сплавов, применяемых для изготовления деталей подшипников качения и скольжения.

II. Теоретическое обоснование

В машиностроении широкое распространение имеют **подшипники качения и скольжения**, используемые в качестве опор валов и вращающихся осей. Срок службы подшипников в основном лимитируется износом трущихся поверхностей. **Износ** - результат изнашивания - процесса отделения частиц материала с поверхности тела при трении, сопровождающегося изменением размеров тела.

При трении контактирующих поверхностей между ними возникают механическое и адгезионное взаимодействия.

Механическое взаимодействие выражается в упругом и пластическом деформировании (и в ряде случаев микрорезании) микронеровностей поверхностей в местах их касания.

Пластическое деформирование микрообъемов поверхностного слоя внедрившимися неровностями приводит к их интенсивному упрочнению (наклепу, см. работу 3), потере пластичности и последующему хрупкому разрушению, т.е. к повышению интенсивности изнашивания. Еще большее ее возрастание наблюдается при микрорезании, которое возможно не только внедрившимися неровностями контактирующей поверхности, но и подвижными твердыми частицами (абразивное изнашивание). Повышение твердости материала затрудняет пластическую деформацию и микрорезание и, соответственно, увеличивает его износостойкость.

Адгезионное взаимодействие - это физико-химическое взаимодействие атомов контактирующих материалов, которое может приводить к прилипанию,

схватыванию (заеданию) трущихся поверхностей. Разрушение адгезионных связей вызывает интенсивный износ поверхностей (вырывание частиц из менее прочного материала). Снижение прочности адгезионных связей предотвращает схватывание и, следовательно, повышает износостойкость. Стойкость к схватыванию возрастает с увеличением твердости материалов, но наиболее эффективный путь - это разделение трущихся поверхностей смазкой.

Таким образом, основными путями повышения износостойкости являются увеличение твердости изнашиваемого материала и снижение прочности адгезионной связи контактирующих поверхностей.

При работе подшипников качения возникают значительные переменные (циклические) напряжения в зоне контакта шариков или роликов с беговыми дорожками колец. Эти напряжения вызывают местную пластическую деформацию, обуславливают процессы зарождения в поверхностном слое усталостных микротрещин и, как результат, отделение частиц с образованием ямок выкрашивания. В связи с этим материалы для подшипников качения должны обладать высокой контактной выносливостью - сопротивлением поверхностному усталостному выкрашиванию.

Повышение контактной выносливости основано на увеличении сопротивления поверхностных слоев тел качения развитию пластической деформации. Это может быть достигнуто только при высокой твердости поверхности. Поэтому основными материалами для подшипников качения являются закаленные и низкоотпущенные высокоуглеродистые стали с твердостью HRC₃ 60...64. Это **низколегированные хромистые шарикоподшипниковые стали**, содержащие около 1% углерода (ГОСТ 801-78) - табл. 11.1.

Основная цель легирования этих сталей хромом, а также Mn и Si – это повышение прокаливаемости (см. работу 7). Чем больше степень легирования, тем больше критический диаметр закаливаемых деталей (см. табл. 11.1), тем более крупный подшипник может быть изготовлен из данной стали. Так, шарики и ролики диаметром более 30 мм и кольца с толщиной стенки более 15 мм рекомендуется изготавливать из стали ШХ15ГС (ШХ20ГС).

Таблица 11.1

Химический состав шарикоподшипниковых сталей
и критический диаметр ($D_{кр}$) тел качения

Марка стали	Содержание основных элементов, % по массе				$D_{кр}$, мм
	C	Cr	Mn	Si	
ШХ6	1,05...1,15	0,4...0,7	0,20...0,40	0,17...0,37	9...10
ШХ9	1,05...1,10	0,9...1,2	0,20...0,40	0,17...0,37	14...15
ШХ15	0,95...1,05	1,3...1,65	0,20...0,40	0,17...0,37	23...25
ШХ15ГС	0,95...1,05	1,3...1,65	0,90...1,20	0,40...0,65	50...65

Примечание. $D_{кр}$ - максимальный диаметр шарика (ролика) со структурой 95% мартенсита, получаемой при закалке в масле.

Повышение прокаливаемости связано с уменьшением критической скорости заковки вследствие легирования (см. работу 7). В связи с этим шарикоподшипниковые стали закалывают в масле. Режим термической обработки и окончательная структура подобны заэвтектоидным инструментальным сталям (работы 6, 7). Это неполная закалка (830...850 °С) и низкий отпуск (150...170 °С), окончательная структура - мартенсит с равномерно распределенными вторичными карбидами¹.

Подшипник скольжения - это опора или направляющая, относительно рабочей поверхности которой перемещается (скользит) контртело (вал, ось). В таких парах трения из-за сильного трения и большой площади касания особенно велика опасность схватывания трущихся поверхностей, приводящего к их интенсивному износу. Выше отмечалось, что наиболее эффективным методом предотвращения схватывания является разделение трущихся поверхностей смазкой. Смазка во много раз снижает коэффициент трения и соответственно повышает износостойкость.

Поэтому материалы для втулок и вкладышей подшипников скольжения (**подшипниковые или антифрикционные материалы**) должны хорошо удерживать смазку на рабочей поверхности. В металлических подшипниковых

¹ При закалке наиболее легированных шарикоподшипниковых сталей возможно сохранение в структуре до 10...15 % остаточного аустенита (см. работу 7). Для его уничтожения применяют обработку холодом - охлаждение закаленной стали ниже температуры окончания мартенситного превращения (M_k): -70...-80 °С.

сплавах это обеспечивается неоднородной гетерогенной структурой, состоящей из мягких и твердых составляющих. Поверхность мягких составляющих легко истирается в начальный период работы (приработки) узла, в результате образуются микроскопические каналы, по которым циркулирует смазка и уносятся продукты износа. Несколько выступающие твердые составляющие играют роль опоры стального вала. Кроме того, в случае нарушения сплошности смазочного слоя (например из-за перегрева) материал мягких легкоплавких включений может “намазываться” на стальной вал, предохраняя его от повреждения.

Таким образом, указанная структурная особенность является важнейшим условием антифрикционности подшипниковых сплавов - их способности обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения при работе в паре со стальным валом.

Традиционными антифрикционными металлическими сплавами являются **серые чугуны, бронзы и баббиты**.

Мягкой составляющей антифрикционных чугунов является графит, твердой - перлитная или феррито-перлитная основа (см. работу 5). Применяются антифрикционные серые (АЧС-1, АЧС-2), высокопрочные (АЧВ-1, АЧВ-2) и ковкие (АЧК-1, АЧК-2) чугуны (ГОСТ 1585-85).

Чугуны - дешевые антифрикционные материалы, но из-за весьма высоких значений твердости и коэффициента трения в паре со сталью они чувствительны к недостаточности смазки и могут применяться только для работы при малых скоростях скольжения.

Хорошими антифрикционными свойствами обладают двухфазные **оловянные** (см. работу 10) и, особенно, **свинцовые бронзы**. Структура наиболее распространенной свинцовой бронзы БрС30 (30 % Pb, 70 % Cu) представляет собой смесь мягких кристаллов свинца и более твердых кристаллов меди. Эта бронза используется для вкладышей подшипников скольжения в виде тонкого слоя, наплавленного на стальную ленту. Такие подшипники работают при высоких давлениях и больших скоростях скольжения.

Наилучшими антифрикционными свойствами обладают **баббиты** (ГОСТ 1320-74) – легкоплавкие сплавы на оловянной или свинцовой основе. Например, химический состав оловянного баббита Б83: 83 % Sn, 11 % Sb, 6 % Cu; свинцового Б16: 16 % Sn, 16 % Sb, 2 % Cu, 66% Pb. Мягкой структурной составляющей этих сплавов являются твердые растворы легирующих элементов в олове или свинце, а твердыми включениями - кристаллы интерметаллических соединений различного состава. Баббиты применяются для заливки тонкостенных вкладышей подшипников скольжения. Невысокая температура плавления (около 400 °С) облегчает этот процесс. Используют баббиты для подшипников ответственного назначения (дизелей, паровых турбин, турбонасосов, автомобильных двигателей и т.п.), работающих при больших нагрузках и скоростях.

III. Порядок выполнения работы

1. Выбрать марку стали для изготовления деталей подшипника - шариков, роликов заданного (преподавателем) диаметра. Назначить режим термической обработки, произвести ее, измерить твердость образца выбранной стали.
2. Изучить микроструктуру образца шарикоподшипниковой стали в термически обработанном состоянии, зарисовать ее.
3. Изучить микроструктуры антифрикционных сплавов (серого чугуна, оловянного баббита, свинцовой бронзы), зарисовать, отметить роль различных структурных составляющих.

IV. Содержание отчета

1. Характер изнашивания рабочих поверхностей подшипников качения и основное требование, предъявляемое к материалам таких подшипников.
2. Краткая характеристика шарикоподшипниковых сталей. Химический состав, режим термической обработки, твердость и микроструктура стали, выбранной для изготовления тел качения заданного диаметра.
3. Основное требование, предъявляемое к подшипниковым (антифрикционным) сплавам, и особенность их структуры, обеспечивающая выполнение этого требования.

4. Микроструктуры типичных антифрикционных сплавов с указанием их химического состава и роли отдельных структурных составляющих.

Литература: [1], с. 104...108, 288...290, 417...421, или [2], с. 336, 337, 341...347, или [3], с. 313...314, 516...519, или [4], с. 351...353, 522...528.

Работа 12

МАТЕРИАЛЫ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ ПРУЖИН

I. Цель работы

Изучение характерных свойств материалов, применяемых для упругих элементов различного назначения.

II. Теоретическое обоснование

Любые **упругие элементы** (пружины, рессоры, мембраны) работают только в упругой области, т.е. действующие напряжения должны быть меньше **предела упругости** σ_y ($\sigma_{0,002}$ или $\sigma_{0,005}$), так как необратимая пластическая деформация не допускается. Поэтому необходимы материалы с высоким сопротивлением малым пластическим деформациям, т.е. с большими значениями пределов упругости и текучести ($\sigma_{0,2}$). Это главное и общее требование ко всем материалам упругих элементов.

Помимо предела упругости важным параметром таких материалов является **модуль упругости** (модуль Юнга) E , характеризующий жесткость материала, т.е. его сопротивление упругим деформациям. Модуль E - коэффициент пропорциональности в законе Гука $\sigma = E \cdot \varepsilon$, его величина характеризуется тангенсом угла наклона зависимости напряжения σ от деформации ε .

В зависимости от назначения упругого элемента величина его упругой деформации должна быть малой (силовые пружины, рессоры, амортизаторы) или большой (чувствительные элементы приборов, различные пружины, мембраны). Величина упругой деформации элемента зависит (помимо его конструктивных особенностей - формы, размеров, числа витков пружины) от действующей

шей нагрузки P или напряжения $\sigma = P/S$ (рис. 12.1, а) и жесткости материала E (рис. 12.1, б).

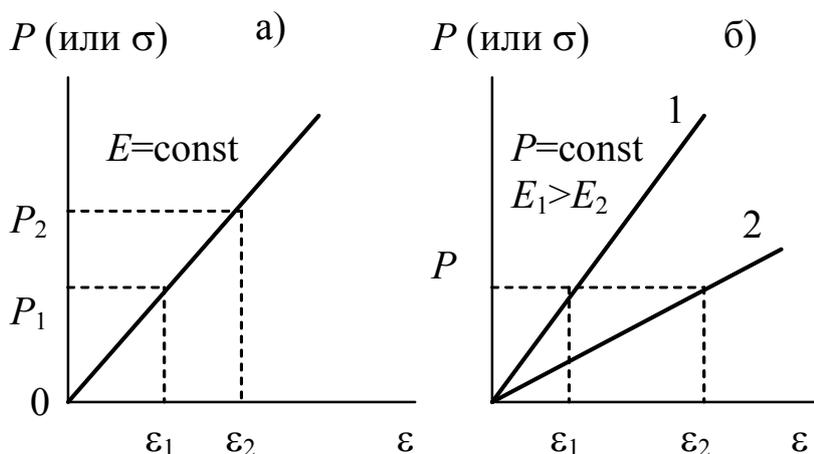


Рис. 12.1. Влияние действующей нагрузки P (а) и жесткости материала E (б) на величину упругой деформации ε

Поэтому для рессор, силовых пружин, растяжек, амортизаторов приборов нужны материалы с большой величиной E . Самыми распространенными среди них являются пружинные стали общего назначения (или **рессорно-пружинные стали**, ГОСТ 14959-79). Необходимые упругие свойства ($E \approx (2,0 \dots 2,2) \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_{0,005} \approx 1200 \dots 1600$ МПа) обеспечиваются повышенным содержанием углерода (0,5...0,7 %) и закалкой с последующим отпуском (400...500 °С) на структуру троостит - отпуска (HRC₃, 42...48).

Наиболее дешевы из них углеродистые и содержащие небольшое количество Mn стали: 65, 70, 75, 85, 60Г, 65Г, 70Г, применяемые для пружин малого сечения (из-за низкой прокаливаемости). Лучшими свойствами (более высокие показатели прокаливаемости, закаливаемости, теплостойкости) обладают кремнистые (55С2, 60С2, 70С3А) и сложнoleгированные стали (50ХГА, 50ХФА, 50ХГФА, 60С2Н2А).

Помимо указанного выше общего назначения пружинных сталей, они используются для заводных пружин приборов (часов, киноаппаратов, лентопротяжных механизмов), поскольку крутящий момент заводной пружины пропорционален величине E . Для этих же целей применяют **сплавы системы Fe-Ni-Cr** (ГОСТ 10994-74), например 36НХТЮ (по массе: 36 % Ni, 12 % Cr, 3 % Ti, 1 % Al, остальное Fe), и **Co-Cr-Ni**, например 40КХНМ (по массе: 40 % Co, 20 % Cr, 16 % Ni, 7 % Mo, остальное Fe) и 40КХНМВТЮ. Высокие упругие и проч-

ностные свойства этих сплавов достигаются путем закалки и последующего старения (“дисперсионно-твердеющие”, 36НХТЮ) или комплексной обработки: закалка+холодная пластическая деформация+старение (“деформационно-твердеющие”, 40КХНМ). Упругие свойства (σ_y , E) таких сплавов близки к свойствам легированных пружинных сталей, но они отличаются коррозионной стойкостью и немагнитностью.

В отличие от силовых пружин многие упругие элементы приборов должны обеспечивать значительные перемещения, т.е. большую упругую деформацию при небольших нагрузках. Материалы таких элементов должны обладать малой жесткостью, т.е. меньшей величиной E (см. рис. 12.1, б). Эти элементы имеют пологую линейную характеристику. Характеристика упругого элемента - это зависимость его деформации от приложенного усилия (или напряжения).

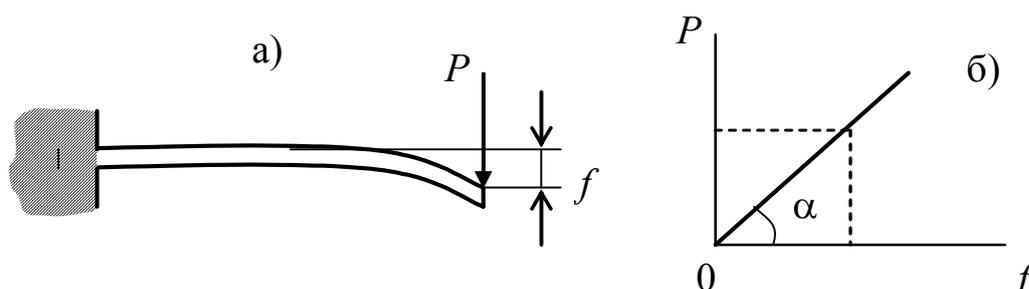


Рис. 12.2. Прогиб закрепленной консольно-плоской пружины (а) и ее характеристика (б)

Например, для плоской пружины (пластины реле, рис. 12.2, а) – это зависимость перемещения (f) ее свободного конца под действием усилия P :

$$f = m \frac{L^3}{bh} \cdot \frac{P}{E} = \tilde{n} \cdot P, \quad (12.1)$$

где L , b , h - длина, ширина и толщина пружины соответственно;

m - коэффициент, зависящий от формы пружины (для плоской прямоугольной пружины $m=4$, для плоской треугольной пружины с закрепленным основанием треугольника $m=6$).

Очевидно, что величина коэффициента пропорциональности (c) в этой зависимости определяется углом наклона характеристики α (рис. 12.2, б), а именно $c=1/\operatorname{tg}\alpha$.

Упругий элемент с пологой характеристикой имеет высокую чувствительность, так как обеспечивает значительную упругую деформацию при минимальной нагрузке. Материалы таких элементов должны обладать меньшим значением E по сравнению со сталями. Обычно это различные деформируемые бронзы, у них $E \approx (1,2 \dots 1,3) \cdot 10^5$ МПа, т.е. почти в 2 раза ниже, чем у сталей. Кроме того, они коррозионностойки, немагнитны и имеют высокую электропроводность, поэтому широко применяются для пружинных электрических контактов. Особенно хороши бериллиевые бронзы, которые помимо перечисленных достоинств обладают высокими пределами упругости и прочности (см. работу 10). Например, бронза БрБНТ1,9 после закалки, холодной пластической деформации и старения (310 °С) имеет предел упругости $\sigma_{0,002} = 1000$ МПа. Эта величина практически такая же, как у сталей, и значительно выше, чем у других бронз (в среднем 500 МПа).

В ряде случаев помимо высокой чувствительности упругого элемента требуется независимость его характеристики (т.е. модуля E) от колебаний температуры. Например, для камертона или спирали регулятора хода часов, обеспечивающей постоянство периода колебаний, т.е. точность хода часов. В таких устройствах используют **элинвары** - т.е. сплавы с неизменным модулем упругости, точнее, с низким температурным коэффициентом (γ) его изменения: $E_T = E_{20}(1 + \gamma t)$, E_{20} - величина модуля упругости при $t = 20$ °С; $\gamma \approx \pm 1,5 \cdot 10^{-5}$ °С⁻¹. **Элинвары - сплавы системы Fe-Ni-Cr (36НХ, 42НХТЮ, 44НХТЮ)**, упрочняемые закалкой и старением; коррозионностойкие, ферромагнитные.

III. Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя две плоские пружины из различных материалов (№1 и №2), отметить их форму (установить значение коэффициента m , см. формулу (12.1)), измерить геометрические параметры h , b , L .

2. Закрепить одну из пружин (№1) в приборе. Нагружать свободный конец пружины постепенно увеличивающейся нагрузкой P , каждый раз фиксируя величину прогиба f .

3. Данные (P и f) занести в таблицу и построить характеристику пружины.

4. Прodelать аналогичный опыт со второй пружиной (№2), построить ее характеристику (используйте Microsoft Excel).

5. Убедившись в линейности полученных характеристик, определить по ним коэффициент пропорциональности “ c ” (формула (12.1)) для данных пружин.

6. По формуле (12.1) оценить значения модулей упругости E и установить возможный тип материалов, из которых изготовлены пружины.

IV. Содержание отчета

1. Требования, предъявляемые к материалам упругих элементов. Основные типы материалов, применяемых для изготовления силовых пружинных устройств и чувствительных упругих элементов приборов. Усредненные значения упругих свойств (предел упругости, модуль нормальной упругости) этих групп материалов.

2. Понятие характеристики пружины. Отличие характеристик двух типов пружинных материалов, указанных в п.1.

3. Схема опыта по определению характеристик плоских пружин (см. рис. 12.2, а) и формула (12.1).

4. Таблица экспериментального определения величины прогиба f пружины №1 в зависимости нагрузки P . Характеристика пружины №1. Геометрические параметры пружины №1. Результаты определения коэффициента пропорциональности “ c ” и модуля упругости E пружины №1.

5. То же (см. п. 4) для пружины №2.

6. Определение возможного типа материалов пружин №1 и №2.

Л и т е р а т у р а: [1], с. 285...288, или [2], с. 349...356, или [3], с. 312, 313, 405, 406,
или [4], с. 349, 350, 456.

РАБОТА 13

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПОЛИМЕРА НА ТЕХНОЛОГИЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

I. Цель работы

Изучение основ принципиальной технологии производства изделий из термопластичных и терморезактивных пластмасс.

II. Теоретическое обоснование

Пластмассы широко применяются в различных отраслях промышленности в основном в качестве конструкционных и электроизоляционных материалов. По сравнению с металлическими материалами переработка пластмасс в изделия менее трудоемка и малоотходна.

Пластмассы - материалы на основе полимеров. **Полимеры** - макромолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся атомных групп - звеньев. Звенья образуются из простых молекул исходного низкомолекулярного вещества - мономера. Для этого молекулы мономера «активизируют» - создают в них свободные валентные связи путем внешнего воздействия (повышенная температура и давление).

Пластмассы могут состоять только из самого полимера либо содержать различные компоненты, в этом случае они являются **композиционными материалами** (композитами). **Компонентами таких пластмасс** могут быть наполнители, отвердители, стабилизаторы, красители, пластификаторы и другие специальные добавки. В композиционных пластмассах полимер играет роль связующего.

Очевидно, что свойства пластмасс зависят от химической природы и вида наполнителя. Так, в композитах с одинаковым типом связующего полимера наблюдается увеличение прочности при переходе от материалов с порошкообразными наполнителями (пресс-порошки) к волокнистым (наполнитель - волокна) и далее - к слоистым пластикам (листовой наполнитель).

Однако основное влияние на свойства пластмасс и соответственно техно-

логию их переработки в изделия оказывает природа полимера.

По этому признаку различают **два основных класса пластмасс**: **термопласты** (основа - термопластичные полимеры) и **реактопласты** (основа - терморезактивные полимеры).

Термопластичные полимеры имеют **линейную**, или близкую к ней - разветвленную **структуру** (форму) **макромолекул**. В таких макромолекулах звенья соединены сильными ковалентными связями, а между цепями действуют гораздо более слабые силы Ван-дер-Ваальса. Вследствие такого характера связей термопластичные полимеры при нагревании переходят из **стеклообразного** в **высокоэластичное** и далее - **вязкотекучее состояние**. При этом не происходит разрушения макромолекул (если температура не превысила температуру деструкции). Последующее охлаждение изменяет состояние полимера в обратном порядке, его структура и свойства полностью восстанавливаются.

В отличие от термопластичных, **терморезактивные полимеры** в отвержденном состоянии имеют **замкнутую пространственную** (сетчатую) **структуру**. В таких структурах сильные ковалентные связи действуют как вдоль цепей молекул, так и между ними. Эти полимеры более прочны и их свойства практически не изменяются при нагревании вплоть до температуры деструкции. Обычно термопласты - простые (ненаполненные) пластмассы (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, полиметилметакрилат и др.), реактопласты - композиционные материалы (фенопласты, стекловолокнит, гетинакс, текстолит, древесно-слоистые пластики и др.).

Изделия из пластмасс получают главным образом методами пластической деформации. Применение конкретного способа переработки зависит от физического состояния полимерной основы, которое может изменяться под действием нагрева и других факторов.

В большинстве случаев детали изготавливают из пластмасс, находящихся в вязкотекучем состоянии, путем прямого (компрессионного) прессования, литья под давлением и экструзии (выдавливания).

Прямое прессование применяют в основном для получения изделий из

реактопластов, реже термопластов. Формование производится в пресс-формах при температурах 130...200 °С.

Исходный пресс-материал загружают в виде порошка или таблеток в полость формы. Под действием давления, создаваемого пуансоном, и теплоты материал в вязкотекучем состоянии заполняет формообразующую полость пресс-формы. После затвердевания изделие извлекается (выталкивается) из формы.

Основным компонентом пресс-материалов термореактивных пластмасс являются связующие вещества - смолы: фенолоформальдегидная (бакелитовая), меламиноформальдегидная (карбамидная), эпоксидная и другие. В исходном состоянии (в пресс-материале) смолы - полимеры с линейной структурой.

Помимо смол в композиции пресс-материала присутствуют дисперсные наполнители различной природы, отвердители¹ и другие компоненты. Повышенная температура и наличие отвердителей создают в процессе формования изделия пространственную сетчатую структуру композиционного материала. То есть такой способ производства совмещает процесс создания материала и формообразования изделия.

Детали из реактопластов после отверждения можно извлекать сразу, не охлаждая. В случае прессования деталей из термопластов пресс-форму нужно обязательно охлаждать для сохранения формы изделия (перевода полимера из вязкотекучего в стеклообразное состояние), что осложняет процесс и ограничивает применение данного способа для производства деталей из термопластов. Массовое производство деталей из термопластов осуществляют в основном литьем под давлением и экструзией.

Если формование деталей из термореактивных пластмасс происходит при нагревании исходной композиции, то такой способ называется горячим прессованием. Он применяется для **пластмасс горячего отверждения**, в которых замкнутая пространственная структура полимера образуется при повышенных температурах.

¹ Для отверждения некоторых видов смол присутствие отвердителя не обязательно, достаточно лишь нагревания.

В качестве конструкционных материалов применяют также **пластмассы холодного отверждения** («самотвердеющие») на основе эпоксидных, полиэфирных, акриловых и других смол. Они отверждаются при комнатной температуре в результате воздействия отвердителя. Изделия из них можно изготавливать в формах путем свободной заливки, намазывания, накатывания и т.п.

В последнее время для изготовления мелких изделий (в основном в медицине) широкое распространение получили холоднотвердеющие акриловые пластмассы: АСТ, стиракрил, протокрил, норакрил, акрилоксид и др. В исходном состоянии все они состоят из полимерного порошка и жидкого отвердителя, которые хранятся раздельно. После смешивания этих компонентов массу помещают в форму, где она отверждается через 10...60 минут в зависимости от марки (состава) пластмассы.

III. Порядок выполнения работы

Изделие (диск) изготавливают из пластмасс двух типов - термопластичной (полиэтилен) и термореактивной (акрилоксид). Работа выполняется на двух одинаковых стальных пресс-формах поочередно двумя группами студентов.

Полиэтилен

1. Нанести высокотемпературную смазку на формообразующую плоскость пресс-формы.
2. Закрепить конец термопары под винт пресс-формы. Установить форму на электроплитку и нагреть до 140...150 °С.
3. Поместить в полость формы несколько гранул полиэтилена. Убедиться в достижении однородной структуры расплава (для равномерного заполнения выровнять массу шпателем).
4. Снять щипцами пресс-форму с плитки, остудить до комнатной температуры, извлечь изделие.

Акрилоксид

1. Смонтировать пресс-форму, поместив на рабочую плоскость фторопластовую изолирующую пленку (для предотвращения приклеивания изделия).
2. На предметное стекло накапать жидкий отвердитель и насыпать (*от-*

дельно!) необходимое для заполнения формы количество порошка.

3. Добавляя порошок в жидкость, замешать массу. Поверхность массы должна быть влажной, но без избытка жидкости. Замешивание производить в течение **40...50 секунд(!)**.

4. Поместить массу в полость пресс-формы, уплотнить поверхность чистым шпателем. Помнить, что масса сохраняет пластичность, необходимую для формирования изделия, в течение **1,5...2 минут(!)**.

5. Через 8...10 минут извлечь изделие из формы.

IV. Содержание отчета

1. Термопластичные и термореактивные пластмассы, особенности строения и свойств, их влияние на технологию изготовления изделий.

2. Описание основных этапов изготовления изделия из полиэтилена и акрилоксида.

3. Эскиз пресс-формы.

Литература: [1], с. 439, 440, 449...451, или [2], с. 39, 40, 382...384, 392, 393,
или [3], с. 566...572, 574, 575, 577...579.

3.5. ГЛОССАРИЙ

(толковый словарь основных материаловедческих терминов, встречающихся в «Опорном конспекте», контрольных и лабораторных работах)

При пользовании Глоссарием необходимо иметь в виду:

1. Все термины выделены жирным шрифтом и расположены в алфавитном порядке; если термин имеет синоним, он приведен тут же в скобках. Например, **Аллотропия (полиморфизм), Композиционный материал (композит)**.
2. Составные термины (состоящие из нескольких слов) приводятся, как правило, в привычном, обычно употребляемом порядке, например, **Дефекты кристаллической решетки, Критическая скорость закалки**. Однако в тех случаях, когда термины образуют большие семьи, связанные общим понятием – «родоначальником», на первое место выносятся это «родовое» слово. Например, сначала дается термин **Стали**, а затем идут: **Сталь аустенитная, Сталь доэвтектоидная** и т.д. Итак, если составной термин не удастся найти по определяющему слову, его следует искать по другому слову входящему в этот термин.
3. Термины, выделенные в пояснительных текстах *курсивом*, включены в глоссарий, их следует искать, пользуясь рекомендациями пп. 1 и 2.
4. Термины, имеющие несколько значений или допускающие различное толкование, даются в смысле обычно используемом в учебной литературе по материаловедению и в данном УМК.

Азотирование – вид химико-термической обработки сплавов, заключающийся в диффузионном насыщении азотом поверхностного слоя изделий.

Аллотропия (полиморфизм) – см. *Полиморфизм*.

Анизотропия – неодинаковость свойств (физических, механических) материала при измерении их в различных направлениях.

Аустенит – кристаллическая фаза в железоуглеродистых сплавах - *твердый раствор* углерода в γ – Fe, содержащий до 2,14 % C, имеющий ГЦК решетку (см. *полиморфизм железа*).

Аустенит остаточный – см. *Остаточный аустенит*.

Баббиты – антифрикционные (подшипниковые) сплавы на основе олова или свинца с добавками сурьмы, кальция, меди и других элементов, используемые для заливки вкладышей подшипников скольжения.

Бейнит – структурная составляющая стали, образующаяся при промежуточном превращении аустенита и состоящая из пересыщенного углеродом феррита и цементита.

Бронзы – сплавы на основе меди, в которых основными легирующими

компонентами являются различные элементы кроме цинка. По основным легирующим элементам различают оловянные и безоловянные (алюминиевые, кремниевые, бериллиевые и др.) бронзы.

Вакансия – точечный *дефект кристаллической решетки* – узел решетки, в котором отсутствует атом (или ион).

Волокниты – разновидность *композиционных материалов* – *пластмассы*, в которых наполнителем являются волокна различной природы (например, стеклянные, асбестовые).

Дендриты – кристаллы древовидной формы, образующиеся в литом металле в результате неодинаковости скоростей роста по различным кристаллографическим направлениям.

Дефекты кристаллической решетки – отклонения от идеального порядка в расположении атомов в реальных кристаллах. По геометрии возникающих при этом искажений решетки различают *точечные, линейные и поверхностные дефекты*.

Дефекты линейные – см. *Дислокации*.

Дефекты поверхностные – границы зерен в *поликристаллических материалах* – двумерные дефекты.

Дефекты точечные – *вакансии*, атомы, смещенные в междоузлия, и примесные атомы в узлах или междоузлиях. Радиус искажений решетки вокруг таких дефектов составляет всего 1...2 межатомных расстояния, поэтому точечные дефекты считаются нульмерными.

Деформация – изменение размеров и часто формы тела под действием внешних усилий.

Деформация пластическая – необратимая или остаточная деформация, частично или полностью сохраняющаяся после снятия нагрузки.

Деформация упругая – обратимая деформация, полностью исчезающая при снятии нагрузки.

Диаграмма изотермического превращения переохлажденного аустенита – (C – диаграмма) – графическое изображение зависимости времени начала и конца распада *переохлажденного аустенита* (на смесь *феррита и це-*

ментита) от температуры изотермических выдержек.

Диаграмма состояния «Железо-цементит» - *диаграмма состояния* железоуглеродистых сплавов, *компонентами* которой являются железо и цементит; с ее помощью изучается формирование равновесной структуры **углеродистых сталей и белых чугунов**.

Диаграмма состояния (диаграмма фазового равновесия) – графическая форма описания фазовых равновесий (состояний) в сплавах различного *химического состава* при различных температурах.

Дислокация – линейный (одномерный) *дефект кристаллической решетки*. Например, краевая дислокация – это искажение решетки вокруг края незавершенной атомной плоскости («полуплоскости») радиусом в несколько межатомных расстояний и на много порядков большей протяженностью.

Диффузия – в кристаллических материалах это перемещение атомов на расстояния, существенно превышающие межатомные.

Долговечность – свойство объекта (материала, изделия) сохранять работоспособное состояние при заданных условиях в течение определенного времени. Критерии долговечности – сопротивление материала *усталости, изнашиванию, ползучести, коррозии*.

Дуралюмины – сплавы алюминия (основа) с медью, магнием и марганцем; относятся к группе деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой (*закалка + старение*).

Закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате *закалки*; пропорциональна содержанию углерода в стали.

Закалка – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве сплава выше температуры фазовых превращений, выдержке и последующем быстром охлаждении, обеспечивающая получение неравновесной структуры (кратко - фиксация высокотемпературного состояния путем быстрого охлаждения материала).

Закалка стали – нагрев стали до аустенитного состояния, выдержка и последующее ускоренное охлаждение с *критической скоростью* с целью максимального повышения твердости и прочности.

Закалка неполная – *закалка стали* из двухфазного состояния, то есть из межкритического температурного интервала A_1-A_3 в *доэвтектоидных* и A_1-A_{cm} в *заэвтектоидных* сталях. Обычно применяется для заэвтектоидных сталей для получения мартенситной структуры с включениями вторичных карбидов (*цементита*).

Закалка полная – *закалка стали* из однофазного аустенитного состояния, приводящая к получению мартенситной структуры; применяется для *доэвтектоидных сталей*.

Зоны Гинье - Престона (ГП зоны) – субмикроскопические зоны искажений кристаллической решетки твердого раствора вокруг скоплений атомов растворенного компонента. В *дуралюминах* ГП зоны, возникающие в закаленном сплаве при *естественном старении*, являются причиной эффективного повышения прочности.

Излом – поверхность разрушения образца или изделия.

Излом вязкий (волокнуистый) – поверхность вязкого разрушения с характерной волокнистой структурой и матовым оттенком, обычно имеет неровную форму (выступы, впадины). Все эти признаки – следствие заметной *пластической деформации*, предшествовавшей разрушению.

Излом хрупкий (кристаллический) – излом без видимых следов *пластической деформации*; имеет зернистый рельеф, состоящий из множества блестящих граней (фасеток), образующихся при хрупком разрушении по границам зерен или плоскостям скола внутри зерна.

Изнашивание – процесс постепенного изменения размеров тела при трении, проявляющийся в отделении материала с поверхности трения и *остаточной деформации тела*.

Индентор – съемный наконечник *твердомеров*, имеющий определенные размеры и форму (шар, пирамида, конус), изготавливаемый из материалов с высокой твердостью (алмаз, твердый сплав, закаленная сталь).

Композиционные материалы (композиты) – материалы, состоящие из металлической или неметаллической матрицы (основы), включающей не растворимые в ней компоненты различной природы и формы; например, *терморезинопластики*.

активные пластмассы.

Компоненты – вещества (химические элементы, химические соединения), входящие в состав *сплава*.

Координационное число – число ближайших соседей, окружающих данный атом в *кристаллической решетке* и находящихся от него на одинаковых расстояниях.

Коррозия – самопроизвольное разрушение металлических материалов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой.

Коррозия межкристаллитная (МКК) – хрупкое коррозионное разрушение по границам зерен (кристаллов), возникающее из-за электрохимической неоднородности пограничных областей и самого зерна.

Кристаллизация – процесс образования кристаллов из жидкой (или газообразной) фазы.

Кристаллическая решетка – воображаемая пространственная (трехмерная) периодическая решетка, в узлах которой находятся атомы (ионы) кристаллического тела (точнее *монокристалла*).

Критический диаметр – максимальный диаметр образца данной стали, приобретающего мартенситную структуру по всему сечению при *закалке* с данной скоростью охлаждения.

Критическая скорость закалки – минимальная скорость охлаждения из высокотемпературного состояния, при которой подавляется диффузионный распад *твердого раствора*. В сталях критическая скорость закалки - минимальная скорость охлаждения, при которой *аустенит* превращается в *мартенсит*.

Латуни – сплавы на основе меди, содержащие до 45 % цинка (простые или двойные латуни), и дополнительно легированные алюминием, оловом, марганцем и др. элементами (сложные многокомпонентные латуни).

Легирование – целенаправленное изменение состава сплава путем введения в определенных количествах некоторых химических (легирующих) элементов.

Ликвидус – линии *диаграмм состояния*, выше которых сплав любого хи-

мического состава находится в жидком состоянии. При охлаждении ниже линии ликвидус начинается кристаллизация сплавов.

Макромолекулы – молекулы, состоящие из огромного числа ($\geq 10^3$) одинаковых (или различных) групп атомов – звеньев, получающихся из простых по составу молекул – *мономеров*. Молекулярная масса макромолекул более $10^4 \dots 10^5$.

Макроструктура – структура материалов, изучаемая путем макроанализа – осмотра невооруженным глазом или с помощью лупы изделий (заготовок), изломов деталей или контрольных образцов и специально приготовленных образцов – макрошлифов.

Мартенсит (закалки) – в сталях пересыщенный *твердый раствор* углерода в α – железе (см. *полиморфизм железа*), образующийся в результате *мартенситного превращения аустенита при закалке*.

Мартенсит отпуска – мартенсит, получаемый при *низком отпуске* закаленной стали; от мартенсита закалки отличается меньшей *степенью тетрагональности* и твердостью.

Мартенситное превращение – в сталях бездиффузионное превращение переохлажденного аустенита в мартенсит, происходящее при охлаждении стали из аустенитного состояния с *критической скоростью закалки*.

Механические свойства – свойства, характеризующие поведение материала под действием внешней механической нагрузки. Наиболее распространенные из них – *прочность, твердость, пластичность и ударная вязкость*, определяемые в результате стандартных механических испытаний.

Микроскоп металлографический – наиболее распространенный в лабораторной практике оптический микроскоп, позволяющий изучать *микроструктуру* не прозрачных в видимом свете материалов с увеличением до 1500 раз.

Микроструктура – структура материалов, изучаемая с помощью *микроскопов*; включает тип *фаз*, форму, размеры и взаимное расположение кристаллов этих фаз.

Модифицирование – введение в расплав небольшого количества специ-

альных примесей (модификаторов) с целью улучшения структуры литого металла. Широко применяется при получении *модифицированных и высокопрочных чугунов и силуминов*.

Монокристалл – образец материала, состоящий из одного кристалла (в отличие от *поликристаллических материалов*).

Мономеры – простые вещества, молекулы которых в результате активации (при высоких температурах и давлении) образуют звенья со свободными ковалентными связями, формирующие *макромолекулы полимеров*.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Критерии надежности материалов: *пластичность, ударная вязкость, хладостойкость, трещиностойкость*.

Наклеп (нагартовка) – упрочнение металла в результате *холодной пластической деформации*.

Напряжение (механическое) – мера внутренних сил, возникающих в теле под влиянием внешней нагрузки, равная отношению действующей силы к площади ее приложения.

Нитроцементация – вид *химико-термической обработки*, заключающийся в поверхностном насыщении изделий одновременно азотом и углеродом.

Нормализация – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве стали (чугуна) до аустенитного состояния, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе.

Обработка холодом – охлаждение закаленной стали до отрицательных температур (по возможности ниже температуры M_k – конца мартенситного превращения) с целью устранения *остаточного аустенита*.

Остаточный аустенит – *аустенит*, не превратившийся в *мартенсит* при *закалке стали*, если температура конца мартенситного превращения данной стали лежит ниже температуры охлаждающей среды.

Отжиг – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве сплава выше температур фазовых превращений, выдержке и последующем медленном охла-

ждении (обычно с печью), приводящая к получению равновесной структуры.

Отжиг рекристаллизационный – отжиг холоднодеформированного металла при температурах выше *температуры рекристаллизации*, приводящий к снятию *наклепа*.

Отжиг (стали) полный – нагрев, выдержка и медленное охлаждение стали из однофазного аустенитного состояния. Применяется для *доэвтектоидных сталей*, приводит к получению равновесной структуры (феррит + перлит) с минимальной твердостью и наилучшей обрабатываемостью.

Отжиг стали (неполный) – нагрев, выдержка и медленное охлаждение стали из межкритического интервала температур (двухфазного состояния); обычно применяют для *заэвтектоидных сталей*, нагревая их выше A_{c1} , но ниже A_{cm} и, после выдержки, очень медленно охлаждая, для получения структуры *зернистого перлита* (такой отжиг называют сфероидизирующим). Цель - снижение твердости, улучшение обрабатываемости резанием.

Относительное сужение – характеристика *пластичности*; отношение разности площадей исходного и деформированного сечений образца к площади исходного сечения, выраженное в процентах.

Относительное удлинение – характеристика *пластичности*; отношение абсолютного удлинения образца при растяжении к его начальной длине, выраженное в процентах.

Отпуск (стали) – *термическая обработка*, заключающаяся в нагреве закаленной стали в докритическом интервале температур ($t < A_1 = 727$ °C), выдержке и последующем охлаждении с целью повышения пластичности и ударной вязкости закаленной стали. Отпуск формирует окончательную структуру и комплекс требуемых механических свойств после *упрочняющей термической обработки стали*.

Отпуск высокий – отпуск при $t \approx 600$ °C на структуру *сорбит отпуска*; максимально повышает *пластичность и ударную вязкость* закаленной стали.

Отпуск низкий – отпуск при $t \approx 200$ °C на структуру *мартенсит отпуска*; свойства незначительно изменяются, сохраняется высокая твердость.

Отпуск средний – отпуск при $t \approx 400$ °C на структуру *троостит отпуска*.

ка; заметно снижаются *твёрдость и прочность*, повышаются *пластичность и ударная вязкость* закаленной стали.

Переохлаждение – охлаждение какой-либо *фазы* ниже температуры ее равновесного существования (например, расплава ниже температуры кристаллизации), приводящее ее в неустойчивое, метастабильное состояние.

Переохлажденный аустенит – метастабильный *аустенит*, быстро охлажденный ниже температуры $A_1 = 727 \text{ }^\circ\text{C}$; существует ограниченное время, определяемое *диаграммой изотермического превращения переохлажденного аустенита*.

Период (параметр решетки) – расстояние между соседними узлами *кристаллической решетки* вдоль ее координатных осей. В кубических решетках он один – ребро куба, в общем случае решетки должны характеризоваться тремя периодами.

Перлит – основная структурная составляющая *углеродистых сталей* в равновесном состоянии; состоит из чередующихся тонких пластинок (кристаллов) *феррита и цементита*.

Перлит зернистый – перлит с зернистой формой цементита, получаемый *при неполном сфероидизирующем отжиге* заэвтектоидных (и эвтектоидных) сталей.

Перлитное превращение – *эвтектоидное превращение* в железоуглеродистых сплавах, происходящее при охлаждении *аустенита* ниже температуры $A_1 = 727 \text{ }^\circ\text{C}$ и заключающееся в его диффузионном распаде на смесь *феррита и цементита*.

Пластичность – *механическое свойство*, характеризующее способность материала пластически деформироваться без разрушения. Оценивается величиной *относительного удлинения и относительного сужения*.

Пластмассы – материалы на основе *синтетических органических полимеров*. Пластмассы могут быть простыми (ненаполненными), состоящими только из полимера (например, полиэтилен), либо *композиционными материалами*, содержащими наполнители (например, гетинакс, текстолит), в которых полимер играет роль связующего вещества.

Пластмассы термопластичные (термопласты) – пластмассы на основе *термопластичных полимеров* (полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид и т.п.); обычно простые ненаполненные материалы.

Пластмассы термореактивные (реактопласты) – пластмассы на основе *термореактивных полимеров*; обычно наполненные материалы, по виду наполнителя подразделяющиеся на *пресс-порошки, волокниты и слоистые пластики*.

Ползучесть – медленная непрерывная *пластическая деформация* материала под действием постоянного *напряжения* (нагрузки).

Поликристаллический материал – материал, состоящий из множества зерен (кристаллитов), кристаллические решетки которых обычно хаотически ориентированы в объеме материала. Такое строение имеют все промышленные металлические сплавы.

Полимеризация – реакция присоединения активизированных *мономеров* (звеньев), приводящая к образованию *макромолекул полимеров*.

Полимеры – вещества, состоящие из *макромолекул*.

Полимеры термопластичные – полимеры с линейной структурой (формой) макромолекул; при нагревании последовательно переходят из стеклообразного в высокоэластичное и далее – вязкотекучее состояние; при последующем охлаждении процесс обратим.

Полимеры термореактивные – полимеры с замкнутой пространственной (сетчатой) структурой (формой) *макромолекул*. В готовом материале могут находиться только в стеклообразном состоянии. По сравнению с *термопластичными полимерами* более прочны и не обладают эластичностью.

Полимеры синтетические органические – синтезированные (в отличие от природных) полимеры, главная связь в *макромолекулах* которых осуществляется через атомы углерода.

Полиморфизм (аллотропия) – способность ряда кристаллических веществ находиться в различных модификациях, т.е. менять тип кристаллической решетки при изменении температуры и (или) давления.

Полиморфизм железа – в интервале температур 0...911 °С существует низкотемпературная модификация (α – Fe или Fe _{α}), имеющая ОЦК решетку, в

интервале 911...1392 °С – высокотемпературная модификация (γ – Fe или Fe γ) с ГЦК решеткой.

Предел прочности (временное сопротивление), $\sigma_{\text{в}}$ – характеристика *прочности*; максимальное *напряжение*, которое выдерживает образец до разрушения при испытаниях на растяжение.

Предел текучести, $\sigma_{0,2}$ – одна из характеристик *прочности*; *напряжение*, при котором величина остаточной *пластической деформации* при испытаниях на растяжение составляет 0,2 %.

Предел упругости $\sigma_{\text{у}}$ – один из критериев *прочности*, характеризующий сопротивление материала упругой деформации – максимальное *напряжение*, при котором наблюдается чисто *упругая деформация*.

Пресс – порошки – пластмассы (обычно *термореактивные*) с порошкообразными наполнителями (древесная, кварцевая мука, тальк и т.п.).

Прокаливаемость – способность стали закаливаться, т.е. приобретать *мартенситную* структуру на определенную глубину. Оценивается величиной *критического диаметра*; зависит от химического состава стали, повышается путем *легирования*.

Прочность – *механическое свойство*, характеризующее сопротивление материала деформации и разрушению; наиболее распространенными критериями прочности являются *пределы текучести ($\sigma_{0,2}$)* и *прочности ($\sigma_{\text{в}}$)*, определяемые путем стандартных испытаний образцов на растяжение, а также *твердость*.

Прочность конструкционная – прочность материала при работе в готовой конструкции; комплексная характеристика, включающая критерии *прочности, надежности и долговечности*.

Работоспособность – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией.

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых равноосных зерен в деформированном металле, происходящий при температуре выше *температуры (порога) рекристаллизации* и приводящий в итоге к восстановлению

свойств, присущих недеформированному металлу.

Силумин – литейный сплав на основе алюминия, содержащий 4...13% кремния.

Слоистые пластики – композиционные *пластмассы* с листовыми (слоистыми) наполнителями (бумага, хлопчато-бумажные и стеклоткани).

Солидус – линии *диаграмм состояния*, при охлаждении ниже которых любой сплав находится в твердом состоянии; при нагревании выше солидуса начинается плавление сплавов.

Сорбит – дисперсная смесь *феррита и цементита*, получающаяся при ускоренном охлаждении аустенита (*сорбит закалки*) или высоком отпуске (*сорбит отпуска*) стали.

Сорбит закалки – феррито-цементитная смесь, получаемая в результате *перлитного превращения переохлажденного аустенита* в интервале температур $\approx 550...650$ °С; подобно *перлиту* имеет пластинчатое (феррит + цементит) строение, но отличается большей дисперсностью и твердостью.

Сорбит отпуска – феррито-цементитная смесь, получаемая в результате *высокого отпуска* закаленной стали, имеет зернистую форму цементита; по сравнению с *сорбитом закалки* отличается более высокой *пластичностью и ударной вязкостью*.

Сплав – материал, получаемый сплавлением (или спеканием) двух или более *компонентов*.

Стали – сплавы на основе железа, содержащие от 0,02 до 2,14 % углерода (*углеродистые стали*), а также другие легирующие элементы (*легированные стали*).

Сталь аустенитная (аустенитного класса) – высоколегированные (в основном никелем и (или) марганцем) стали, имеющие при нормальных температурах устойчивую аустенитную структуру.

Сталь доэвтектоидная – стали, содержащие 0,02... 0,8 % С, имеющие равновесную структуру *феррит + перлит* в соответствии с *диаграммой состояния "Железо – цементит"*.

Сталь заэвтектоидная – стали, содержащие 0,8...2,14 % С, имеющие

равновесную структуру *перлит* + *цементит вторичный* в соответствии с диаграммой "*Железо – цементит*".

Сталь легированная – стали, получаемые в результате *легирования*; помимо железа и углерода в их химическом составе содержится не менее одного легирующего элемента.

Сталь мартенситная (мартенситного класса) – *легированные стали*, имеющие после *нормализации мартенситную* структуру.

Сталь перлитная (перлитного класса) – *углеродистые или легированные стали*, основной структурной составляющей которых после *нормализации* является *перлит*.

Сталь углеродистая – стали, в отличие от *легированных* не содержащие специально введенных легирующих элементов.

Сталь ферритная (ферритного класса) – высоколегированные (хромом) стали, имеющие ферритную структуру.

Сталь эвтектоидная – сталь, содержащая 0,8 % С, имеющая в равновесном состоянии структуру – *перлит*, согласно диаграмме "*Железо – цементит*".

Старение – длительная выдержка закаленного сплава при комнатной (естественное старение) или повышенной температуре (искусственное старение); завершающий этап *упрочняющей термической обработки* сплавов типа *дуралюмин*.

Старение полимеров – необратимое изменение структуры и ухудшение физико-механических свойств *полимеров* при их длительном использовании под влиянием внешних воздействий.

Степень тетрагональности – отношение c/a – вертикального и горизонтального ребер элементарной ячейки, характеризующее степень пересыщения тетрагональной решетки *мартенсита* углеродом.

Технологические свойства – свойства, обеспечивающие "технологичность материала" – его пригодность для изготовления изделий с наименьшей трудоемкостью, – это обрабатываемость резанием, давлением, свариваемость, способность к литью, а также *прокаливаемость*.

Твердомер – прибор для измерения *твердости*.

Твердость – механическое свойство, характеризующее способность материала сопротивляться *упругой и пластической деформации* при внедрении в него более твердого тела (*индентора*).

Твердость по Бринеллю (НВ) – твердость, определяемая как отношение нагрузки при вдавливании *индентора* – закаленного стального шарика (обычно $\varnothing = 10$ мм) в испытуемый материал к площади поверхности полученного отпечатка.

Твердость по Виккерсу (НV) – твердость, определяемая как отношение нагрузки при вдавливании в испытуемый материал *индентора* – алмазной четырехгранной пирамидки с углом между гранями 136° к площади поверхности полученного отпечатка.

Твердость по Роквеллу – твердость, определяемая глубиной проникновения в испытуемый материал *индентора* – стального закаленного шарика $\varnothing = 1,6$ мм (*HRB*) или алмазного конуса (*HRC*) под действием заданной нагрузки.

Твердый раствор – кристаллическая *фаза* в сплавах, в которой атомы одного компонента размещены (растворены) в кристаллической решетке другого.

Температура (порог) рекристаллизации – минимальная температура, при которой начинается процесс *рекристаллизации*.

Термическая обработка – технологическая операция, состоящая в нагреве материала до определенной температуры, выдержке и последующем охлаждении с определенной скоростью, с целью желаемого изменения структуры и свойств материала.

Трещиностойкость – способность материала противостоять развитию трещин, характеризуемая величиной вязкости разрушения.

Троостит – смесь *феррита и цементита* высокой степени дисперсности, получаемая при ускоренном охлаждении аустенита (*троостит закалки*) или среднем отпуске (*троостит отпуска*).

Троостит закалки – ферритоцементитная смесь, получаемая в результате *перлитного превращения переохлажденного аустенита* в интервале температур $\approx 450...550$ °С; подобно *перлиту* и *сорбиту закалки* имеет пластинчатое

строение, но отличается от них наибольшей дисперсностью и твердостью.

Троостит отпуска – ферритоцементитная смесь, получаемая в результате распада *мартенсита* при *среднем отпуске* закаленной стали; цементит при этом имеет мелкозернистую форму.

Ударная вязкость – *механическое свойство*, характеризующее сопротивление материала хрупкому разрушению; определяется отношением работы разрушения при ударном изгибе образца со специальным надрезом к площади его поперечного сечения в месте надреза.

Улучшение – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки* на *мартенсит* и *высокого отпуска* на структуру *сорбит отпуска*.

Упрочняющая термическая обработка алюминиевых сплавов – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки* и *старения*.

Упрочняющая термическая обработка стали – комплексная *термическая обработка*, состоящая из *закалки* и *отпуска*, которой подвергаются качественные *углеродистые* и *легированные стали*.

Усталость – процессы постепенного накопления повреждений в материале под действием циклических нагрузок, приводящие к образованию трещин, их развитию и разрушению материала.

Фаза – однородная по *химическому составу*, типу решетки и свойствам часть сплава, отделенная от других частей границей раздела.

Феррит – кристаллическая фаза в железоуглеродистых сплавах – *твердый раствор* углерода (до 0,02 % С) в α – Fe, имеющий ОЦК – решетку (см. *поллиморфизм железа*).

Химико-термическая обработка (ХТО) – технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стальных изделий одним или несколькими элементами при повышенных температурах с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя.

Химический состав – процентное содержание химических элементов, присутствующих в материале.

Хладостойкость – способность материала противостоять хладоломкости – охрупчиванию материала при понижении температуры.

Холодная пластическая деформация – пластическое деформирование материала при температурах ниже *температуры рекристаллизации*; приводит к появлению *наклепа*.

Цементит – кристаллическая *фаза* в железоуглеродистых сплавах – карбид железа Fe_3C , содержащий 6,67 % С.

Цементит вторичный (Ц_{II}) – *цементит*, выделяющийся из аустенита при его медленном охлаждении ниже линии A_{cm} *диаграммы "Железо-цементит"* (в отличие от первичного цементита Ц_I , образующегося непосредственно из расплава в сплавах, содержащих более 2,14 % С).

Чугуны – сплавы железа с углеродом, содержащие от 2,14 до (теоретически) 6,67 % С.

Чугун белый – чугуны, кристаллизующиеся по *диаграмме состояния "Железо – цементит"*, основной структурной составляющей которых является *эвтектика* – ледебурит, состоящая при нормальных температурах из перлита и цементита. Из-за большого количества цементита в структуре имеют светлый оттенок излома (отсюда название), очень высокую твердость и хрупкость.

Чугун высокопрочный – разновидность *серых чугунов*, в которой графит имеет шаровидную (глобулярную) форму, получаемую с помощью *модифицирования* расплава магнием или церием.

Чугун ковкий – разновидность *серых чугунов*, в которой графит имеет хлопьевидную форму; получают путем длительного отжига отливок из *белого чугуна*, в результате которого *цементит* распадается, выделяя графит хлопьевидной формы.

Чугун серый – разновидность *серых чугунов*, в которой графит имеет форму длинных заостренных пластин; получают при медленном охлаждении расплава и повышенном содержании графитообразующих элементов – углерода и кремния.

Чугуны серые – общее название чугунов, в которых в отличие от *белых чугунов* углерод находится не в химически связанном состоянии (в виде цементита), а в свободном – в виде включений графита (они обеспечивают серый оттенок излома и соответственно название таких чугунов). Свойства серых чу-

гунов зависят от формы графитных включений, по этому признаку их делят на собственно *серые* литейные чугуны, *высокопрочные* и *ковкие*.

Эвтектика – структурная составляющая, состоящая из двух фаз, одновременно кристаллизовавшихся в результате *эвтектического превращения*; эвтектика – ледебурит – основная структурная составляющая белых чугунов.

Эвтектическое превращение – процесс одновременного образования двух кристаллических фаз (*эвтектики*) из жидкой, происходящий при постоянной температуре и фиксированных составах фаз.

Эвтектоид – структурная составляющая, состоящая из двух фаз, образующаяся в результате *эвтектоидного превращения*; эвтектоид в сталях называется *перлитом*.

Эвтектоидное превращение – процесс распада одной твердой (кристаллической) фазы на две другие (*эвтектоид*), происходящий при постоянной температуре и фиксированных составах фаз. В железоуглеродистых сплавах эвтектоидное (*перлитное*) превращение заключается в распаде аустенита на смесь феррита и цементита(перлит) при $t \leq A_1$ (727 °C).

Элементарная ячейка – минимальный объем, сохраняющий характерные признаки данной кристаллической решетки, последовательное перемещение которого вдоль трех координатных осей позволяет воспроизвести решетку в целом.

4. БЛОК КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

Работа выполняется письменно и после исправлений отмеченных преподавателем ошибок подлежит устной защите.

При оформлении работы нужно оставлять на каждой странице поля для замечаний преподавателя. Все задания переписываются в тетрадь. В конце выполненной работы следует привести список использованной литературы.

Контрольная работа состоит из **двух частей** и выполняется студентами всех специальностей.

4.1.1. ПЕРВАЯ ЧАСТЬ

Цель первой части работы - проверка знания студентами диаграммы состояния «Железо-цементит» и умения пользоваться ею при определении равновесной структуры железоуглеродистых сплавов и назначении режимов термической обработки.

Первая часть контрольной работы имеет 10 вариантов, номера которых соответствуют **последней цифре шифра**.

Для ответа на приведенные ниже вопросы заданий необходимо нарисовать диаграмму «Железо-цементит» и указать фазы во всех областях диаграммы. В ряде случаев можно ограничиться соответствующей частью диаграммы, например при выборе режимов термической обработки сталей достаточно рассмотреть "стальной угол" диаграммы. При ответе на вопросы нужно использовать рисунок диаграммы, анализируя состояние сплавов в различных ее областях.

4.1.1.1. ЗАДАНИЕ НА ПЕРВУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ (ВСЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ)

Вариант 1

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в заэвтектоидной стали марки У10 и доэвтектического чугуна при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Сопоставить эти превращения и указать окончательную структуру сплавов. Каково принципиальное отличие структуры чугуна от структуры стали, и как это отличие сказывается на механических и технологических свойствах этих сплавов?

Вариант 2

Определить по диаграмме железо - цементит температуры отжига сталей марок 40, У8 и У12. Какова температура нагрева этих сталей под закалку? Дать обоснование выбранным температурам нагрева сталей, описав структурные превращения в этих сталях при соответствующих режимах (и видах) термической обработки.

Вариант 3

Определить по диаграмме железо-цементит превращения, совершающиеся в стали марки У8 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Начертить диаграмму изотермического превращения аустенита для названной стали и показать на ней, как будут изменяться структура и свойства этой стали по мере ускорения охлаждения из аустенитной области. Какую структуру и свойства приобретет эта сталь, если скорость охлаждения из аустенитной области превысит критическую скорость закалки?

Вариант 4

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в стали марки 40 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры и окончательную структуру этой стали. Ка-

кую структуру будут иметь изделия из этой стали после закалки с температур 740 и 840 °С? Какой из указанных вариантов закалки следует выбрать для обеспечения более высоких эксплуатационных характеристик изделий из этой стали и почему?

Вариант 5

Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь марки 45, если после закалки со скоростью выше критической ее структура состояла из феррита и мартенсита. Описать превращения, которые совершились в стали при охлаждении, и указать является ли выбранная температура нагрева стали удачной с точки зрения получения высоких механических свойств. Какова должна быть температура нагрева этой стали, чтобы при охлаждении со скоростью выше критической ее структура не содержала феррита?

Вариант 6

Сталь марки 50 после одного вида термической обработки получила структуру феррит+пластинчатый перлит, после второго - мартенсит+феррит и после третьего - мартенсит. Указать, какие виды термической обработки применены в каждом случае. Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь при каждом виде термической обработки и указать, какие превращения она претерпела в процессе охлаждения в каждом из трех случаев.

Вариант 7

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в доэвтектическом белом чугуна какого-либо состава при охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры. Какова окончательная структура сплава? Назначить режим термической обработки для превращения этого чугуна в ковкий чугун и указать, как изменяются при этом свойства чугуна. Какова причина этих изменений?

Вариант 8

Определить по диаграмме железо-цементит, какие превращения совершаются в стали марки У12 при медленном охлаждении от расплавленного состояния до комнатной температуры, привести окончательную структуру стали. Какую структуру будут иметь изделия из этой стали после закалки с температур 770 и 960 °С? Какой из указанных вариантов закалки следует выбрать для обеспечения более высоких эксплуатационных характеристик инструмента из этой стали и почему?

Вариант 9

При закалке инструмента из углеродистых сталей температура в печи оказалась завышенной на 150 °С по сравнению с оптимальной.

Нарисовать в масштабе «стальной угол» диаграммы железо-цементит и показать на нем оптимальный интервал закалочных температур. Используя рисунок, объяснить, как указанное нарушение режима закалки повлияет на структуру и свойства сталей марок У7 и У10.

Вариант 10

Сталь марки У12 после одного вида термической обработки получила структуру пластинчатый перлит+вторичный цементит, после второго - мартенсит+остаточный аустенит, после третьего - мартенсит+остаточный аустенит+вторичный цементит. Указать, какие виды термической обработки применены в каждом случае. Определить по диаграмме железо-цементит, до какой области температур была нагрета сталь при каждом виде термической обработки и указать, какие превращения она претерпела в процессе охлаждения в каждом из трех случаев.

4.1.2. ВТОРАЯ ЧАСТЬ

Цель этой части работы – выработка навыков по выбору материалов для изготовления изделий различного назначения (деталей машин и приборов, инструмента, конструкций) и рациональных технологий объемной и поверхностной упрочняющей обработки (термической, химико-термической и др.) этих изделий.

Для выполнения заданий этой части работы необходимо освоить все темы дисциплины и уметь пользоваться учебной и (в отдельных случаях) специальной справочной литературой (список рекомендуемых изданий приведен на с.36...38). Желательно также выполнить лабораторные работы.

Ответы на каждый вопрос задания должны быть обоснованными, четко указано, почему произведен выбор данной группы материалов, конкретной марки сплава, того или иного режима упрочняющей обработки и т.д.

Ниже описана **примерная схема (последовательность) выбора материалов** для изделий различного назначения.

1. Назначение изделия

Начинать нужно именно с назначения изделия (указывается в задании), поскольку оно сразу определяет тип материала. Все изучаемые в данном курсе материалы можно разделить по назначению на два основных типа – *конструкционные*, применяемые для широкого круга деталей машин, приборов, различного оборудования, и *инструментальные*. Инструментальными являются стали, классифицируемые по назначению инструмента, и твердые сплавы. Все остальные материалы можно считать конструкционными – это чугуны, стали (они также подразделяются на группы по назначению деталей) и сплавы цветных металлов.

Если в задании конкретизируется вид изделия, то это прямое указание на определенную группу сталей. Например, очевидно, что для фрез, метчиков, сверл нужно использовать *стали для режущего инструмента*, а для пружин – *рессорно-пружинные стали*.

Если требуется выбор материала для изделий «специфического назначения» (например, постоянных магнитов, сердечников трансформаторов, электронагревательных элементов и т.п.), то это, скорее всего, будут *стали и сплавы с особыми свойствами*.

Следующим важным этапом выбора материала является анализ условий работы изделия.

2. Условия работы изделия

а) **Величина нагрузки и характер нагружения** определяют *требования по механическим свойствам*; обычно они указаны в задании – чаще твердость и прочность (σ_B или $\sigma_{0,2}$).

Если твердость указана в единицах HRC_Э, то это высокая твердость и речь идет о сталях в термически упрочненном состоянии (закалка + отпуск). Величина твердости зависит от содержания углерода в стали и вида (температуры) отпуска. Максимальной твердости 60...65 HRC_Э соответствует низкий (≈ 200 °C) отпуск стали, содержащей $\geq 0,8$ % С. Это *инструментальные стали (для режущего, измерительного, холодноштампового инструмента)* или цементованные низкоотпущенные детали (*из цементуемых низкоуглеродистых сталей*), поверхностный слой которых содержит такое же количество углерода.

Величина прочности (σ_B) в заданиях указывается обычно для ответственных (нагруженных) деталей, изготавливаемых из качественных углеродистых и легированных сталей, обязательно упрочняемых путем закалки и отпуска. Вспомним, что окончательная структура и свойства (в частности σ_B) стали зависят от температуры отпуска. Стали применяемые для разных групп однотипных изделий проходят присущий им вид отпуска (цементуемые – низкий, улучшаемые – высокий, рессорно-пружинные – средний виды отпуска), формирующий необходимый комплекс механических свойств. Все сведения по химическому составу, режимам термической обработки и механическим свойствам (включая σ_B) основных групп конструкционных сталей обычно приводятся в учебной литературе в виде сводных таблиц (см., например, табл. 2.3.1 «Опорного конспекта»), поэтому, *если группа сталей по назначению определена, величина*

на σ_B поможет выбрать конкретную марку (и режим термической обработки) стали.

Характер нагружения также является подсказкой в выборе марки стали и режима термической обработки. Динамические (ударные) нагрузки способствуют охрупчиванию материала. Поэтому соответствующие детали должны обладать повышенной ударной вязкостью и пластичностью. Известно, что эти характеристики улучшаются с уменьшением содержания углерода в стали и повышением температуры отпуска. Отсюда для таких деталей (валы, рычаги, ответственный крепеж и т.п.) должны применяться стали с содержанием углерода не выше 0,3...0,5 % после высокого отпуска.

Заметим также, что все промышленные цветные сплавы (за исключением титановых и бериллиевой бронзы) имеют прочность $\sigma_B \leq 500$ МПа, что существенно ниже прочности конструкционных сталей в термически упрочненном состоянии ($\sigma_B \approx 1000...1700$ МПа).

б) Особые условия работы

В основном это *температура эксплуатации изделия* и *химическая активность окружающей среды* – они определяют *требования по особым физико-механическим свойствам*.

Если в задании идет речь об эксплуатации нагруженных деталей машин при $t > 600$ °С (например, лопатки турбин), то это *жаропрочные легированные стали и сплавы*.

Если требуется выбор материала для инструмента, нагревающегося при работе до $t \leq 600$ °С, то это могут быть *штамповые стали для горячего деформирования* металла (молотовые штампы, пресс-формы для литья под давлением) либо *теплостойкие быстрорежущие стали и твердые сплавы* на карбидной основе (рабочая $t = 800...900$ °С), используемые для *режущего инструмента*.

Для изделий, работающих в химически агрессивных средах, очевидно, нужны *коррозионностойкие (нержавеющие) стали*. Цветные сплавы также обладают высокой коррозионной стойкостью, но, как отмечалось выше, почти все

значительно уступают сталям по прочности.

3. Размер (сечение) изделия

Если в задании указан диаметр изделия, то речь идет о *прокаливаемости стали* – способности закаливаться (приобретать мартенситную структуру) на определенную глубину. Для большинства ответственных изделий требуется сквозная прокаливаемость. В углеродистых сталях она не превышает 10...12 мм. В легированных сталях прокаливаемость тем больше, чем выше суммарное количество легирующих элементов в марке. Поэтому *конкретизировать выбор марки стали данной группы логично по величине прокаливаемости* (определяется критическим диаметром $D_{кр}$), сведения о которой имеются в учебной литературе (см., например, табл. 2.3.1 «Опорного конспекта»).

4. Технология изготовления изделия

Если в задании указана технология изготовления изделия – *литье, обработка давлением*, то это служит дополнительным ориентиром выбора материала.

Основным требованием к материалу, используемому для *формования изделий методами обработки давлением* (особенно холодной штамповки), является его высокая пластичность. Величина пластичности сталей падает с увеличением содержания углерода, поэтому в данном случае *оптимален выбор конструкционных сталей обыкновенного качества и качественных с минимальным содержанием углерода*.

Литейные свойства (главным образом жидкотекучесть, заполняемость формы) тем лучше, чем уже температурный интервал кристаллизации металла. Поэтому *наилучшими литейными свойствами среди железоуглеродистых сталей обладают чугуны*.

Многие *цветные сплавы* по технологическим свойствам *делятся на деформируемые и литейные*, что значительно упрощает выбор нужной марки сплава.

5. Экономичность

Главной целью выбора материалов является обеспечение необходимого

комплекса эксплуатационных свойств (что обсуждалось выше), определяющих работоспособность изделий. Однако оптимизация выбора предполагает и учет экономического фактора. Особенно это важно в условиях массового производства изделий.

Экономическая целесообразность выбора зависит не только от стоимости и доступности самого материала, но также экономичности технологий изготовления и упрочнения изделий и ряда других факторов.

Очевидно, что в рамках контрольной работы задача оптимизации выбора материала по экономическим показателям не может быть решена. Поэтому *здесь следует принимать во внимание лишь ориентировочную стоимость материалов, учитывая, что наиболее дешевыми металлическими материалами являются чугуны и стали обыкновенного качества; далее по возрастанию стоимости идут качественные и высококачественные углеродистые стали → мало- и среднелегированные стали → высоколегированные стали и сплавы, сплавы цветных металлов.*

Надеемся, что приведенные выше рекомендации помогут Вам в выполнении второй части контрольной работы.

Вторая часть контрольной работы имеет 10 вариантов (в каждом четыре задания). Номер варианта выбирается **по предпоследней цифре шифра**. Задания скомпонованы так, чтобы учесть, по возможности, специализацию студентов:

- спец. 140101.65, 140104.65, 140211.65, 140601.65, 140602.65 на с. 218;
- спец. 151001.65, 150202.65, 220301.65, на с. 227;
- спец. 240401.65, 240301.65, 280202.65 на с. 234;
- спец. 080502.65, 190205.65, 190601.65, 190701.65 на с. 243;
- спец. 200101.65, 200501.65 на с. 250;
- спец. 200402.65 на с. 258.

Примечание: приведенные выше рекомендации по выбору материалов касаются только металлических сплавов, они же рассмотрены и в «Опорном конспекте». Поэтому в случае серьезных затруднений допускается (в виде исключения) не делать 4-е задание, посвященное неметаллическим материалам (однако получение хорошей или отличной оценки на экзамене в этом случае проблематично).

**4.1.2.1. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
140101.65, 140104.65, 140211.65, 140601.65, 140602.65**

Вариант 1

1. Сварные части корпуса реакторов АЭС (обечайки, днища и крышки) изготавливают методом штамповки. Обосновать выбор достаточно экономичной стали для этих изделий, учитывая необходимость их длительной эксплуатации при температурах до 600 °С. Привести марку стали, химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, обеспечивающей необходимый комплекс свойств. Указать окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать сплав для магнитопроводов электрических машин и аппаратов (роторов и статоров асинхронных двигателей, сердечников трансформаторов и т.п.) Перечислить требования, предъявляемые к материалам этого назначения. Привести марку, химический состав, структуру и физические свойства сплава. Описать технологию изготовления и термической обработки данных изделий, объяснить ее влияние на физические и механические свойства сплава.

3. В системах электроснабжения широко используются литые изделия различного назначения (корпуса насосов, редукторов, вентилях, гидроприводов и т.п.). Выбрать наиболее экономичный сплав с прочностью $\sigma_b \approx 300$ МПа для изготовления таких изделий. Привести марку, химический состав, механические и технологические свойства; описать структуру и способ получения.

4. Выбрать пластмассу с прочностью $\sigma_b \approx 130$ МПа для изготовления катушек электромагнитов, работающих при температурах до 100 °С. Привести ее марку, состав, строение, физические и механические свойства.

Вариант 2

1. Некоторые внутриреакторные детали механизмов управления (штоки, штанги, захваты, ответственный крепеж) работают в контакте с химически активной средой и по характеру нагружения должны обладать оптимальным со-

четанием прочности и вязкости. Выбрать подходящую марку стали, указать химический состав и роль легирующих элементов. Обосновать режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. В электромашиностроении многие детали сложной формы (короткозамыкающие кольца с вентиляционными лопатками, фасонные корпуса асинхронных двигателей, автомобильных генераторов и т.п.) отливают из сплавов невысокой плотности. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_B \approx 180$ МПа для таких изделий. Указать марку, химический состав, физико-механические и технологические свойства сплава. Описать металлургический прием, применяемый для улучшения структуры сплава, а также режим упрочняющей термической обработки.

3. Выбрать сталь ($\sigma_{0,2} \approx 1400 \dots 1600$ МПа) для пружинных подвесок и опор трубопроводов. Указать марку, химический состав, роль легирующих элементов, назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу для изготовления малонагруженных деталей управления электрических приборов (ручек, кнопок, маховичков и т.п.). Указать классификационную группу, состав, строение, физические и механические свойства пластмассы. Описать способ получения деталей.

Вариант 3

1. Опора вала перекачивающего насоса реактора АЭС находится в жидком натрии, используемом в качестве теплоносителя. Обосновать выбор износостойкой наплавки на поверхности пары трения вал-опора с учетом того, что температура рабочей среды ≥ 600 °С. Привести марку сплава, химический состав и назначение отдельных элементов. Описать физико-механические свойства и способ изготовления сплава.

2. В ряде случаев детали электрических машин и аппаратов изготавливают из немагнитных (магнитная проницаемость $\mu \leq 1,5$) сталей и чугунов. Какую

структуру должны иметь эти сплавы? Каков способ получения такой структуры? Каковы преимущества немагнитных сталей и чугунов по сравнению с цветными сплавами этого назначения? Выбрать оптимальный сплав для изготовления литых деталей (крышки, кожухи, втулки) масляных выключателей, силовых и сварочных трансформаторов. Привести марку сплава, химический состав и назначение легирующих элементов. Описать структуру, характеризующие свойства и способ получения деталей.

3. В энергомашиностроении широко применяются труднообрабатываемые резанием стали и сплавы. Обосновать выбор стали для металлорежущих инструментов (резцов, фрез, сверл), используемых для обработки указанных материалов. Привести марку, химический состав, объяснить роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки такого инструмента. Проследить, как изменяется структура и твердость стали на отдельных этапах термической обработки.

4. Выбрать пластмассу для изготовления смотровых стекол, прозрачных шкал переносных электроизмерительных приборов, подверженных ударам. Указать классификационную группу пластмассы, ее состав, строение, физические и механические свойства.

Вариант 4

1. Выбрать экономичный сплав с прочностью $\sigma_b \approx 450$ МПа для изготовления фасонных литых деталей (станины, подшипниковые щиты) мощных электрических двигателей. Учесть, что указанные детали помимо статических испытывают и вибрационные нагрузки. Привести марку сплава, его химический состав и механические свойства. Описать технологию получения этих деталей. Объяснить, как влияет режим термической обработки отливок на их структуру и механические свойства.

2. Работающие на трение детали привода регулирующих систем реакторов АЭС (шестерни, червяки, втулки и т.п.) должны обладать высокой твердостью ($HRC_3 \approx 50...55$) и коррозионной стойкостью. Выбрать марку стали для

таких деталей, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Выбрать сплав для изготовления проволочных нагревателей электропечей с рабочей температурой до 1100 °С. Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов, физические и механические свойства сплава. Отметить связь между химическим составом, структурой и свойствами сплавов данной группы.

4. Выбрать полимерный материал с рабочей температурой –60...+200 °С для теплоизоляции теплопроводов ТЭЦ, холодильных камер и т.п. Указать классификационную группу материала. Описать его состав, строение, физические и механические свойства.

Вариант 5

1. Выбрать сталь для сварных деталей и узлов водогрейных котлов и трубопроводов, используемых для теплоснабжения жилых районов. При выборе марки стали учесть экономический фактор и то, что температура теплоносителя в данном случае не превышает 200 °С. Привести химический состав, структуру, механические и технологические свойства стали.

2. Перечислить требования, предъявляемые к сплавам для изготовления деталей подшипников качения. Обосновать выбор марки стали для крупногабаритных подшипников (диаметр тел качения ≈ 50 мм) мощных электродвигателей. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

3. Крупногабаритные (толщина стенок до 190 мм) цилиндрические и полусферические детали корпусов АЭС (обечайки, крышки) изготавливают методом штамповки. Каков принцип выбора температуры нагрева заготовок для формообразования таких деталей? Какую инструментальную сталь следует использовать для изготовления соответствующих штампов? Приведите ее марку,

химический состав, роль легирующих элементов. Назначьте режим термической обработки штампа. Укажите окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу с прочностью $\sigma_B \approx 500 \dots 600$ МПа, которую можно использовать для изготовления высоковольтных изоляторов, а также нагруженных трубопроводов криогенных установок. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее строение, физические и механические свойства.

Вариант 6

1. В токоведущих контурах некоторых аппаратов используются пружинные контакты, материал которых должен обладать высокими показателями электропроводности, прочности ($\sigma_B \approx 1200$ МПа) и коррозионной стойкости. Выбрать сплав, удовлетворяющий этим требованиям. Привести его марку и химический состав. Назначить режим термической обработки; объяснить, как изменяется структура и механические свойства сплава на отдельных этапах.

2. Некоторые подшипники качения энергетических установок работают в химически агрессивных средах (например, в механизмах привода реакторов АЭС). Выбрать сталь для деталей таких подшипников. Указать марку, химический состав; объяснить влияние основных элементов на структуру и твердость.

3. Перечислить требования, предъявляемые к магнитотвердым материалам. Выбрать сплав для литых постоянных магнитов измерительных приборов, роторов и статоров микродвигателей и микрогенераторов постоянного тока. Привести марку сплава, химический состав, физические и технологические свойства. Описать способ получения таких магнитов и режим их термической обработки; отметить ее влияние на структуру и магнитные характеристики сплава.

4. Выбрать полимерный материал для электроизоляции проводов, кабелей, а также антикоррозионных покрытий стальных трубопроводов, эксплуатируемых в диапазоне температур $-70 \dots +70$ °С. Указать классификационную группу материала, его химический состав, структурную формулу, физические и механические свойства.

Вариант 7

1. Выбрать сталь и способ объемно-поверхностного упрочнения ответственных точных деталей (например, штоков клапанов паровых турбин, гильз и клапанов дизельных двигателей), существенно повышающий поверхностную твердость (до 1200 HV), износостойкость, сопротивляемость коррозии и предел выносливости при работе до 500 °С. Указать марку, химический состав стали и назначение легирующих элементов. Описать последовательность технологических операций обработки таких деталей и изменения, происходящие при этом в структуре стали. Привести окончательную структуру и твердость стали в различных частях сечения изделий.

2. Выбрать сплав ($\sigma_{0,2} \approx 800$ МПа, $E \approx 2 \cdot 10^5$ МПа) для нетоковедущих пружин приводных механизмов аппаратов, электромагнитных реле, контакторов и т.п. Привести марку сплава, его химический состав. Назначить режим термической обработки пружин. Привести окончательную структуру и механические свойства материала пружины.

3. Многие металлические изделия энергетического оборудования и электрических аппаратов изготавливают методами холодной пластической деформации. Как влияет такая обработка на структуру, физические (электросопротивление) и механические свойства металла? Обосновать выбор стали для изготовления серийных штампованных деталей (например, защитных кожухов электромоторов, трансформаторов). Привести марку, химический состав, структуру, механические и технологические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу с твердостью НВ 250...350 МПа для изготовления бесшумных зубчатых передач механизмов управления систем электроснабжения. Описать строение и способ получения материала. Привести классификационную группу пластмассы, ее физические и механические свойства.

Вариант 8

1. Нагруженные шестерни реактора питательного насоса тепловых электростанций должны обладать высокой износостойкостью (твердостью поверхности $HRC_{\Sigma} \geq 60$) и достаточной вязкостью для предотвращения хрупкого разрушения зубьев. Выбрать марку стали для шестерен с рабочим сечением ≥ 100 мм. Привести химический состав, объяснить его влияние на выбор марки стали. Назначить технологию и режимы объемно-поверхностного упрочнения шестерни. Привести окончательную структуру и механические свойства в различных частях сечения шестерни.

2. Выбрать сплав для рабочих лопаток, дисков газовых турбин, работающих при температурах до 850 °С. Указать марку сплава, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, объяснить ее влияние на основную рабочую характеристику сплава; привести его механические свойства.

3. Объяснить почему для подвижных электрических контактов чувствительных реле, пакетных выключателей и переключателей не используют стальные пружины. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_B \approx 400 \dots 750$ МПа для плоской пружины переключателя. Привести марку, химический состав и механические свойства сплава. Отметить влияние химического состава на структуру, механические и технологические свойства сплава. Пояснить, каким путем достигается в данном сплаве верхний уровень прочности, указанный в задании.

4. Перечислить основные типы пластмасс, применяемых в приборостроении для изготовления фольгированных диэлектриков. Выбрать материал для печатных плат высокой прочности, работающих в условиях повышенной влажности. Описать состав, строение, физические и механические свойства пластмассы.

Вариант 9

1. Материал труб теплообменных аппаратов, конденсаторов паровых турбин должен обладать высокими показателями теплопроводности, коррозионной стойкости, а также пластичности ($\delta \geq 40 \%$). Выбрать сплав с прочностью $\sigma_b \approx 320 \dots 400$ МПа, удовлетворяющий этим требованиям. Привести марку, химический состав; отметить его влияние на структуру, механические и технологические свойства сплава.

2. Обосновать выбор стали для крупногабаритных ($\varnothing \geq 500$ мм) валов, роторов паровых турбин, турбогенераторов, испытывающих при работе большие знакопеременные циклические нагрузки. Привести марку, химический состав; объяснить роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки таких деталей, указать окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Температура рабочей среды в коллекторах, паропроводах котла, пароперепускных трубах составляет $\approx 500 \dots 600$ °С. Какую сталь можно использовать для этих изделий, если рабочая среда не обладает высокой агрессивностью? Привести марку стали, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, обеспечивающей наилучшие эксплуатационные свойства таких изделий; указать окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Перечислить основные антифрикционные пластмассы. Каковы их преимущества и недостатки по сравнению с металлическими сплавами данного назначения? Выбрать пластмассу для нагруженного подшипника скольжения (удельная нагрузка до 30 МПа), работающего в насосах систем водоснабжения. Указать классификационную группу пластмассы, ее строение, физические и механические свойства.

Вариант 10

1. В качестве опор валов турбо- и гидрогенераторов, турбокомпрессоров, водяных насосов электростанций применяются подшипники скольжения. Перечислить требования, предъявляемые к сплавам для подшипников этого типа. Выбрать марку сплава для изготовления вкладыша подшипника скольжения высокооборотной машины. Привести химический состав и физико-механические свойства. Отметить влияние структурных особенностей сплава на рабочую характеристику подшипника.

2. Температура теплоносителя в трубах парогенераторов АЭС на быстрых нейтронах достигает 600 °С. Выбрать коррозионностойкую сталь для изготовления таких труб. Привести марку, химический состав, роль легирующих элементов, структуру, механические и технологические свойства стали. Описать возможные изменения в структуре сталей этого типа при их длительной эксплуатации в данных условиях. Объяснить влияние этих процессов на надежность труб, указать пути предотвращения возникающих нежелательных явлений.

3. В высоковольтных аппаратах применяются металлические экраны вокруг токопроводящих элементов. Их изготавливают из тонколистовых заготовок методами холодной пластической деформации (например, гибкой с последующей сваркой или глубокой вытяжкой). Обосновать выбор сплава с учетом указанной технологии для изготовления легкого ($\rho \approx 2,7 \text{ г/см}^3$) экрана. Привести марку, химический состав, структуру и механические свойства сплава. Объяснить, как данный способ формообразования влияет на механические свойства и электросопротивление сплава.

4. Срок службы электрических машин во многом определяется долговечностью электроизоляции. Выбрать пленочный полимерный материал с удельным электросопротивлением $\approx 10^{17} \dots 10^{18} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и нагревостойкостью до 250 °С. Указать классификационную группу материала, описать его физические, химические и механические свойства.

**4.1.2.2. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
151001.65, 150202.65, 220301.65**

Вариант 1

1. Выбрать сталь для изготовления фрез высокой стойкости, режущая кромка которых нагревается при эксплуатации до температуры ≈ 600 °С. Указать марку стали, химический состав и роль легирующих элементов, назначить режим термической обработки. Описать превращения, совершающиеся в стали на различных этапах термической обработки. Привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Выбрать марку сплава для изготовления станин мощных станков, ковочных прессов и т.п. Привести химический состав, структуру, механические и технологические свойства сплава. Какой металлургический прием применяется для повышения механических свойств сплавов этой группы? В чем его суть?

3. Выбрать цветной сплав для изготовления деталей методом глубокой вытяжки (относительное удлинение $\delta \geq 45...50$ %). Привести марку, химический состав, назначение основных элементов. Отметить связь между структурой и механическими и технологическими свойствами сплава. Объяснить, как влияет вытяжка (холодная пластическая деформация) на свойства сплава и, исходя из этого, назначить режим термической обработки между последовательными стадиями глубокой вытяжки.

4. В качестве рабочего (износостойкого) тела направляющих металлообрабатывающих станков используют пластмассовые полосы, прикрепленные к металлическому основанию. Выбрать пластмассу данного назначения. Указать классификационную группу и состав пластмассы, описать ее строение и физико-механические свойства.

Вариант 2

1. Плоский измерительный инструмент (скобы, линейки, лекала) изготавливают вырубкой из листовой стали. Выбрать марку стали для изготовления

инструмента таким способом, привести химический состав. Описать технологию и режимы упрочняющей обработки такого инструмента, указать окончательную структуру и твердость стали.

2. Для изготовления ряда деталей машин и приборов применяются немагнитные стали. Выбрать марку наиболее экономичной немагнитной стали, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки. Описать структуру, механические и технологические свойства стали. Привести марку немагнитной стали, которую следует предпочесть, если изделие работает в коррозионно-активной среде.

3. Выбрать прочный ($\sigma_{\text{в}} \approx 420$ МПа) и легкий ($\gamma \approx 2,7$ г/см³) сплав для обшивки самолетов. Указать марку химический состав, роль легирующих элементов. Описать физические, механические и технологические свойства сплава. Назначить режим упрочняющей термической обработки, объяснить причину повышения прочности. Привести окончательную структуру и механические свойства сплава.

4. Выбрать пластмассу для изготовления шестерен и звездочек зубчатых и цепных передач. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее состав, строение и физико-механические свойства. Отметить преимущества и недостатки пластмасс по сравнению с металлическими материалами данного назначения.

Вариант 3

1. Выбрать марку стали для изготовления крупных молотовых штампов (сечением ≈ 600 мм) для горячей штамповки металлов. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать недорогой сплав для изготовления постоянных магнитов больших сечений (70×70 мм) методом горячей штамповки. Указать марку сплава, химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки. Объяснить, как влияет термическая обработка на структуру, физические и механические свойства сплава.

3. Перечислить требования, предъявляемые к сплавам для подшипников скольжения. Выбрать марку сплава для заливки вкладыша подшипника высокооборотного двигателя. Привести химический состав и эксплуатационные свойства сплава. Описать структурные особенности и указать их влияние на основную рабочую характеристику подшипника.

4. Выбрать пластмассу для изготовления прозрачных оградительных щитков на металлообрабатывающих станках. Привести химическую формулу материала и его физико-механические свойства. Указать способ повышения прочности данного изделия.

Вариант 4

1. Выбрать марку стали для изготовления режущего хирургического инструмента (HRC₃ 50...52) многократного использования. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и свойства стали.

2. От многих деталей металлорежущих станков (шпинделей, червяков, кулачков, шестерен и т. п.) требуется сочетание высокой поверхностной твердости (HRC_Э 57...63) и достаточной вязкости сердцевины для предотвращения хрупких разрушений. Выбрать марку стали для таких изделий. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить технологию и режимы обработки для обеспечения указанных свойств изделий. Привести структуру и механические свойства сердцевины и поверхностного слоя изделий.

3. Выбрать сплав для изготовления проволочных нагревателей электропечей с рабочей температурой до 1100°C. Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов и свойства сплава. Указать связь между химическим составом, структурой и свойствами (физическими, механическими, технологическими) сплавов данной группы.

4. В шпинделях металлообрабатывающих станков в качестве цилиндрических опор используются стальные втулки с пластмассовым вкладышем. Выбрать материал вкладыша. Указать классификационную группу пластмассы, ее состав и физико-механические свойства.

Вариант 5

1. Выбрать марку стали для изготовления длинных метчиков, разверток, протяжек, от которых требуется малая деформируемость при термической обработке. Указать марку стали и роль легирующих элементов, отметить влияние легирования на степень деформации изделий при закалке. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Выбрать марку стали для изготовления сварных конструкций, работающих в химически агрессивных средах. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Объяснить суть явления межкристаллитной коррозии и пути ее предотвращения. Назначить режим термической обработки, привести структуру и свойства стали.

3. Выбрать сплав, из которого можно изготовить легкие ($\gamma \approx 2,7 \text{ г/см}^3$) фасонные отливки с прочностью $\sigma_b \approx 220 \text{ МПа}$. Привести марку и химический состав сплава. Назначить способ улучшения структуры такого сплава; указать, какие изменения в структуре и свойствах происходят в результате его применения.

4. Указать основные компоненты резин, используемых для изготовления конвейерных лент, приводных ремней, рукавов и т.п. Каково назначение этих компонентов? Как изменяется структура и свойства сырой резины в процессе формования изделий? Приведите состав и физико-механические свойства одной из резин данного назначения.

Вариант 6

1. Выбрать сталь для инструментов холодного деформирования (вытяжных штампов). Сечение формообразующих частей штампа (пуансонов, матриц) более 25 мм. Указать марку стали, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Выбрать марку стали для изготовления крупногабаритных шариковых подшипников (диаметр шариков $\approx 23 \text{ мм}$). Указать химический состав и роль

легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

3. Для изготовления пружинных электрических контактов ответственного назначения необходим материал, обладающий высокими показателями прочности ($\sigma_B \approx 1200$ МПа), упругости, электропроводности и коррозионной стойкости. Выбрать сплав, удовлетворяющий этим требованиям. Привести его марку и химический состав. Назначить режим термической обработки, объяснить какие изменения происходят в структуре сплава, как они влияют на его механические свойства.

4. Перечислить требования, предъявляемые к материалам подшипников скольжения. Какие пластмассы применяются для таких деталей? Указать классификационные группы этих пластмасс. Привести химическую формулу, строение и свойства одной из них.

Вариант 7

1. Выбрать сплав для изготовления режущего инструмента, эксплуатационные характеристики которого не изменяются при нагреве рабочей поверхности до температур 800...900°C. Привести марку, химический состав, объяснить назначение элементов, образующих сплав. Описать способ изготовления сплава, его структуру, механические и технологические свойства.

2. Выбрать марку стали для спиральных пружин высокой прочности ($\sigma_B \approx 1600$ МПа), применяемых в станкостроении. Описать характерные свойства сталей данной группы. Указать марку выбранной стали, её химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и свойства стали. Предложить способ обработки пружин, значительно повышающий их эксплуатационные свойства.

3. Выбрать сплав для изготовления малонагруженных легких отливок ($\gamma \approx 1,8$ г/см³). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать механические, физические и технологические свойства сплава.

4. Выбрать пластмассу ($\sigma_B \approx 500 \dots 1000$ МПа) для изготовления корпусов машин, судов, контейнеров, кузовов и кабин автомобилей. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее строение, физико-механические свойства и способ получения изделий.

Вариант 8

1. Перечислить требования, предъявляемые к материалам форм литья под давлением. Выбрать сталь для изготовления форм литья под давлением алюминиевых сплавов. Указать марку стали, химический состав и назначение легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать сталь для изготовления валов повышенной прочности ($\sigma_B \approx 1100$ МПа) сечением 40...50 мм. Указать марку стали, химический состав и назначение легирующих элементов. Объяснить, что такое прокаливаемость, как ее величина влияет на выбор марки стали. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Выбрать сплав высокой удельной прочности (отношение предела прочности [МПа] к плотности [г/см^3] около 300) для изготовления нагруженных деталей самолетов. Указать марку сплава и химический состав. Описать структуру, физические, механические и технологические свойства сплава. Назначить режим термической обработки для достижения указанного значения удельной прочности. Привести окончательную структуру и механические свойства сплава.

4. Выбрать пластмассу для изготовления малонагруженных деталей управления машин и механизмов (рукояток, головок, маховичков и т.п.). Указать классификационную группу пластмассы. Описать ее состав, строение, физико-механические свойства и способ получения деталей.

Вариант 9

1. Выбрать марку стали для изготовления измерительного инструмента (калибров, плиток, шаблонов). По условиям работы инструмент должен иметь

высокую твердость и сохранять свои размеры при длительной эксплуатации. Указать марку стали, химический состав и назначение легирующих элементов. Отметить особенности режима термической обработки такого инструмента. Привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Выбрать сплав для изготовления силовых лопаток газовых турбин, работающих при температурах 800...900 °С. Указать марку сплава, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, объяснить ее влияние на основную рабочую характеристику сплава.

3. Выбрать легкий ($\gamma \approx 2,7 \text{ г/см}^3$) сплав для изготовления малонагруженных сварных и клепаных конструкций с высоким сопротивлением коррозии (трубопроводы и емкости для нефтепродуктов, палубные надстройки и т. п.). Привести марку, химический состав и свойства сплава. Объяснить, как меняются механические свойства сплавов этой группы в зависимости от их состава. Указать способ повышения прочности таких сплавов.

4. Выбрать пластмассу для изготовления емкостей для хранения масел, бензина, различных органических растворителей в температурном диапазоне -70...+60 °С. Указать классификационную группу пластмассы, привести ее структурную формулу, химические и физико-механические свойства.

Вариант 10

1. Выбрать марку стали и способ поверхностного упрочнения эксцентриков, кулачков и копиров, которые должны иметь очень высокую поверхностную твердость (HV 1000...1100) и точные размеры (мало деформироваться при термической обработке). Указать химический состав и назначение легирующих элементов. Описать последовательность технологических операций обработки таких изделий и изменения, происходящие при этом в структуре сталей. Привести окончательную структуру и твердость стали в различных частях изделия.

2. Перечислить основные требования, предъявляемые к магнитно-мягким материалам. Выбрать недорогой сплав для изготовления сердечников трансформаторов. Привести марку сплава и химический состав. Указать, как влияют

элементы, входящие в состав сплава, на его свойства. Назначить режим термической обработки, объяснить ее влияние на основные характеристики сплава.

3. Выбрать цветной сплав с прочностью $\sigma_b \approx 400...550$ МПа для изготовления мелких деталей (пробок карбюраторов, жиклеров, различных болтов, винтов, втулок) на токарных станках-автоматах. Указать марку сплава и химический состав. Рассмотреть влияние отдельных элементов, входящих в состав сплава, на его структуру, механические и технологические свойства. Привести механические свойства выбранного сплава. Пояснить, каким состояниям сплава соответствуют указанные в задании нижний и верхний пределы прочности.

4. Выбрать пластмассу для изготовления шкивов клиноременных передач. Указать классификационную группу пластмассы, ее состав и физико-механические свойства.

4.1.2.3. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ 240401.65, 240301.65, 280202.65

Вариант1

1. Выбрать сталь для изготовления сварных корпусов аппаратов, работающих с агрессивными средами при температурах до 650°C (например, регенераторов и реакторов каталитического крекинга). Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов, структуру, физико-химические и механические свойства стали. Обосновать режим термической обработки перед штамповкой корпуса. Объяснить возможную причину ухудшения прочности сварного соединения в сталях этого типа, описать способы борьбы с этим отрицательным явлением.

2. Литые детали трубопроводной аппаратуры (клапанов, кранов, задвижек) для транспортировки слабоагрессивных сред изготавливают из сплавов на основе меди с прочностью $\sigma_b \approx 200...400$ МПа. Выбрать сплав данного назначения, привести марку, химический состав и физико-механические свойства. От-

метить связь между химическим составом, структурой и технологическими свойствами сплавов этой группы.

3. В химической и металлургической промышленности для измельчения природного сырья применяют барабанные шаровые мельницы. Выбрать дешевый материал для изготовления дробящих тел (шаров). Описать примерный химический состав, структуру, механические свойства сплава и способ получения шаров. Какая структурная особенность препятствует использованию этого сплава в качестве конструкционного материала? Каким способом можно изменить его структуру с целью принципиального улучшения механических свойств?

4. Выбрать полимерный материал с рабочей температурой до -60°C для теплоизоляции труб, холодильных камер и т.п. Указать классификационную группу материала. Описать его состав, структуру и физико-механические свойства.

Вариант 2

1. Выбрать марку стали для изготовления бесшовных холоднокатаных труб, используемых в трубопроводах, транспортирующих фреон при температурах до -70°C . Указать химический состав и роль легирующих элементов. Отметить связь между химическим составом, структурой стали и ее механическими и технологическими свойствами.

2. Разрезание бумажного полотна в бумагоделательных машинах происходит с большой скоростью, в результате чего режущая кромка ножей сильно нагревается. Сформулировать основные требования к материалу таких ножей. Выбрать марку стали, привести химический состав, объяснить роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, описать происходящие при этом структурные изменения. Указать окончательную структуру и твердость стали.

3. В вакуумных установках химических лабораторий применяют спай металл-стекло. Каково основное требование, предъявляемое к металлу таких со-

единений? Выбрать сплав для изготовления деталей, спаиваемых с нетеплостойким стеклом. Привести марку, химический состав и физические свойства сплава.

4. Выбрать полимерный материал для лабораторной посуды, используемой при работе с высокоагрессивными жидкостями (кислотами, щелочами, окислителями). Указать классификационную группу материала и его структурную формулу. Привести химические и физико-механические свойства.

Вариант 3

1. Оборудование для бурения скважин в труднодоступных районах доставляется на вертолетах. Это вызывает необходимость резкого снижения веса оборудования при сохранении его прочностных характеристик, т.е. применения материалов с высокой удельной прочностью. Выбрать сплав с удельной прочностью $\sigma_b / \gamma \approx 190$ (σ_b в МПа, γ в г/см³) для изготовления несущих конструкций буровой установки. Указать марку сплава, химический состав, роль легирующих элементов; привести физико-механические и технологические свойства. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную величину удельной прочности. Описать изменения структуры и механических свойств сплава на отдельных этапах термообработки.

2. Вал ротора центробежного насоса для перекачки неагрессивных нефтепродуктов опирается на два радиально-упорных подшипника с диаметром шариков 15 мм. Выбрать марку стали для изготовления деталей такого подшипника, указать химический состав и роль легирующих элементов. Объяснить, как выбор марки стали данного назначения связан с размером подшипника. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость стали.

3. Выбрать сталь для изготовления труб сварных магистральных газопроводов. Привести марку, химический состав, структуру и механические свойства стали. Объяснить влияние отдельных химических элементов на механические и технологические свойства стали. Обосновать необходимость термической об-

работки (и ее режима) сварных стыков трубопровода.

4. В химическом машиностроении, строительстве широко применяются трубы из полимерных материалов. Выбрать недорогой материал для изготовления гибких труб, способных длительно работать в диапазоне $-70...+60^{\circ}\text{C}$. Указать классификационную группу материала, привести его структурную формулу и физико-механические свойства.

Вариант 4

1. Выбрать марку стали для изготовления штампованных профильных (эллиптических, полусферических и т.п.) днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих при температурах до -40°C со средами, не вызывающими заметной коррозии. Привести химический состав, механические и технологические свойства стали; объяснить, как изменяются эти свойства в процессе формования изделий. Обосновать режим термической обработки штампованного изделия перед свариванием его с корпусом аппарата.

2. Литые детали (корпус, крышка, седло, тарелка) дыхательного клапана резервуара для хранения нефтепродуктов изготавливают из сплава с плотностью $\approx 2,7 \text{ г/см}^3$ и прочностью $\sigma_{\text{в}} \approx 180 \text{ МПа}$. Привести марку сплава с такими характеристиками, указать его химический состав и свойства. Описать способ улучшения структуры сплава, обеспечивающий достижение заданной прочности.

3. В практике химической лаборатории широко применяется инструмент (различные пинцеты, шпатели, щипцы, ножницы), сочетающий достаточно высокую твердость ($\text{HRC}_3, 50...55$), упругость и коррозионную стойкость. Выбрать марку стали для изготовления такого инструмента, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную твердость; привести окончательную структуру.

4. Выбрать неметаллический материал для изготовления прозрачной химически и термически (до 1000°C) стойкой лабораторной посуды. Описать строение материала и его физико-механические свойства.

Вариант 5

1. Шестерни роторных компрессоров, грязевых и масляных насосов должны обладать высокой износостойкостью и хорошей сопротивляемостью динамическим нагрузкам. Выбрать марку стали для изготовления шестерен с максимальным сечением 35...40 мм. Привести химический состав стали, объяснить назначение легирующих элементов. Указать способ достижения высокой износостойкости зубьев и режим термической обработки. Описать окончательную структуру и механические свойства в различных частях сечения шестерни.

2. Материал труб некоторых теплообменных аппаратов должен обладать высокими показателями теплопроводности, коррозионной стойкости, а также пластичности. Выбрать сплав ($\sigma_v \geq 350$ МПа, $\delta \geq 45$ %) , удовлетворяющий указанным требованиям. Привести марку, химический состав, отметить его влияние на структуру, механические и технологические свойства сплава.

3. Выбрать марку стали для форм прессования (рабочая температура 200...250 °С) химически активных пластмасс, содержащих минеральные наполнители с высокой твердостью. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Привести режим термической обработки, окончательную структуру и твердость стали.

4. Выбрать пластмассу для изготовления шестерен зубчатых передач, работающих в агрессивных средах. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее состав, строение и физико-механические свойства.

Вариант 6

1. Оборудование, используемое в производстве азотной кислоты (теплообменники, испарители, перегреватели пара и др.), испытывает сильное коррозионное воздействие при повышенных температурах (200...450 °С). Выбрать металл с прочностью $\sigma_v \approx 500$ МПа, из которого можно изготовить детали указанного оборудования методами пластической деформации с применением сварки. Привести марку, химический состав, структуру, механические и технологические свойства выбранного материала.

2. Выбрать марку стали для ответственных крепежных изделий (шатунных болтов поршневых компрессоров, болтов и шпилек центробежных насосов, фланцевых соединений нефтеперерабатывающих установок), испытывающих в процессе работы значительные статические и динамические нагрузки. Указать химический состав и назначение легирующих элементов. Привести режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Выбрать недорогую сталь для изготовления труб и свариваемых с ними фланцев и трубных решеток пароперегревателей, паропроводов, работающих до температуры 550 °С. Указать марку стали, химический состав, роль легирующих элементов. Обосновать режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу с высокой прочностью ($\sigma_{\text{в}} \approx 500 \dots 600$ МПа) для изготовления корпусов реакционных аппаратов, труб магистральных и напорных газо- и нефтепроводов и т.п. Указать классификационную группу материала. Описать его строение и физико-механические свойства.

Вариант 7

1. Проходка нефтяных и газовых скважин производится с помощью бурильных долот, режущий инструмент которых (шарошки) подвержен значительным ударным нагрузкам и абразивному изнашиванию рабочих зубьев. Сформулировать требования по механическим свойствам, предъявляемые к такому инструменту. Выбрать марку стали для изготовления шарошек, указать химический состав и назначение легирующих элементов. Обосновать технологию и режимы обработки, обеспечивающие необходимый комплекс свойств. Привести структуру и твердость в различных частях сечения шарошки.

2. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_{\text{в}} = 200 \dots 300$ МПа, из которого можно изготовить легкий сосуд для хранения химически активных жидкостей. Учесть, что технология изготовления включает холодную пластическую деформацию листовой заготовки с последующей сваркой стыков. Привести марку, химический состав, структуру, механические и технологические свойства сплава. Объяснить влияние способа формования сосуда на механические свойства сплава.

3. Выбрать марку стали с прочностью $\sigma_b \geq 1600$ МПа для изготовления пружинных амортизаторов, уменьшающих вибрации быстроходных машин химических производств (компрессоров, центрифуг, турбоагрегатов и т.п.). Привести химический состав стали и назначение легирующих элементов. Указать режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу для изготовления тормозных колодок подъемных механизмов буровых установок. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее строение и характерные свойства.

Вариант 8

1. Выбрать сталь для сильно нагруженных крупных ответственных деталей химического машиностроения (коленчатых валов, шатунов, штоков поршневых компрессоров; валов и штоков насосов; валов, звездочек и зубчатых колес буровых установок), подвергающихся при работе значительным динамическим нагрузкам. Указать марку стали, химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки на прочность $\sigma_b \approx 1000...1100$ МПа. Привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. В качестве опор валов быстроходных роторных машин химических производств (центробежных компрессоров, центрифуг и т.п.) применяют подшипники скольжения. Перечислить требования, предъявляемые к сплавам для подшипников этого типа. Выбрать марку сплава для изготовления вкладыша подшипника скольжения; привести химический состав и физико-механические свойства. Описать структурные особенности сплава и отметить их влияние на основную рабочую характеристику подшипника.

3. Выбрать экономичный сплав с прочностью $\sigma_b = 300...370$ МПа и хорошей коррозионной стойкостью для изготовления литой запорной аппаратуры (вентилей, кранов) трубопроводов для транспортировки горячей воды и водяного пара. Указать марку, химический состав и структуру сплава. Описать принципиальную технологию получения таких деталей. Предложить режим

термической обработки, повышающий их эксплуатационные характеристики.

4. Выбрать пластмассу для концевых опор валов перемешивающих устройств, обеспечивающих стабильную работу узла трения при повышенных удельных нагрузках (≥ 10 МПа) в диапазоне температур $-40\dots+100$ °С. Указать классификационную группу пластмассы, ее структуру и физико-механические свойства.

Вариант 9

1. Втулки и плунжеры нефтяных глубинных насосов должны иметь очень высокую поверхностную твердость (HV до 1200) и износостойкость, а также сопротивляемость динамическим нагрузкам. Выбрать марку стали для таких деталей, объяснить роль легирующих элементов. Назначить способ поверхностного упрочнения, учитывая, что детали не должны деформироваться в процессе такой обработки. Описать превращения, происходящие в стали, ее окончательную структуру и механические свойства.

2. Выбрать сплав с прочностью $\sigma_v \approx 1000\dots1250$ МПа для тяжело нагруженных деталей химической аппаратуры (сепараторов, центрифуг), подвергающихся воздействию агрессивных сред (сернистый газ, серная, фосфорная, уксусная кислоты) при температурах до 400 °С. Привести марку сплава и химический состав, объяснить роль легирующих элементов в формировании структуры, физико-механических и технологических свойств сплава. Назначить режим термической обработки, отметить ее влияние на свойства сплава.

3. Выбрать сталь для изготовления деталей подшипников качения, работающих в химически агрессивных средах. Привести марку, химический состав, объяснить влияние основных элементов на структуру, физико-химические и механические свойства стали. Назначить режим термической обработки деталей подшипника, указать окончательную структуру и твердость стали.

4. Выбрать резину для газонепроницаемых изделий (кислородных шлангов, различных уплотнений, баллонов). Описать состав, строение и принцип получения резины. Привести характерные свойства выбранного материала.

Вариант 10

1. Выбрать сплав с высокими показателями прочности ($\sigma_B \approx 1100$ МПа) и коррозионной стойкости для изготовления нагруженных деталей машин химических производств (скоростных насосов, турбокомпрессоров, центробежных сепараторов, баллонов для сжатых газов). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать структуру, физико-механические и технологические свойства. Указать режим термической обработки, обеспечивающий заданный уровень прочности.

2. Выбрать сплав с твердостью HRA 86...90 (HRC_Э 74...76) для изготовления деталей химического оборудования (трущихся колец торцевых уплотнителей валов; втулок цилиндров насосов и компрессоров; фильер, корпусов и сёдел клапанов и т.п.), подвергающихся изнашиванию в агрессивных средах с абразивными включениями. При выборе материала учесть, что при температуре рабочей среды до 300°C и высокой частоте вращения вала машин (≈ 3000 об/мин) трущиеся поверхности деталей сильно разогреваются. Привести марку сплава, химический состав, объяснить назначение отдельных элементов. Описать способ изготовления сплава, его структуру, механические и технологические свойства.

3. Слесарные и другие работы во взрывоопасных условиях выполняются с применением не искрящего при ударах инструмента. Выбрать марку сплава на медной основе с прочностью $\sigma_B \approx 1200$ МПа для изготовления такого инструмента. Привести химический состав и физико-механические свойства сплава. Назначить режим термической обработки для получения заданной прочности. Объяснить, как изменяются структура и свойства сплава на отдельных этапах этой термообработки.

4. Выбрать масло-, бензо-, щелочестойкую пластмассу для изготовления прозрачного экрана химического аппарата. Привести химическую формулу материала и его физико-механические свойства.

**4.1.2.4. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ
080502.65, 190205.65, 190601.65, 190701.65**

Вариант 1

1. Коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания работают в условиях динамических нагрузок. Выбрать марку стали для изготовления коленчатых валов автомобильных двигателей и режим термической обработки, обеспечивающий оптимальное сочетание механических свойств. Назначить режим местной термической обработки для повышения износостойкости шеек валов. Указать структуру и примерную твердость в различных частях готового изделия.

2. Выбрать экономичный материал для литых деталей автомобилей (блоков цилиндров, картеров, тормозных барабанов) и подъемно-транспортных машин (корпусов редукторов, блоков, барабанов), не испытывающих при работе больших нагрузок ($\sigma_b \approx 200...250$ МПа). Привести марку сплава, описать его структуру и свойства. Указать пути повышения механических свойств сплавов этой группы.

3. Выбрать сплав для деталей автомобильных радиаторов, изготавливаемых методами холодной пластической деформации. Обосновать выбор, учитывая технологические, механические и физические свойства. Отметить влияние технологии изготовления на механические свойства деталей.

4. Выбрать полимерный материал для изготовления бачков главных цилиндров тормоза и сцепления. Указать классификационную группу материала, привести его структурную формулу, химические и физико-механические свойства.

Вариант 2

1. Выбрать марку стали для полуосей заднего моста автомобилей. Указать химический состав стали и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки изделий, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать марку стали для деталей, которые должны обладать высокой твердостью (HRC, 50...55) и устойчивостью в коррозионно-активных средах (карбюраторные иглы, некоторые пружины). Описать свойства стали, объяснить назначение легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Выбрать сплав для нагруженных антифрикционных узлов автомобиля (втулок различных валов, шестерен, например, втулок шатунов двигателей). Расшифровать марку сплава, описать структурные особенности и свойства сплава.

4. Выбрать пластмассу для изготовления различных втулок (педалей, ресор, дверных петель), вкладышей (наконечников тяг рулевой трапеции, шаровых шарниров), шестерен (привода спидометра). Указать классификационную группу пластмассы и ее химическую формулу; привести физико-механические свойства.

Вариант 3

1. Выбрать марку стали для изготовления деталей передних (не ведущих) мостов грузовых автомобилей (балок передней оси, рычагов рулевого управления, рулевых тяг). Привести химический состав, указать влияние отдельных элементов на свойства стали. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать марку стали для изготовления кузовов и крыльев легковых автомобилей. Описать механические и технологические свойства стали. Указать, как влияет химический состав стали на технологию изготовления и качество рассматриваемых изделий.

3. Обосновать выбор прочного ($\sigma_b \approx 1200$ МПа) цветного сплава с высоким пределом упругости ($\sigma_{0,02} = 600$ МПа) для изготовления пружин карбюраторов и бензонасосов. Привести марку, химический состав и свойства сплава. Назначить режим термической обработки для получения указанной прочности, объяснить механизм упрочнения сплава.

4. Выбрать пластмассу для изготовления крыльев, кузовов легковых автомобилей. Указать классификационную группу пластмассы, описать ее состав, строение, физико-механические свойства и способ получения изделий.

Вариант 4

1. Ступицы колес большинства автомобилей отливаются из чугуна. По условиям работы ступиц материал должен обладать не только удовлетворительной прочностью ($\sigma_B \approx 350...370$ МПа), но и достаточной пластичностью ($\delta \approx 10...12$ %). Выбрать марку чугуна. Описать технологию получения указанных деталей. Объяснить, как влияет температурный режим обработки отливок на их структуру и механические свойства.

2. Выбрать марку стали для изготовления малоответственных деталей массового производства (болтов, гаек, винтов, пробок и т. п.). Сталь должна обладать хорошей обрабатываемостью резанием и обеспечивать высокое качество поверхности детали. Указать химический состав стали. Объяснить особенности влияния отдельных химических элементов на свойства стали.

3. Назначить сплав для изготовления вкладышей коренных и шатунных подшипников коленчатых валов автомобильных двигателей. Привести химический состав сплава и объяснить назначение легирующих элементов. Описать структурные особенности сплава и указать, каково их влияние на основные рабочие характеристики сплава.

4. Выбрать материал для изготовления травмобезопасных приборных панелей автомобилей. Указать классификационную группу материала, привести его химическую формулу и физико-механические свойства.

Вариант 5

1. Сильно нагруженные ($\sigma_{0,2} \approx 900...1000$ МПа) шестерни главных передач автомобилей и поворотных устройств подъемных кранов должны сочетать высокую поверхностную твердость (HRC₃ 58...63 на глубине до 1,0...1,6 мм) и износостойкость с хорошей сопротивляемостью действию ударных нагрузок. Выбрать марку стали для таких шестерен, привести ее химический состав, объ-

яснить назначение легирующих элементов. Указать способ упрочнения поверхности и режим термической обработки. Описать окончательную структуру и механические свойства в различных частях сечения изделий.

2. Выбрать сталь для изготовления траков гусеничных машин (и других износостойких деталей, работающих в условиях абразивного трения, высоких давлений и ударов). Привести марку, химический состав и назначение легирующих элементов. Описать механические и технологические свойства стали. Объяснить причину высокой износостойкости. Назначить режим термической обработки, указать окончательную структуру и свойства стали.

3. Выбрать легкий ($\gamma \approx 2,7 \text{ г/см}^3$) и достаточно прочный ($\sigma_B \approx 200 \text{ МПа}$) сплав для отливки поршней автомобильных двигателей, работающих при температурах до 200...300 °С. Привести марку, химический состав сплава, назначение легирующих элементов. Указать режим упрочняющей термической обработки. Описать структуру и свойства сплава.

4. Назначить материал для изготовления накладок тормозных колодок и дисков сцепления. Указать классификационную группу материала, его состав, физико-механические свойства и способ получения изделий.

Вариант 6

1. Выбрать сталь (предел прочности не менее 1300 МПа) для изготовления листовых продольных рессор автомобилей. Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов. Указать режим термической обработки, описать окончательную структуру и механические свойства стали.

2. Выбрать сплав для изготовления болтов ответственного назначения (болтов крепления маховика автомобильного двигателя, шатунных болтов, болтов крепления каната, болтов ступиц барабанов подъемно-транспортного оборудования), испытывающих при работе значительные (в том числе динамические) нагрузки. Привести марку стали, химический состав, назначение легирующих элементов. Указать режим термической обработки, описать окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Для обмотки электромагнитов некоторых приборов (например, в авто-

мобильных реле обратного тока) применяется проволока, обеспечивающая постоянство электрического сопротивления обмотки независимо от температуры. Выбрать оптимальный сплав для этой цели, привести его химический состав, физические и технологические свойства. Указать, какое влияние оказывает фазовое состояние сплава на его основную рабочую характеристику.

4. Выбрать пластмассу для деталей высоковольтных приборов зажигания автомобиля (крышки и бегунка распределителя, крышки катушки зажигания). Указать классификационную группу пластмассы, назначение входящих в нее компонентов и способ получения изделий. Привести свойства пластмассы, обеспечивающие возможность данного применения.

Вариант 7

1. Коленчатые и распределительные валы некоторых автомобильных двигателей отливают из чугуна высокой прочности ($\sigma_B \approx 500$ МПа). Выбрать и расшифровать марку чугуна, описать его структуру и свойства. Указать способ получения таких чугунов, объяснить причину их высоких механических свойств. Предложить возможный режим термической обработки для улучшения механических свойств отливки.

2. Выбрать сталь для изготовления деталей шариковых подшипников, работающих в химически агрессивных средах. Привести марку, химический состав, назначение основных элементов. Указать режим термической обработки, описать окончательную структуру и свойства стали.

3. Выбрать легкий ($\gamma \approx 2,7$ г/см³) деформируемый сплав, сохраняющий механические свойства до 200...300 °С, для штамповки поршней двигателей внутреннего сгорания. Привести марку, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать режим термической обработки и связанные с ним изменения в структуре и механических свойствах сплава.

4. Перечислить основные требования, предъявляемые к материалам подшипников скольжения. Какие пластмассы применяются для таких изделий? Указать классификационные группы этих пластмасс; описать состав, строение и свойства одной из них.

Вариант 8

1. Выбрать марку стали для изготовления пружин подвески легковых автомобилей, а также опорных пружин вибрационных конвейеров. Привести химический состав, объяснить назначение легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, указать окончательную структуру и механические свойства стали. Предложить способ обработки, значительно увеличивающий срок службы пружин.

2. Выбрать экономичную сталь повышенной прочности ($\sigma_B \geq 500$ МПа) для сварных несущих конструкций грузовых автомобилей (поперечин рам, лонжеронов) и подъемно-транспортного оборудования (балок мостов кранов, опорных конструкций конвейеров). Материал должен обеспечивать надежную работу конструкции в условиях низких температур. Привести марку стали, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать механические и технологические свойства стали. Указать возможный режим термической обработки для улучшения эксплуатационных свойств стали.

3. Выбрать легкий ($\gamma \approx 1,8$ г/см³) сплав для изготовления малонагруженных отливок (картеров сцепления, коробок передач). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать физико-механические и технологические свойства сплава.

4. Перечислить требования, предъявляемые к пластмассам для изготовления крышек сигнальных фонарей автомобилей, стекол верхних окон автобусов и т.п. Выбрать материал данного назначения, привести его химическую формулу, описать строение, химические и физико-механические свойства.

Вариант 9

1. Иглы форсунок, плунжеры и гильзы топливной аппаратуры автомобильных двигателей должны иметь высокую поверхностную твердость (HV 1000...1100) и износостойкость. Выбрать марку стали, объяснить роль легирующих элементов. Назначить способ поверхностного упрочнения, учитывая, что эти детали не должны деформироваться в процессе упрочняющей об-

работки. Описать превращения, совершающиеся в стали в процессе упрочнения, ее окончательную структуру и свойства.

2. Назначить марку стали для изготовления клапанов двигателей внутреннего сгорания небольшой и средней мощности. При выборе сплава учесть, что клапаны (особенно выпускные) работают при высокой температуре в коррозионно-активной газовой среде. Привести химический состав, назначение легирующих элементов и режим термической обработки. Описать основные свойства сталей данного класса.

3. Отдельные детали двигателя и ходовой части гоночных автомобилей должны наряду с высокой прочностью ($\sigma_B \geq 1100$ МПа) иметь возможно малый вес, т.е. обладать большой удельной прочностью (отношение предела прочности σ_B [МПа] к плотности γ [г/см³]). Выбрать для этой цели подходящий сплав ($\sigma_B / \gamma > 200$). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать физико-механические и технологические свойства сплава. Указать режим термической обработки, окончательную структуру и свойства сплава.

4. Указать основные компоненты резин, используемых для изготовления автомобильных шин, ремней вентилятора, транспортерных лент и т.п. Каково назначение этих компонентов? Как изменяется структура и свойства резиновой смеси ("сырой резины") в процессе формования изделий? Привести состав и физико-механические свойства одной из резин данного назначения.

Вариант 10

1. Некоторые шестерни редукторов автомобилей изготавливают из стали 55ПП. Расшифровать марку, дать определение основной характеристики такой стали. Назначить режим термической обработки. Привести окончательную структуру и твердость в различных сечениях детали. Обосновать использование сталей этого типа, сравнив их со сталями, обычно применяемыми для подобных целей.

2. Выбрать марку стали для роликовых подшипников (диаметр роликов

не более 10 мм). Указать химический состав стали и роль легирующих элементов. Объяснить критерий выбора стали в зависимости от размера деталей подшипников. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Выбрать легкий ($\gamma \approx 2,7 \text{ г/см}^3$) сплав с прочностью $\sigma_{\text{в}} \approx 220...260 \text{ МПа}$ для изготовления сложных отливок (головок и блоков цилиндров автомобильных двигателей, картеров коробки передач и сцепления). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Описать механические и технологические свойства сплава. Указать способ улучшения структуры сплава, повышающий его эксплуатационные свойства.

4. Описать особенности строения и физико-механических свойств неорганических стекол. Охарактеризовать способы упрочнения листового стекла. Обосновать выбор материала для лобового стекла автомобиля.

4.1.2.5. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ 200101.65, 200501.65

Вариант 1

1. Выбрать сплав для изготовления оснований крупногабаритных оптических приборов (спектрометров, интерферометров). Указать основное технологическое свойство, обеспечивающее способ изготовления данного изделия. Привести марку, химический состав, структуру и механические характеристики сплава. Отметить особое свойство этого материала, способствующее повышению точности измерений указанных приборов.

2. Некоторые детали измерительных (штриховые меры длины), геодезических приборов должны сохранять постоянство размеров при изменении температуры в условиях эксплуатации. Выбрать марку сплава, отвечающего этому требованию в температурном интервале $-80...+100 \text{ }^\circ\text{C}$. Привести зависимость основной характеристики сплавов данной группы от их химического состава.

3. Выбрать марку стали для заводных спиральных пружин часов, секундомеров. Указать химический состав, режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать пластмассу для изготовления прессованного корпуса малогабаритного прибора, работающего в тропических условиях. Описать ее состав, строение и физико-механические свойства.

Вариант 2

1. Многие детали заводного механизма ручных часов (заводное и барабанное колеса, кулачковая муфта, рычаг и др.) по техническим условиям должны иметь твердость HRC₃ 53...54. Их изготавливают из углеродистой стали высокого качества, содержащей $\approx 1\%$ С. Привести марку стали, обосновать ее выбор. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную твердость; указать окончательную структуру стали.

2. В оптико-механических приборах широко применяются цилиндрические опоры - подшипники скольжения, в которых вращаются валы. Выбрать недорогой сплав для изготовления втулки такого подшипника. Расшифровать марку сплава, указать его химический состав и способ получения. Объяснить влияние микроструктуры сплава на его свойство, обеспечивающее возможность данного применения.

3. Литой корпус прибора, используемого в космическом аппарате, должен быть легким и иметь достаточную прочность ($\sigma_b = 320...360$ МПа). Привести марку пригодного для этой цели сплава, его химический состав, назначение легирующих элементов. Указать физические, механические и технологические свойства. Описать способ достижения максимальной прочности в сплаве данного химического состава.

4. Выбрать пластмассу для несмазываемого подшипника скольжения цилиндрической опоры стального вала, работающего в диапазоне $-60...+60$ °С. Привести марку, химическую формулу, строение и физико-механические свойства материала.

Вариант 3

1. Некоторые элементы точных приборов (например, спирали манометров, регуляторы хода часов) должны обладать постоянством упругих характеристик (модуля упругости E) при колебаниях температуры. Выбрать сплав, удовлетворяющий этому требованию. Привести марку сплава, химический состав, характерные свойства. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий получение необходимых свойств.

2. В устройствах поворота оптических элементов (призм, зеркал) оптико-механических приборов используют кулачки с твердостью HRC, 56...63. Выбрать марку сплава для изготовления такого кулачка, описать технологию его обработки для обеспечения указанной твердости. Привести химический состав, окончательную структуру и твердость сплава.

3. По условиям работы прибора его детали должны изготавливаться из коррозионностойких немагнитных (парамагнитных) материалов. Выбрать марку стали, обладающей такими свойствами, указать ее структуру, химический состав и роль легирующих элементов. Какое нежелательное явление может возникнуть при нагреве сталей такого типа (например, при сварке); каковы пути его предотвращения? Привести механические свойства выбранной стали, отметить основной способ повышения ее прочности.

4. Выбрать пластмассу для изготовления наконечников толкателей кулачковых механизмов. Указать основное свойство выбранного материала, обеспечивающее работоспособность пары кулачок-толкатель. Описать состав, строение и физико-механические свойства пластмассы и способ изготовления из нее деталей.

Вариант 4

1. В подвижных системах приборов широко используются червячные передачи. Материал червяков должен обладать достаточной высокой твердостью (HRC, 45...48) и износостойкостью, но не быть слишком хрупким для исключения поломки витков. Выбрать сплав для изготовления червяка, привести марку и химический состав. Указать режим термической обработки, окончательную

структуру и механические свойства сплава.

2. В червячных передачах приборов ведомым элементом является червячное колесо. Для уменьшения трения сопряженных поверхностей пар червяк-колесо их изготавливают из разнородных сплавов. Выбрать сплав (НВ 60...90) для литого червячного колеса, работающего в паре с червяком, указанный в предыдущем задании. Привести марку сплава, химический состав, структуру, механические и технологические свойства.

3. Выбрать сталь для изготовления сварного кожуха прибора, работающего в агрессивной среде. Привести марку стали, ее химический состав, назначение легирующих элементов, механические и технологические свойства. Объяснить возможную причину ухудшения прочности сварного соединения в сталях этого типа. Каковы пути предотвращения такого дефекта?

4. В отсчетных винтовых механизмах приборов для обеспечения плавности хода в паре со стальным винтом используют гайки из пластмасс. Обосновать выбор пластмассы для изготовления такой гайки методом литья под давлением. Привести марку материала, его строение и физико-механические свойства.

Вариант 5

1. В кулачковых механизмах приборов используют материалы с высокой износостойкостью. Выбрать сплав для изготовления кулачка с повышенными требованиями к точности размеров и поверхностной твердости (НВ 1000...1100). Указать марку, химический состав сплава, назначение легирующих элементов. Описать последовательность технологических операций изготовления такого изделия и изменения, происходящие при этом в структуре сплава. Привести окончательную структуру и твердость поверхностного слоя и сердцевины кулачка.

2. Мало нагруженные литые детали авиационных приборов (например, корпуса редукторов) изготавливают из материалов, позволяющих снизить массу прибора. Выбрать промышленный сплав с минимальной плотностью. Привести его марку, химический состав, назначение легирующих элементов. Опи-

сать физические, механические и технологические свойства сплава. Указать способ повышения его прочности.

3. Выбрать марку стали для малонагруженных крепежных изделий и других малогабаритных деталей приборов (винтов, гаек, осей, резьбовых оправ для оптических деталей). Какие свойства таких сталей обеспечивают возможность массового производства деталей на токарных автоматах? Опишите основные приемы (металлургические, технологические), используемые для достижения этих свойств.

4. Выбрать пластмассу для изготовления прозрачных шкал приборов. Описать ее состав, строение, физико-механические свойства и способ получения деталей.

Вариант 6

1. Выбрать сплав для мембран, сильфонов, обладающих немагнитностью и способных работать в агрессивных средах при температурах $-200...+400^{\circ}\text{C}$. Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Указать способ изготовления таких изделий и его влияние на свойства сплава. Какое механическое свойство обеспечивает возможность данного способа изготовления? Какую операцию следует включить в технологический процесс для облегчения формования этих изделий из выбранного материала?

2. Перечислите основные требования, предъявляемые к материалам постоянных магнитов. Выбрать наиболее экономичный сплав для изготовления постоянного магнита методом горячей штамповки. Привести марку, химический состав, роль легирующих элементов и основные рабочие характеристики сплава. Назначить режим термической обработки, объяснить ее влияние на структуру, физические и механические свойства сплава.

3. Некоторые шестерни, червяки, рейки зубчатых передач приборов изготавливают из стали 20Х. По техническим условиям твердость поверхности этих деталей должна быть HRC₂ 56...62. Обосновать последовательность операций обработки деталей, обеспечивающих заданную твердость. Объяснить, как из-

меняются структура и твердость стали на каждом этапе применяемой технологии упрочнения.

4. Перечислить основные типы пластмасс, применяемых для изготовления фольгированных диэлектриков. Какой материал следует предпочесть для печатных плат, работающих при повышенной влажности и испытывающих значительные механические нагрузки? Описать состав, строение и физико-механические свойства выбранного материала.

Вариант 7

1. Основание часового механизма (платину) изготавливают холодной штамповкой с последующей расточкой углублений и выступов для монтажа различных деталей. Выбрать сплав с высокой пластичностью ($\delta \geq 40\%$), обладающий хорошей обрабатываемостью резанием, высокими антикоррозионными и декоративными свойствами. Привести марку, химический состав, отметить его влияние на структуру, механические и технологические свойства сплава. Объяснить, как влияет механическая обработка на свойства металла. Обосновать в связи с этим режим термической обработки, необходимой после формования платины.

2. Ответственные зубчатые колеса высокой точности, используемые в редукторах приборов, имеют твердость HRC₃, 27...32. Обосновать выбор стали данного назначения, привести ее марку, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим необходимой термической обработки, указать окончательную структуру и механические свойства.

3. В качестве опор качения в приборах используют шариковые подшипники с наружным диаметром ≤ 30 мм. Выбрать марку стали для изготовления деталей таких подшипников. Указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и твердость выбранной стали. Какую марку (и почему) следовало бы использовать для деталей крупногабаритного подшипника?

4. Выбрать пластмассу для изготовления зубчатых колес бесшумных зуб-

чатых передач приборов. Привести марку, состав, строение и физико-механические свойства выбранного материала.

Вариант 8

1. Для обеспечения относительного поступательного перемещения деталей или узлов приборов применяются устройства, в которых контакты рабочих поверхностей подвижного узла (каретки) и неподвижной направляющей осуществляются через стальные шарики (ролики). Выбрать сплав для изготовления такой направляющей с высокой твердостью $HRC_3 \geq 55$ и износостойкостью. Привести марку и химический состав сплава. Обосновать режим термической обработки. Указать окончательную структуру и механические свойства сплава.

2. Выбрать марку сплава для упорных (не токоведущих) плоских пружин элементов переключателей (фиксаторов, кулачковых механизмов). Привести химический состав, режим упрочняющей термической обработки, окончательную структуру и механические свойства сплава.

3. Для неразъемных соединений деталей из хрупких материалов (керамики, некоторых пластмасс) требуются заклепки с высокой пластичностью ($\delta \geq 45\%$). Выбрать подходящий заклепочный материал. Указать марку, химический состав, структуру и свойства. Привести механические свойства сплава в исходном состоянии и после расклепывания и объяснить причину их различия.

4. Выбрать полимерный материал для герметизации корпуса прибора, работающего при низких (до $-80\text{ }^\circ\text{C}$) температурах. Указать состав, строение и физико-механические свойства материала.

Вариант 9

1. Вал поворотного устройства телескопа должен обладать высоким комплексом механических свойств ($\sigma_B = 800\text{...}1000\text{ МПа}$, $\delta = 9\text{...}18\%$) и коррозионной стойкостью. Выбрать марку сплава для изготовления вала. Указать химический состав и назначение легирующих элементов. Привести режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства сплава.

2. Для предохранения деталей приборов от вредного воздействия vibra-

ций их устанавливают на амортизаторах. Выбрать сплав для пружины амортизатора с высокой прочностью ($\sigma_{0,2} \geq 1600$ МПа). Привести марку сплава, химический состав, назначение легирующих элементов. Указать режим термической обработки, окончательную структуру и механические свойства сплава.

3. Нагруженные детали несущих конструкций приборов летательных аппаратов должны иметь высокую удельную прочность. Выбрать сплав для штампованных корпусных деталей приборов с удельной прочностью $\sigma_b / \gamma \approx 190$ (σ_b в МПа, плотность γ в г/см³). Указать марку, химический состав, роль легирующих элементов. Привести физические, механические и технологические свойства сплава. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданную величину удельной прочности. Описать, как изменяется структура и механические свойства сплава на отдельных этапах термической обработки.

4. Выбрать пластмассу для изготовления малонагруженных деталей управления приборов (кнопок, ручек, маховичков и т.п.). Описать ее состав, строение, физико-механические свойства и способ получения деталей.

Вариант 10

1. Обосновать выбор сплава для токопроводящих пружин с прочностью $\sigma_b = 1000 \dots 1200$ МПа. Привести марку, химический состав, физические и механические свойства сплава. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданный уровень прочности. Объяснить влияние структурных изменений, происходящих на отдельных этапах термообработки, на механические свойства сплава.

2. Выбрать сталь для ответственных ($\sigma_b = 900 \dots 1000$ МПа) крепежных деталей (болтов, винтов, шпилек), испытывающих при работе значительные динамические нагрузки. Привести марку стали, химический состав, назначение легирующих элементов. Указать режим необходимой термической обработки, окончательную структуру и механические свойства стали.

3. Многие детали несущих конструкций приборов изготавливают методом холодной пластической деформации. Указать основное требование, предъ-

являемое к материалам таких изделий. Выбрать экономичный сплав для деталей стационарных приборов, изготавливаемых глубокой вытяжкой (корпусов, кожухов, колпачков, стаканов). Привести марку, химический состав и механические свойства сплава. Отметить связь между его химическим составом и технологическими свойствами. Объяснить влияние данного способа изготовления деталей на механические свойства используемого материала.

4. Перечислить полимерные материалы, пригодные для изготовления прозрачных колпачков сигнальных фонарей приборов. Выбрать материал данного назначения для работы в температурном диапазоне $-60\dots+90^{\circ}\text{C}$; описать состав, строение и физико-механические свойства.

4.1.2.6. ЗАДАНИЕ НА ВТОРУЮ ЧАСТЬ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

200402.65

Вариант 1

1. Некоторые острые хирургические инструменты с высокой твердостью (HRC, 62...64) изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей. Выбрать марку стали для такого инструмента, указать её химический состав. Привести режим термической обработки и структуру стали, обеспечивающие заданный уровень твердости. Обосновать предельную температуру нагрева, которую можно использовать при многократной "тепловой стерилизации" такого инструмента.

2. Обосновать выбор легкого (плотность $\approx 2,7 \text{ г/см}^3$) сплава для изготовления штампованного футляра для микрохирургического инструмента. Привести марку, химический состав, механические и технологические свойства сплава. Объяснить, как (и почему) влияет способ изготовления такого изделия на механические свойства сплава. Какая термическая обработка должна предшествовать штамповке изделия?

3. Для удаления из глаза инородных ферромагнитных тел применяют ли-

той постоянный магнит. Перечислить требования, предъявляемые к материалам постоянных магнитов, и выбрать сплав данного назначения. Указать марку сплава, физические и технологические свойства. Объяснить, как влияет применяемая термическая обработка на магнитные характеристики сплава.

4. Выбрать полимерный материал, сочетающий достаточную прочность ($\sigma_B \approx 16...18$ МПа) и высокую пластичность (δ до 1000 %), для мягких емкостей различного назначения (например, шприц-тюбиков одноразового использования). Привести структурную формулу, химические и механические свойства материала.

Вариант 2

1. Соединительный винт в конструкции голеностопного протеза подвергается значительным статическим ($\sigma_B \geq 600$ МПа) и динамическим нагрузкам. Выбрать марку стали для винта диаметром 10 мм. Привести режим необходимой термической обработки. Указать окончательную структуру и механические свойства стали. Объяснить, какую сталь следовало бы использовать для винта диаметром 20...25 мм.

2. Для снижения веса переносных медицинских приборов их детали стараются изготавливать из материалов с невысокой плотностью. Выбрать промышленный сплав с минимальной плотностью для изготовления малонагруженных литых деталей таких приборов. Привести марку и химический состав сплава. Описать физические, механические и технологические свойства. Указать способ повышения прочности сплава.

3. Обработка эмали зуба, пломб, механических конструкций зубных протезов на высокоскоростных стоматологических установках предъявляет к режущей части боров высокие требования по теплостойкости. Выбрать для этой цели материал с теплостойкостью t_{58} до 800 °С. Привести марку, химический состав сплава, назначение отдельных элементов. Описать способ изготовления сплава, его структуру, механические и технологические свойства.

4. В настоящее время широко применяются светоотверждаемые полимерные пломбировочные материалы. Каковы природа и назначение компонентов

таких материалов? В чем заключается роль светового облучения пломбы? Какие изменения в структуре и свойствах пломбировочного материала оно вызывает?

Вариант 3

1. Многие пломбировочные материалы содержат химически активные компоненты и дисперсные минеральные наполнители с высокой твердостью. При замешивании пломбировочной массы металлическим шпателем продукты его износа могут повлиять на окраску пломбы. Сформулировать требования, предъявляемые к материалу такого шпателя. Выбрать марку стали, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий требуемые свойства данного инструмента. Привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Воронка для обследования наружного слухового канала изготавливается холодной штамповкой из сплава на основе меди. Выбрать наиболее подходящую для этой цели марку сплава, указать его химический состав и механические свойства. Отметить связь между химическим составом, структурой, механическими и технологическими свойствами сплавов данной группы. Объяснить, как влияет способ изготовления воронки на механические свойства сплава.

3. Выбрать марку стали для слабонагруженных крепежных и других серийных деталей приборов (винты, гайки, оси, валики и т.п.). Указать химический состав и роль отдельных элементов. Отметить особые свойства сталей данного назначения, обеспечивающие возможность массового производства деталей на токарных станках-автоматах. Описать металлургические и технологические приемы, используемые для достижения этих свойств.

4. При хирургическом лечении катаракты производится имплантация интраокулярной линзы (ИОЛ) - искусственного хрусталика. Перечислить основные требования, предъявляемые к материалу ИОЛ. Выбрать полимерный материал для изготовления жестких ИОЛ, описать его состав, строение и свойства.

Вариант 4

1. Выбрать сплав для наконечника "глазного магнита" переменного тока, применяемого для удаления из глаза инородных ферромагнитных тел (стальной стружки, опилок и т.п.). Привести марку сплава и химический состав, отметить влияние отдельных элементов на его свойства. Назначить режим термической обработки, объяснить её влияние на основные рабочие характеристики сплава.

2. При извлечении инородных тел из глаза с помощью магнита применяемый офтальмологический инструмент (пинцеты, векорасширители) должен быть немагнитным. Выбрать сталь для такого инструмента, указать марку, химический состав и роль легирующих элементов. Описать структуру, механические и технологические свойства. Объяснить, каким путем в изделиях из такой стали достигается максимальная прочность. В чем причина этого упрочнения?

3. Литые детали переносных медицинских приборов (например, корпус тонометра) изготавливают из легких сплавов (плотность $\approx 2,7 \text{ г/см}^3$) с прочностью $\sigma_{\text{в}} \approx 180...260 \text{ МПа}$. Выбрать марку сплава, привести химический состав. Описать механические и технологические свойства сплава. Указать способ улучшения структуры сплава, повышающий его эксплуатационные свойства.

4. Получение "оттиска" челюстей является первой операцией зубного протезирования. Для этого широко используют силиконовые оттискные материалы, в состав которых входят полимер (диметилсилоксан) и катализатор, а также могут присутствовать наполнители и пластификаторы. Каково назначение указанных компонентов данной композиции? В каком физическом состоянии находится подготовленная к работе оттискная масса? Как изменяются ее структура и свойства в процессе формования оттиска?

Вариант 5

1. Режущий хирургический инструмент (ножи, скальпели, ножницы, пилы) должны иметь высокую твердость (HRC, 57...62) и коррозионную стойкость. Выбрать марку стали для изготовления такого инструмента, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки на заданную твердость. Привести окончательную структуру стали.

2. Выбрать сплав для проволочного электрода - "прижигателя" офтальмологического термокоагулятора (удельное электросопротивление $\rho \approx 1,0...1,5$ мкОм·м). Привести марку, химический состав и свойства сплава. Указать связь между химическим составом, структурой и свойствами (физическими, механическими, технологическими) сплавов данного назначения.

3. Выбрать недорогую сталь для пружинных зажимов резиновых трубок. Описать характерные свойства сталей данной группы. Указать марку и химический состав стали. Назначить режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

4. Выбрать полимерный материал для изделий внутреннего протезирования (клапанов сердца, кровеносных сосудов), а также лабораторной посуды и емкостей для хранения химически агрессивных жидкостей. Указать классификационную группу материала и его структурную формулу. Описать строение, привести химические и физико-механические свойства.

Вариант 6

1. Для изменения направления вращения вала в угловом наконечнике электрической бормашины применяется зубчатая передача, состоящая из продольной и поперечной шестерен. Обосновать выбор стали для изготовления шестерен с высокой износостойкостью. Привести марку и химический состав стали. Описать способ упрочнения поверхности и режим термической обработки шестерен; указать окончательную структуру и твердость.

2. Выбрать марку стали для хирургических сшивающих игл (твердость HRC, 48...52). Указать химический состав, роль легирующих элементов, режим

термической обработки и окончательную структуру стали.

3. Материал спирали медицинского мембранного манометра (тонометра) должен обеспечить высокую чувствительность упругого элемента и независимость модуля упругости (E) от колебаний температуры. Выбрать сплав с высокими упругими свойствами и постоянной величиной E . Привести марку, химический состав, физические и механические свойства сплава. Назначить режим термической обработки, отметить её влияние на свойства сплава.

4. Выбрать полимерный материал с высокой прочностью ($\sigma_B \approx 30 \dots 60$ МПа) для изготовления деталей инъекционных шприцов, корпусов медицинских приборов и т.п. Указать классификационную группу материала, привести его структурную формулу, химические и физико-механические свойства.

Вариант 7

1. Фрезы для обработки зубных протезов должны обладать повышенной теплостойкостью (t_{58} до 500°C). Выбрать марку стали для данного применения, указать химический состав и роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки и описать происходящие при этом структурные превращения в стали. Привести окончательную структуру и твердость стали.

2. Плата, на которой монтируют механизм тонометра, изготавливается из сплава на основе меди с прочностью $\sigma_B \approx 400 \dots 650$ МПа и очень хорошей обрабатываемостью резанием. Выбрать марку сплава, указать химический состав. Отметить влияние отдельных химических элементов на структуру, механические и технологические свойства сплава. Привести механические свойства сплава. Пояснить, каким состояниям сплава соответствуют указанные в задании нижний и верхний пределы прочности.

3. В качестве опоры ротора турбины пневматической бормашины используются два малогабаритных шариковых подшипника. Выбрать марку стали для изготовления деталей (шариков, колец) таких подшипников, привести химический состав. Назначить режим термической обработки этих деталей, указать окончательную структуру и твердость стали. Какую марку стали следовало бы

использовать для деталей крупногабаритного подшипника (например, с диаметром шариков 20 мм)?

4. В хирургии в качестве шовного материала широко используются нити из капрона (нейлона). Каковы химический состав и строение этого материала? Приведите его свойства, обеспечивающие возможность данного применения.

Вариант 8

1. Выбрать марку стали для штампованных зубных коронок. Указать химический состав и роль легирующих элементов, привести структуру и свойства стали. Обосновать режим термической обработки перед операцией штамповки. Объяснить, какое нежелательное изменение в структуре и свойствах стали может произойти, если конструкция протеза предусматривает сварку коронок. Каковы пути предотвращения этого явления?

2. Материал микрохирургического инструмента (особо тонкие пинцеты, держатели игл и т.д.) для некоторых операций на глазах должен обладать высокой прочностью ($\sigma_b \approx 1100...1200$ МПа), быть легким, коррозионностойким и немагнитным. Выбрать подходящий сплав, указать марку, химический состав и структуру. Описать физико-химические, механические и технологические свойства. Назначить режим термической обработки для достижения указанной прочности. Привести окончательную структуру и механические свойства сплава.

3. Выбрать наиболее экономичный сплав для изготовления штампованного кожуха стационарного медицинского прибора. Привести марку, химический состав и механические свойства сплава. Отметить связь между его химическим составом и технологическими свойствами. Объяснить влияние способа изготовления кожуха на механические свойства сплава.

4. Выбрать материал для эластичных медицинских инструментов (катетеры различного назначения, системы взятия и переливания крови и т.п.). Указать классификационную группу материала и его структурную формулу. Описать строение, привести химические и физико-механические свойства.

Вариант 9

1. В качестве направляющей, в которой вращается стальной вал электрической бормашины, используется металлическая втулка - подшипник скольжения. Каково основное требование, предъявляемое к сплавам для подшипников скольжения? Выбрать марку сплава указанного назначения с учетом высокой скорости вращения вала (30000 об/мин). Привести химический состав и физико-механические свойства сплава. Описать его структурные особенности и их влияние на основную рабочую характеристику такого подшипника.

2. Некоторые хирургические молотки изготавливают из углеродистой стали. Сформулировать требования по механическим свойствам, предъявляемые к такому инструменту. Выбрать марку стали, указать химический состав. Обосновать режим термической обработки, привести окончательную структуру и механические свойства стали.

3. В электрических схемах некоторых диагностических приборов используются токопроводящие пружинные контакты. Выбрать сплав с высокими показателями электропроводности, упругости и прочности ($\sigma_b \approx 1100$ МПа). Привести марку, химический состав и физико-механические свойства сплава. Назначить режим термической обработки, обеспечивающий заданный уровень прочности. Объяснить влияние структурных изменений, происходящих на отдельных этапах термообработки, на механические свойства сплава.

4. Перечислить полимерные материалы, используемые для изготовления жесткой упаковки лекарственных средств. Выбрать материал для контейнера повышенной прочности ($\sigma_b \approx 60 \dots 65$ МПа). Указать классификационную группу материала и его структурную формулу, привести химические и физико-механические свойства.

Вариант 10

1. В турбинных бормашинах скорость вращения бора достигает 500000 об/мин. При обработке твердых тканей зуба в таком режиме режущая поверхность бора сильно нагревается. Обосновать выбор стали для бора, обеспечивающий его длительную эксплуатацию. Привести марку, химический состав, роль легирующих элементов. Назначить режим термической обработки, указать окончательную структуру и твердость стали.

2. Выбрать сплав для нагруженных ($\sigma_B \approx 1100...1200$ МПа) внутрикостных имплантантов (например, винтов для остеосинтеза), обладающий хорошей биосовместимостью и инертностью. Указать марку, химический состав и структуру сплава. Назначить режим термической обработки для получения заданной прочности. Привести механические и технологические свойства сплава.

3. В микрохирургии используют кусочки лезвий безопасных бритв из углеродистой стали, зажимаемые в специальных держателях. Привести марку и химический состав такой стали. Назначить режим термической обработки лезвий, формирующий их режущие свойства. Указать окончательную структуру и твердость стали.

4. Акрилоксид - полимерный самотвердеющий материала, применяемый для пломбирования, изготовления штифтовых зубов и пластмассовых коронок. Основными компонентами акрилоксида являются акриловые и эпоксидные смолы, "инициатор" и молотый кварц ($\approx 10\%$). Какова роль этих компонентов? Опишите методику приготовления пломбировочной массы. Какой физико-химический процесс инициирует эта операция? Как влияет этот процесс на структуру и свойства материала?

4.2. ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Итак, Вы освоили материал «Опорный конспекта», выполним необходимые лабораторные и контрольную (и она зачтена преподавателем) работы. Остается завершающий этап учебного процесса – подготовка и сдача экзамена. Независимо от формы обучения процесс сдачи экзамена происходит очным путем, т.е. при непосредственном общении с преподавателем.

Для облегчения самостоятельной подготовки к экзамену в трех следующих параграфах данной темы приведены вопросы для самопроверки, тестовые задания итогового контроля и вопросы (темы) для экзамена.

Тематика представленных в этих параграфах вопросов соответствует содержанию государственных стандартов на дисциплину «Материаловедение». Понятно, что в связи с обилием используемых в настоящее время промышленных материалов, объем тем, подлежащих изучению, крайне велик.

Однако не следует впадать в панику! Изучение данного курса должно завершиться тем, что Вы будете иметь представление об основах материаловедения, т.е. закономерностях, связывающих химический состав, структуру и свойства материалов и путях целенаправленного изменения этих свойств.

Знание этих закономерностей позволяет производить оптимальный выбор материалов и технологий их обработки для изделий различного назначения, что и является целью материаловедческой подготовки инженеров. Соответствующий учебный материал представлен в «Опорном конспекте» и уже освоен Вами в процессе его изучения, а также выполнения контрольной и лабораторных работ.

4.2.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема 2.1.1

1. В чем сущность металлической межатомной связи? Как сказывается характер межатомной связи на свойствах металлов?

2. Каковы особенности кристаллического строения тел по сравнению с аморфным строением? Перечислите основные типы кристаллических решеток металлов и дайте их характеристику.

3. Что такое анизотропия свойств металлов и в чем ее физическая сущность? Приведите практические примеры анизотропии свойств в металлах.

4. В чем отличие кристаллического строения реальных металлов от строения идеальной кристаллической решетки? Назовите виды несовершенств кристаллического строения металлов и дайте их краткую характеристику. Что такое дислокации? Как влияют несовершенства кристаллического строения на свойства металлов?

5. Почему прочность реальных металлов во много раз ниже теоретической прочности идеальных кристаллических тел? Каковы пути повышения прочности металлов?

Тема 2.1.2

1. Дайте характеристику расплавленного состояния металлов с точки зрения особенностей взаимного расположения атомов.

2. Как происходит процесс кристаллизации металлов из расплавленного состояния? Как образуется зернистое строение металлов? Что такое дендриты и каков механизм образования дендритного строения металлов?

3. Какова энергетическая сущность процесса кристаллизации? Как объяснить процесс кристаллизации с позиций неравенства уровней свободной энергии металла в расплавленном и твердом состоянии?

4. Какова зависимость скорости зарождения и роста кристаллов от степени переохлаждения? Объясните на основе этой зависимости причину образования литых металлов с крупным и мелким зерном.

5. Каковы условия получения металлов в аморфном состоянии (металлических стекол)? В чем заключаются особенности строения и свойств таких материалов?

6. Какова роль твердых примесей при кристаллизации? Что такое модифицирование металла и какова физическая сущность этого процесса?

7. Объясните с точки зрения закономерностей кристаллизации металла особенности строения металлического слитка.

8. Что такое полиморфизм? Расскажите о полиморфных превращениях в железе. При каких температурах они совершаются?

Тема 2.1.3

1. Каков механизм пластической деформации в металлах? Какое влияние оказывает пластическая деформация на структуру металла? Какие изменения претерпевают при этом зерна и блоки мозаичной структуры? Как изменяется количество дислокаций? Какие изменения претерпевает энергетическое состояние металла?

2. Как влияет пластическая деформация на физико-механические свойства металла? Что такое наклеп? Поясните, какова взаимосвязь между изменением свойств деформированного металла и изменением его строения.

3. Какое влияние оказывает повышение температуры на строение и свойства пластически деформированного металла? Поясните физическую сущность явлений возврата (отдыха) и рекристаллизации. Что такое рекристаллизация обработки и собирательная рекристаллизация? Дайте определение порога рекристаллизации.

4. Какова взаимосвязь между температурой плавления металла и температурой порога рекристаллизации? Как влияет степень чистоты металла на температуру порога рекристаллизации? Какова взаимосвязь между температурой порога рекристаллизации и степенью предварительной пластической деформации?

5. Разъясните физическую сущность холодной и горячей пластической деформации. К каким видам пластической деформации следует отнести деформацию железа, меди, алюминия и свинца при температуре 300°C? То же при температуре 20°C? Каков верхний температурный предел холодной пластической деформации для железа? для свинца?

Тема 2.1.4

1. Дайте определение понятий система, компонент, фаза. В чем различие понятий "двухфазный" и "двухкомпонентный" сплав?

2. Назовите важнейшие типы фаз, встречающихся в металлических сплавах.

3. Что такое твердые растворы, какие типы твердых растворов существу-

ют? В чем особенность каждого типа?

4. В чем заключаются особенности химических соединений, встречающихся в металлических сплавах?

5. Что такое диаграммы состояния и в чем заключается их практическое значение? Перечислите и разъясните основные методы построения диаграмм состояния.

6. Начертите диаграмму состояния двойных сплавов, компоненты которых полностью нерастворимы в твердом состоянии. Рассмотрите процесс кристаллизации в доэвтектических, эвтектических и заэвтектических сплавах.

7. Начертите диаграмму состояния двойных сплавов, компоненты которых неограниченно растворимы в твердом состоянии. Укажите, каким фазам соответствует каждая область диаграммы. Определите в каком-либо сплаве состав фаз и количественное соотношение фаз при определенной температуре.

8. На примере диаграммы состояния для случая неограниченной взаимной растворимости компонентов в твердом состоянии рассмотрите и объясните сущность процесса дендритной ликвации.

9. На примере диаграммы состояния для случая полной нерастворимости компонентов в твердом состоянии рассмотрите и объясните сущность процесса ликвации по удельному весу.

10. В чем заключается процесс зональной ликвации в сплавах?

11. Начертите диаграмму состояния сплавов, компоненты которых имеют ограниченную растворимость в твердом состоянии, и рассмотрите процессы кристаллизации сплавов различного состава.

12. Начертите диаграмму состояния сплавов, компоненты которых образуют химические соединения, и рассмотрите процессы кристаллизации сплавов различного состава.

13. Начертите диаграмму состояния сплавов, компоненты которых испытывают полиморфные превращения, и рассмотрите процессы кристаллизации сплавов различного состава.

14. Какова взаимосвязь между характером диаграмм состояния и физико-

механическими свойствами сплавов? Начертите схематические диаграммы, поясняющие эту взаимосвязь.

Тема 2.1.5

1. Что такое конструкционная прочность? Какими характеристиками она определяется?

2. Охарактеризуйте такие критерии прочности, как предел прочности (временное сопротивление), предел текучести, твердость. Каковы методы определения этих характеристик? Что такое жесткость металла? Как она оценивается?

3. Что такое надежность? Дайте характеристику таких параметров надежности, как трещиностойкость, ударная вязкость, критическая температура хрупкости (температурный порог хладноломкости). Какими методами оцениваются эти параметры?

4. Что такое долговечность материала? Раскройте смысл понятий долговечности и работоспособности изделий. Каковы типичные причины потери работоспособности металлических изделий и основные критерии долговечности?

5. Каким свойством характеризуется долговечность металлических изделий при циклических нагрузках? Дайте определение понятий "усталость", "выносливость", "предел выносливости". Какова методика оценки предела выносливости?

6. Что такое износостойкость? Какова ее роль в обеспечении долговечности материала? В чем состоит процесс изнашивания? Раскройте смысл основных характеристик процесса изнашивания (абсолютный и относительный износ, скорость и интенсивность изнашивания). Нарисуйте график зависимости износа от времени изнашивания. Охарактеризуйте стадии приработки, нормального и катастрофического износа. Каковы характерные черты различных видов механического, коррозионно-механического и электроэрозионного изнашивания? Назовите распространенные методы повышения износостойкости металлических изделий.

7. Каковы пути повышения конструкционной прочности материалов?

Тема 2.1.6

1. Дайте характеристику фаз, присутствующих в железоуглеродистых сплавах. Что представляют собой феррит, аустенит, цементит, графит? Каковы механические свойства этих фаз?

2. Начертите по памяти диаграмму состояния железо-цементит с сохранением принятых буквенных обозначений и указанием всех характерных температур и концентраций. Обозначьте на диаграмме все фазы и структурные составляющие, присутствующие в каждой области, и укажите, какому превращению при нагреве и охлаждении соответствует каждая линия диаграммы.

3. Как классифицируются железоуглеродистые сплавы по составу и структуре? Какую структуру имеют доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные стали? Какую структуру имеют доэвтектические, эвтектические и заэвтектические чугуны? Какие пределы концентрации углерода свойственны каждой группе перечисленных сплавов?

4. Перечислите постоянные примеси, входящие в состав железоуглеродистых сплавов, и укажите источники их поступления. Какое влияние оказывают эти примеси на свойства железоуглеродистых сплавов? Какова зависимость механических свойств железоуглеродистых сплавов от содержания в них углерода?

5. Как классифицируются углеродистые стали и как они маркируются по ГОСТу?

6. Каковы области применения углеродистых сталей общего назначения?

7. В чем заключаются особенности состава автоматных сталей и как он влияет на их обрабатываемость резанием?

8. В чем заключается различие стабильной и метастабильной диаграмм состояния железоуглеродистых сплавов? Каковы условия кристаллизации сплавов, описываемых диаграммой каждого типа?

9. Какую структуру имеют серые чугуны в зависимости от типа металлической основы? Назовите условия получения серых чугунов. Как маркируются серые чугуны по ГОСТу?

10. Какую структуру имеют высокопрочные чугуны? Каковы условия их получения и чем объясняются их повышенные механические свойства? Как маркируются высокопрочные чугуны по ГОСТу?

11. Как получают ковкие чугуны? Какие виды ковкого чугуна существуют в зависимости от металлической основы? Чем объясняются повышенные механические свойства ковких чугунов и как они маркируются по ГОСТу?

12. Приведите примеры использования рассмотренных видов серых чугунов.

Тема 2.1.7

1. В чем заключается термическая обработка стали и каково ее назначение?

2. Какие превращения совершаются в сталях с различным содержанием углерода при нагреве? Каков механизм образования аустенита из феррито-цементитной смеси?

3. Какова физическая природа роста аустенитного зерна при нагреве? В чем практическое значение величины зерна стали? Что такое перегрев и пережог?

4. Как изменяется скорость превращения аустенита в феррито-цементитную смесь в зависимости от степени переохлаждения аустенита? Начертите диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита эвтектоидной стали и разъясните смысл всех линий и областей на диаграмме.

5. Покажите с помощью диаграммы превращения переохлажденного аустенита, как изменяются структура и свойства стали в зависимости от скорости охлаждения стали из аустенитного состояния. В чем различие перлита, сорбита, троостита и бейнита?

6. В чем заключается мартенситное превращение аустенита, каковы условия развития этого превращения? Каковы структура и свойства мартенсита?

7. Каковы причины сохранения остаточного аустенита при закалке?

8. Какие превращения совершаются в закаленной стали при отпуске? Как изменяются свойства стали при отпуске?

9. В чем отличие структуры стали, получаемой в результате закалки от аналогичной структуры, получаемой при отпуске (например, чем отличается сорбит закалки от сорбита отпуска)? Как это различие сказывается на свойствах стали?

10. Как осуществляется термомеханическая обработка конструкционной стали и каковы ее преимущества перед обычной термической обработкой? Назовите разновидности термомеханической обработки. В чем особенности каждой из них?

Тема 2.1.8

1. Каково назначение отжига стали? Какие существуют виды отжига и в чем их различие? Что такое нормализация стали, в чем ее отличие от отжига и каково назначение?

2. Как выбрать температуру нагрева при закалке изделий из доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной стали?

3. Что такое прокаливаемость стали и какие факторы на нее влияют? Почему важна высокая прокаливаемость?

4. Перечислите дефекты, возникающие в стальных изделиях при закалке. Как уменьшить опасность их возникновения?

5. Перечислите важнейшие виды закалки. В чем преимущества и недостатки каждого вида?

6. Для чего применяется поверхностная закалка стальных изделий? Назовите важнейшие методы поверхностной закалки и расскажите о способах их осуществления.

7. Каковы физические основы поверхностной закалки с индукционным нагревом током высокой частоты? Как изменяется структура по сечению закаленного металлического изделия в зависимости от параметров индукционного нагрева? Приведите типичные примеры использования данного вида закалки.

8. Как осуществляется закалка с газопламенным нагревом? В каких случаях ее обычно применяют?

9. Как влияет лазерный нагрев различной мощности на структуру метал-

ла? Для каких изделий рекомендуется закалка с лазерным нагревом?

10. Какова цель обработки стали холодом? Расскажите о способе осуществления этой операции и разъясните физическую сущность.

11. Каково назначение отпуска закаленной стали? Какие виды отпуска существуют и в каких случаях они применяются?

Тема 2.1.9

1. В чем принципиальное различие химико-термической и термической обработки?

2. Что такое цементация? Какова ее цель? Какие стали и изделия обычно подвергают цементации? Какая термическая обработка применяется после цементации, какова ее цель? Каковы структура и свойства стали после цементации? Какие существуют способы цементации, в чем их суть?

3. Что такое азотирование, какова его цель? Какие стали и изделия подвергают обычно азотированию? Перечислите последовательные операции принципиальной технологии изготовления (обработки) азотированных изделий. Изложите сущность основных способов азотирования.

4. В чем суть цианирования? Как оно осуществляется? Какие свойства приобретает сталь после цианирования? Каковы преимущества и недостатки этого метода по сравнению с цементацией и азотированием?

5. В чем заключается борирование? Каковы способы его осуществления? Каковы свойства борированной стали? В каких случаях целесообразно применять этот метод химико-термической обработки?

6. Перечислите распространенные способы диффузионного насыщения стали металлами. Каковы характерные свойства изделий после насыщения их поверхности различными металлами? Приведите примеры использования этих видов обработки.

7. Назовите современные методы получения износостойких покрытий помимо традиционной химико-термической обработки. Каковы основные достоинства этих методов. Каковы свойства изделий с такими покрытиями?

8. Какой принцип плазменного нанесения покрытий? Каковы главные области применения этой технологии?

9. В чем суть процесса химического осаждения покрытия из газовой фазы? Какие покрытия обычно осаждают? Каковы свойства изделий с такими покрытиями?

10. В чем суть процесса вакуумного ионно-плазменного напыления покрытий? Какими способами оно осуществляется? Какие изделия обрабатывают преимущественно этим методом? Как в результате изменяется их износостойкость?

Тема 2.1.10

1. Как влияют различные элементы на положение критических точек железа? В частности, каково влияние никеля, хрома, молибдена, марганца, кремния, вольфрама, ванадия, титана?

2. Какие легирующие элементы значительно повышают прочность феррита, не снижая вместе с тем его пластичности?

3. Как подразделяются легирующие элементы в стали по своему взаимодействию с углеродом? Назовите важнейшие карбидообразующие элементы, расположив их в ряд по убыванию прочности образуемых карбидов. Приведите примеры наиболее распространенных некарбидообразующих элементов.

4. Перечислите легирующие элементы, наиболее значительно повышающие устойчивость переохлажденного аустенита. В чем практическая ценность таких элементов?

5. Какое влияние оказывают легирующие элементы на положение мартенситной точки? Объясните взаимосвязь между этим влиянием и количеством остаточного аустенита в закаленной стали.

6. Назовите элементы, резко понижающие склонность к росту зерна аустенита при нагреве. Объясните механизм действия этих элементов.

7. В чем заключается положительное воздействие легирующих элементов на процессы отпуска закаленных сталей?

8. Как классифицируются легированные стали по назначению?

9. Каковы принципы маркировки легированных сталей? Выпишите из учебника несколько марок легированных сталей и определите по ним их состав.

Тема 2.1.11

1. Каковы основные требования, предъявляемые к конструкционным сталям?
2. Чем различаются механические свойства легированных и нелегированных конструкционных сталей? Какие элементы наиболее часто применяются для легирования конструкционных сталей? Какова роль этих элементов?
3. В чем заключается природа отпускной хрупкости конструкционных сталей? Каковы способы ее устранения?
4. На какие группы по назначению подразделяются легированные конструкционные стали?
5. Для каких условий работы применяются цементуемые стали? Приведите две-три марки цементуемых сталей, назначьте режимы их цементации и последующей термической обработки.
6. Для каких условий работы применяются улучшаемые стали? Что такое улучшение? Приведите две-три марки улучшаемых сталей и назначьте режимы их термической обработки.
7. Каковы способы создания высокопрочных конструкционных сталей?
8. Какие факторы влияют на свариваемость стали?
9. Перечислите требования к строительным сталям. Какими элементами они легируются?
10. Перечислите требования к пружинным сталям, приведите две-три марки этих сталей и назначьте режимы термической обработки.
11. Каков состав шарикоподшипниковых сталей? Объясните назначение термической обработки этих сталей.

Тема 2.1.12

1. На какие группы по назначению подразделяются инструментальные стали?
2. Какие требования предъявляются к сталям для режущего инструмента? Какие элементы наиболее часто входят в их состав и какой термической обработке они подвергаются? Дайте обоснование применяемым режимам термической обработки и объясните роль легирующих элементов.

3. Дайте характеристику быстрорежущих сталей. Объясните, благодаря чему достигается высокая красностойкость этих сталей. Дайте обоснование применяемому режиму термической обработки.

4. Какие требования предъявляются к сталям для измерительного инструмента. За счет чего реализуются эти требования?

5. Как классифицируются штамповые стали, какие требования к ним предъявляются? Дайте обоснование применяемым режимам термической обработки и объясните роль легирующих элементов. Приведите две-три марки штамповых сталей.

6. Что такое твердые сплавы, каково их назначение и свойства, какими способами они производятся? Приведите две-три марки твердых сплавов и расшифруйте их состав.

Тема 2.1.13

1. Приведите примеры окалиностойких сталей. Какие легирующие элементы обеспечивают высокую окалиностойкость и какова природа воздействия этих элементов?

2. Какие характеристики являются определяющими в жаропрочных сталях? Какие классы жаропрочных сталей существуют? Каков их состав, структура и температурные пределы применения? Дайте характеристику жаропрочных сплавов на никелевой основе.

3. Чем обеспечивается высокое сопротивление коррозии нержавеющей сталей? Какие классы нержавеющей сталей существуют, каков их состав, структура и область применения?

4. Чем обеспечивается высокое сопротивление износу в износостойких сталях аустенитного и перлитного классов?

5. Дайте характеристику сплавов с особенностями теплового расширения. Каковы области применения этих сплавов?

6. Какая характеристика является определяющей в магнитомягких сплавах? Как достигаются оптимальные значения этой характеристики? Приведите примеры магнитомягких сплавов.

7. Какая характеристика является определяющей в магнитотвердых сплавах и как достигаются оптимальные значения этой характеристики? Приведите примеры магнитотвердых сплавов.

8. Приведите примеры немагнитных сталей и чугунов. Что лежит в основе получения таких материалов?

9. Каким путем обеспечивается высокая электропроводность в проводниковых материалах? Назовите наиболее распространенные проводниковые материалы и дайте их характеристику.

10. Перечислите наиболее распространенные реостатные сплавы. Чем объясняется высокое электрическое сопротивление этих сплавов?

11. Назовите наиболее распространенные сплавы для нагревательных элементов. Каковы температурные пределы их применения?

Тема 2.1.14

1. Опишите характерные свойства титана. Перечислите основные легирующие элементы титановых сплавов. На какие структурные классы подразделяют титановые сплавы?

2. В чем заключается упрочняющая термическая обработка титановых сплавов? Какие сплавы эффективно упрочняются в результате термической обработки?

3. Приведите две-три марки сплавов на основе титана, опишите их состав, структуру, свойства и области применения.

4. В чем преимущество сплавов на основе титана перед сталями и распространенными цветными сплавами?

Тема 2.1.15

1. Опишите характерные свойства алюминия. Как классифицируются сплавы на основе алюминия?

2. С помощью диаграммы состояния алюминий-медь объясните, как происходит упрочнение дуралюмина при термической обработке. Приведите состав, свойства и области применения различных деформируемых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой.

3. Перечислите деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой. Каковы их свойства и области применения?

4. Дайте характеристику литейных алюминиевых сплавов. Каковы их свойства и области применения? Как влияет модифицирование на структуру и механические свойства некоторых сплавов этой группы?

5. На какие группы подразделяются сплавы на основе магния? Каковы особенности термической обработки этих сплавов? Перечислите состав, свойства и области применения распространенных магниевых сплавов различного назначения.

Тема 2.1.16

1. Как изменяются структура и механические свойства латуней в зависимости от содержания цинка?

2. Приведите несколько марок двойных и специальных латуней, дайте характеристику их состава и свойств, назовите области применения.

3. Как изменяются структура и механические свойства оловянных бронз в зависимости от содержания олова?

4. Приведите две-три марки бронз и дайте характеристику их состава и свойств, перечислите области применения.

5. Какой термической обработке подвергается бериллиевая бронза? С помощью диаграммы состояния системы медь-бериллий дайте обоснование применяемому режиму термической обработки.

Тема 2.1.17

1. Какие требования предъявляются к подшипниковым сплавам? Какими особенностями должна обладать структура сплава, чтобы удовлетворять этим требованиям?

2. Перечислите наиболее распространенные подшипниковые сплавы. Дайте характеристику их структуры и свойств. Приведите области их применения.

3. Как классифицируются припои? Приведите марки припоев каждого класса. Каковы их физико-механические свойства и назначение?

Тема 2.1.18

1. Какие материалы называют композиционными? В чем заключается особенность их строения?
2. На чем основана классификация композиционных материалов?
3. Какие требования предъявляются к компонентам композиционных материалов?
4. От каких факторов зависят механические свойства (в частности, прочность) композиционных материалов?
5. Какие компоненты используют обычно для металлических композиционных материалов?
6. Каковы преимущества металлических композиционных материалов по сравнению с обычным металлом? Чем они обусловлены?
7. Какова номенклатура изделий, изготавливаемых из металлических композиционных материалов?

Тема 2.1.19

1. Какие материалы относятся к группе порошковых? Какова технология их получения?
2. Какие факторы влияют на свойства порошковых материалов?
3. Каковы преимущества и недостатки изделий, получаемых методом порошковой металлургии? Каковы в связи с этим области рационального использования таких изделий?
4. Приведите примеры типовых порошковых материалов различного назначения, опишите их свойства.

Тема 2.1.20

1. Какие вещества называются полимерами? В чем принципиальное отличие их строения от металлов?
2. Что такое полимеризация? Рассмотрите этот процесс на примере образования полиэтилена.
3. Что общего и чем отличаются понятия "мономер" и "звено макромолекулы"?

4. Чем отличаются строение и свойства полимеров с линейной и сетчатой формой макромолекулы? Какова реальная пространственная форма линейных макромолекул?

5. Нарисуйте термомеханические кривые полимеров с линейной, лестничной и сетчатой структурой макромолекул. Объясните природу стеклообразного, высокоэластичного и вязкотекучего состояния полимеров.

6. Нарисуйте типичные диаграммы растяжения полимеров с линейной и сетчатой структурой макромолекул в стеклообразном состоянии. Каково принципиальное отличие этих диаграмм, как оно связано со строением полимеров?

7. Как прочность полимеров зависит от скорости нагружения и температуры испытаний? Проиллюстрируйте это соответствующими диаграммами растяжения.

8. В чем заключается процесс старения полимеров? Каковы пути его сдерживания?

9. Какие материалы называются пластмассами? Приведите их классификацию по природе полимерной основы и типу наполнителя.

10. Какие компоненты могут входить в состав пластмасс? Какова роль каждого из них?

Тема 2.1.21

1. От каких факторов зависит работоспособность изделий (деталей машин, конструкций, инструмента)?

2. Назовите основные причины отказа изделий в процессе эксплуатации. Каким требованиям должны удовлетворять материалы для предотвращения: а) деформации; б) хрупкого; в) усталостного разрушения; г) поверхностного износа изделий?

Какие виды упрочняющей обработки следует применять в этих случаях?

4. Какими критериями характеризуются эксплуатационные, технологические и экономические требования, предъявляемые к материалам различного назначения?

4.2.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ (ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ)

Эти тесты предназначены для проверки знаний по всему курсу. Поэтому перед тестированием необходимо изучить основной теоретический материал (лекции, опорный конспект, электронный учебник), выполнить лабораторные и контрольные работы. Желательно также проконтролировать себя, ответив на основные экзаменационные вопросы (см. раздел 4.2.3).

Поскольку в ряде тестов речь идет о конкретных материалах, нужно знать принцип маркировки наиболее распространенных промышленных сплавов на основе железа, меди, алюминия. Может быть следует заготовить "шпаргалку" с примерами маркировки различных групп этих сплавов.

Итоговое тестирование является обязательным для студентов дистанционной формы обучения. Процент правильных ответов учитывается преподавателем при определении экзаменационной оценки.

Студентам других форм обучения также полезно потренироваться в выполнении тестов, так как результаты предварительного аудиторного тестирования могут быть использованы преподавателем для решения вопроса о допуске к экзамену.

ТЕСТ 1

1. Возможность успешной обработки металлов давлением обеспечивает их:

- 1) высокая прочность;
- 2) высокая теплопроводность;
- 3) высокое электросопротивление;
- 4) высокая пластичность;
- 5) хорошие литейные свойства.

2. Максимальное (теоретически) содержание углерода в сталях составляет (в%):

- 1) 6,67;
- 2) 0,8;
- 3) 2,14;
- 4) 1,2;
- 5) 4,3.

3. Для придания ответственным стальным изделиям оптимальных механических и эксплуатационных свойств применяется:

- 1) отжиг;
- 2) закалка;
- 3) нормализация;
- 4) закалка + отпуск;
- 5) горячая пластическая деформация.

4. Основное достоинство быстрорежущих сталей:

- 1) высокая твердость;
- 2) коррозионная стойкость;
- 3) высокая прочность;
- 4) низкая стоимость;
- 5) высокая теплостойкость.

5. Возможность применения баббита, серого чугуна и свинцовой бронзы для подшипников скольжения обеспечивает их:

- 1) гетерогенная (неоднородная) структура;
- 2) высокая твердость;
- 3) низкая твердость;
- 4) высокая пластичность;
- 5) низкая температура плавления.

ТЕСТ 2

1. Наклеп (нагартовка) – это:

- 1) упругая деформация;
- 2) пластическое деформирование металла;
- 3) холодная пластическая деформация;
- 4) горячая пластическая деформация;
- 5) упрочнение металла в результате холодной пластической деформации.

2. Укажите все кристаллические фазы, присутствующие в железоуглеродистых сплавах:

- 1) перлит;
- 2) феррит;
- 3) цементит;
- 4) ледебурит;
- 5) аустенит.

3. "Улучшением" стальных изделий называется:

- 1) закалка + низкий отпуск;
- 2) высокий отпуск;
- 3) закалка + высокий отпуск;

- 4) шлифовка поверхности;
- 5) дробеструйная обработка.

4. Для изготовления инструмента, обрабатывающего детали на больших скоростях резания, следует использовать сталь:

- 1) ХВГ;
- 2) 08;
- 3) У8;
- 4) Р6М5;
- 5) 45.

5. В любой латуни обязательно присутствует:

- 1) Fe;
- 2) С;
- 3) Zn;
- 4) Al;
- 5) Sn.

ТЕСТ 3

1. В наибольшей степени сопротивление материала хрупкому разрушению характеризует:

- 1) твердость;
- 2) предел прочности;
- 3) относительное удлинение;
- 4) ударная вязкость;
- 5) теплостойкость.

2. Для получения изделий из ковкого чугуна применяется:

- 1) холодная штамповка;
- 2) горячая пластическая деформация;
- 3) термомеханическая обработка;
- 4) литьё с применением модифицирования;
- 5) длительный отжиг отливок из белого чугуна.

3. Для полной ликвидации наклепа в металле обычно применяют:

- 1) низкий отпуск;
- 2) закалку;
- 3) рекристаллизационный отжиг;
- 4) старение;
- 5) нормализацию.

4. Режущий хирургический инструмент многоразового использования следует изготовить из сплава:

- 1) У8;
- 2) Д16;
- 3) 12Х189Н10Т;
- 4) 40Х13;
- 5) ВЧ100.

5. Принципиально не упрочняется термической обработкой сплав:

- 1) Д16;
- 2) АМц;
- 3) АКЧ-1;
- 4) В95;
- 5) АЛ8.

ТЕСТ 4

1. Высокую пластичность металлов обеспечивают:

1. вакансии;
2. дислокации;
3. атомы примесей;
4. дислоцированные (междоузельные) атомы;
5. границы зерен.

2. Перечислите все типовые структуры металлической основы различных видов серых чугунов:

- 1) феррит;
- 2) ледебурит;
- 3) феррит + перлит;
- 4) ледебурит + цементит первичный;
- 5) перлит.

3. Структура доэвтектоидных сталей, получаемая при полной закалке, это:

- 1) мартенсит + цементит вторичный;
- 2) мартенсит;
- 3) феррит + перлит;
- 4) мартенсит + феррит;
- 5) аустенит.

4. Для сварных конструкций, работающих в агрессивных средах следует применить сталь:

- 1) У8;
- 2) 08;

- 3) 12X18H10T;
- 4) 12X18H9;
- 5) Ст1.

5. Максимально возможное содержание Zn (в %) в однофазных

(α) латунях:

- 1) 0,8;
- 2) 2,14;
- 3) 6,67;
- 4) 39;
- 5) 45.

ТЕСТ 5

1. К полному возвращению свойств наклепанного металла в исходное (до деформации) состояние приводит процесс:

- 1) нормализации;
- 2) аустенизации;
- 3) возврата;
- 4) рекристаллизации;
- 5) сфероидизации.

2. Цель модифицирования высокопрочных чугунов – это:

- 1) измельчение пластинок графита;
- 2) получение перлитной структуры металлической основы;
- 3) придание графитным включениям шаровидной формы;
- 4) уменьшение количества цементита в структуре;
- 5) устранение ледебурита в структуре.

3. Нагруженная ответственная деталь из среднеуглеродистой стали, работающая при динамических (ударных) нагрузках, должна иметь структуру:

- 1) мартенсит;
- 2) феррит + перлит;
- 3) мартенсит + цементит вторичный;
- 4) мартенсит отпуска;
- 5) сорбит отпуска.

4. Для изготовления недорогого изделия методом холодной штамповки следует использовать сталь:

- 1) 08;
- 2) Ст6;
- 3) У8;
- 4) 12X18H10T;
- 5) 45.

5. Заключительная операция термической обработки, сообщающая сплаву Д16 максимальную прочность, – это:

- 1) закалка;
- 2) низкий отпуск;
- 3) искусственное старение;
- 4) естественное старение;
- 5) рекристаллизационный отжиг.

ТЕСТ 6

1. Какое из перечисленных утверждений неверно? Холодная пластическая деформация:

- 1) повышает прочность металла;
- 2) повышает электросопротивление;
- 3) снижает пластичность;
- 4) повышает ударную вязкость;
- 5) повышает твердость.

2. Принципиально структура серых чугунов отличается от белых наличием:

- 1) феррита;
- 2) графита;
- 3) цементита;
- 4) аустенита;
- 5) мартенсита.

3. Максимальную твердость доэвтектоидной стали обеспечивает структура:

- 1) перлит + феррит;
- 2) троостит;
- 3) мартенсит отпуска;
- 4) мартенсит;
- 5) сорбит отпуска.

4. Теплостойкость сплава – это:

- 1) способность выдерживать высокие температуры;
- 2) способность не изменять размеры изделия при нагревании;
- 3) способность сохранять высокую твердость при длительном нагревании;
- 4) способность не окисляться при высоких температурах;
- 5) жаропрочность.

5. Для эффективного упрочнения сплавов типа дуралюмин используется последовательность операций:

- 1) отжига;

- 2) отпуска;
- 3) закалки;
- 4) обработки холодом;
- 5) старения.

ТЕСТ 7

1. Какой тип решетки имеет железо при комнатной температуре:

- 1) тетрагональная;
- 2) простая кубическая;
- 3) объемно-центрированная кубическая;
- 4) гранецентрированная кубическая;
- 5) гексагональная.

2. Наибольшей прочностью должен обладать чугун со структурой:

- 1) шаровидный графит (Г) + феррит (Ф);
- 2) шаровидный Г + перлит (П);
- 3) пластинчатый Г + П;
- 4) хлопьевидный Г + Ф + П;
- 5) хлопьевидный Г + Ф.

3. При температуре нагрева стали под закалку в ее структуре обязательно должен присутствовать:

- 1) мартенсит;
- 2) цементит;
- 3) феррит;
- 4) аустенит;
- 5) перлит.

4. Для деталей подшипников качения следует использовать сплав:

- 1) сталь 45;
- 2) У7;
- 3) ШХ15;
- 4) Д16;
- 5) ВЧ120.

5. Наибольшей пластичностью обладают латуни, имеющие структуру:

- 1) однофазную α ;
- 2) однофазную β ;
- 3) двухфазную $\alpha+\beta$;
- 4) однофазную аустенитную;
- 5) однофазную ферритную.

ТЕСТ 8

1. Равновесная структура углеродистых сталей и белых чугунов при нормальных температурах формируется из фаз::

- 1) аустенит;
- 2) феррит;
- 3) цементит;
- 4) мартенсит;
- 5) перлит.

2. Сталь У12 после грамотно проведенной закалки имеет структуру:

- 1) перлит + цементит вторичный (П+Ц II);
- 2) мартенсит (М);
- 3) аустенит + Ц II;
- 4) М + Ц II;
- 5) М + феррит.

3. Для экспресс-контроля качества термической обработки обычно используют измерения:

- 1) прочности;
- 2) твердости;
- 3) пластичности;
- 4) ударной вязкости;
- 5) износостойкости.

4. Для обшивки самолетов следует использовать сплав:

- 1) латунь;
- 2) углеродистая сталь;
- 3) высокопрочный чугун;
- 4) дуралюмин;
- 5) силумин.

5. В качестве подшипникового (антифрикционного) материала используют сплав:

- 1) У8;
- 2) Л90;
- 3) БрС30;
- 4) Д16;
- 5) ШХ15.

ТЕСТ 9

1. С увеличением содержания углерода в углеродистых сталях:

- 1) твердость и пластичность растут;
- 2) твердость и пластичность падают;
- 3) твердость растет, пластичность падает;
- 4) твердость падает, пластичность растет;
- 5) твердость растет, пластичность не изменяется.

2. Основная структурная составляющая углеродистых сталей в равновесном (отожженном) состоянии при комнатной температуре:

- 1) феррит;
- 2) цементит;
- 3) перлит;
- 4) аустенит;
- 5) ледебурит.

3. С повышением температуры отпуска стали:

- 1) прочность и пластичность увеличиваются;
- 2) прочность растет, пластичность падает;
- 3) прочность падает, пластичность растет;
- 4) прочность не изменяется, пластичность растет;
- 5) прочность и пластичность уменьшаются.

4. Серые чугуны выгодно отличаются от углеродистых сталей (укажите **все** признаки):

- 1) стоимостью;
- 2) антифрикционными свойствами;
- 3) литейными свойствами;
- 4) обрабатываемостью резанием;
- 5) прочностью.

5. Для литых деталей самолетов, переносных приборов и т.п. следует использовать сплав:

- 1) СЧ10;
- 2) У10;
- 3) Д16;
- 4) АЛ2;
- 5) Л62.

ТЕСТ 10

1. В чем причина роста твердости сталей в равновесном (отожженном)

состоянии при увеличении содержания в них углерода:

- 1) уменьшается размер зерна;
- 2) увеличивается наклеп;
- 3) в структуре появляется ледебурит;
- 4) возрастает количество цементита в структуре;
- 5) при большом количестве углерода в структуре появляется мартенсит.

2. Наибольшей пластичностью обладает:

- 1) эвтектоидная сталь;
- 2) доэвтектоидная сталь;
- 3) заэвтектоидная сталь;
- 4) доэвтектический белый чугун;
- 5) техническое железо.

3. В коррозионностойкой стали обязательно присутствует:

- 1) Mn;
- 2) Ni;
- 3) Cr;
- 4) C;
- 5) Ti.

4. Расположите необходимые операции обработки стальных шестерен

в правильной последовательности:

- 1) закалка;
- 2) цементация;
- 3) высокий отпуск;
- 4) средний отпуск;
- 5) низкий отпуск.

5. Укажите два наиболее важных достоинства сплавов типа дуралюмин,

обусловивших их широкое применение в качестве конструкционных авиационных материалов:

- 1) высокая прочность;
- 2) высокая твердость;
- 3) хорошая ударная вязкость;
- 4) высокая удельная прочность;
- 5) коррозионная стойкость.

ТЕСТ 11

1. Материал для изготовления деталей методом холодной штамповки должен обладать высокими значениями:

- 1) твердости;
- 2) предела текучести;
- 3) предела прочности;
- 4) относительного удлинения;
- 5) модуля упругости.

2. Какой химический элемент преобладает в сталях:

- 1) углерод;
- 2) хром;
- 3) железо;
- 4) никель;
- 5) кислород.

3. Максимальную износостойкость инструмента из стали У10 обеспечивает структура:

- 1) мартенсит (М);
- 2) перлит+цементит (Ц_{II});
- 3) троостит;
- 4) М+ Ц_{II};
- 5) сорбит отпуска.

4. Наибольшей удельной прочностью обладает сплав:

- 1) Л90;
- 2) Д16;
- 3) У12;
- 4) 12Х18Н10Т;
- 5) ВЧ120.

5. Для деталей крупногабаритных роликовых подшипников следует использовать сталь:

- 1) 45;
- 2) У8;
- 3) ШХ6;
- 4) ШХ15;
- 5) 40Х.

ТЕСТ 12

1. В результате сплавления химических элементов А и В сплав не может быть:

- 1) многофазным;
- 2) многокомпонентным;
- 3) однофазным;
- 4) твердым раствором;
- 5) химическим соединением.

2. Наибольшей прочностью обладает чугун:

- 1) ковкий на ферритной основе;
- 2) ковкий на перлитной основе;
- 3) ковкий на феррито-перлитной основе;
- 4) серый на феррито-перлитной основе;
- 5) серый на перлитной основе.

3. Изделия из улучшаемых сталей после стандартной термической обработки имеют структуру:

- 1) троостит;
- 2) мартенсит + феррит;
- 3) мартенсит отпуска;
- 4) сорбит отпуска;
- 5) мартенсит + цементит вторичный.

4. Основная цель легирования наиболее экономичных (мало- и среднелегированных) сталей:

- 1) повышение твердости;
- 2) повышение износостойкости;
- 3) повышение ударной вязкости;
- 4) увеличение прокаливаемости;
- 5) снижение стоимости.

5. Для ответственных зубчатых колес сечением > 100 мм следует использовать сталь:

- 1) 45;
- 2) 40Х;
- 3) 30ХГСА;
- 4) 40ХН;
- 5) 36Х2Н2МФА.

4.2.3. ВОПРОСЫ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА

1. *Материаловедение; задачи и цели изучения дисциплин. Основные понятия – химический состав и структура материалов.*
2. *Основные механические свойства материалов (прочность и твёрдость, пластичность и ударная вязкость); методы их определения; обозначения; размерность.*
3. *Кристаллическое и аморфное строение твёрдых тел. Основные характеристики кристаллических решёток. Типы кристаллических решёток металлов. Полиморфизм. Полиморфные превращения в железе. Анизотропия свойств кристаллических материалов.*
4. *Основные несовершенства (дефекты) кристаллического строения; их влияние на свойства металлов. Прочность идеальных (бездефектных) и реальных металлов.*
5. *Закономерности процесса кристаллизации металлов. Связь между скоростью охлаждения и величиной зерна. Сущность процесса модифицирования. Строение слитка.*
6. *Влияние пластической деформации на строение, механические и физические свойства металлов. Явление наклёпа, его практическое использование.*
7. *Изменение строения и свойств пластически деформированного металла под влиянием нагрева. Явления возврата и рекристаллизации. Зависимость температуры порога рекристаллизации от чистоты металла и степени пластической деформации.*
8. *Рекристаллизация деформированного металла. Холодная и горячая пластическая деформации; влияние этих видов обработки на структуру и свойства металла.*
9. *Сплав, компонент, фаза (суть понятий). Типы фаз в металлических сплавах. Классификация и основные свойства твёрдых растворов и химических соединений.*
10. *Диаграммы состояния (основные понятия). Диаграмма состояния для случая полной взаимной растворимости компонентов в твёрдом состоянии. Правила*

определения химического состава и относительных количеств фаз. Дендритная и зональная ликвация.

11. Диаграммы состояния двойных сплавов для случаев полной нерастворимости и ограниченной растворимости в твёрдом состоянии. Кристаллизация сплавов различного состава. Ликвация по плотности, способы её устранения. Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением.
12. Связь между типом диаграмм состояния и физико-механическими и технологическими свойствами сплавов (закон Курнакова). Практическое значение диаграмм состояния.
13. *Диаграмма состояния "Железо-цементит". Фазы, присутствующие в данной системе, их характеристики. Кристаллизация сплавов с различным содержанием углерода. Структура железистых сплавов; их классификация.*
14. *Зависимость механических свойств железистых сплавов от содержания углерода. Классификация и маркировка железистых сталей.*
15. *Серые чугуны, их классификация по форме графита и строению металлической основы. Влияние скорости охлаждения и примесей на процесс графитизации. Маркировка различных типов серых чугунов.*
16. *Модифицированные чугуны. Условия получения высокопрочного и ковкого чугунов. Связь между структурой и механическими свойствами этих чугунов.*
17. *Сравнительный анализ свойств серых, белых чугунов и железистых сталей. Области применения различных типов серых чугунов.*
18. *Превращения в стали при охлаждении. Диаграмма изотермического превращения переохлаждённого аустенита. Структура и свойства продуктов превращения.*
19. *Диаграмма изотермического превращения переохлаждённого аустенита. Структура и свойства продуктов превращения, образуемых при различных скоростях охлаждения.*
20. *Критическая скорость закалки. Мартенситное превращение и его особенности. Структура и свойства мартенсита. Причина его высокой твёрдости.*
21. *Остаточный аустенит, причины его сохранения при закалке; влияние на свой-*

ства изделий. Обработка стали холодом, её назначение и способ осуществления.

22. *Зависимость твёрдости закалённой стали от содержания углерода. Дефекты закалённой стали, причины их возникновения и меры предупреждения. Преимущества и недостатки различных видов закалки.*
23. *Превращения в закалённой стали при отпуске. Изменение структуры и механических свойств стали в результате отпуска. Отличие структур, получаемых в результате отпуска, от аналогичных структур, образующихся при превращении переохлаждённого аустенита.*
24. *Отпускная хрупкость сталей, её разновидности и способы предотвращения.*
25. *Отжиг стали, его разновидности. Назначение различных видов отжига и режимы их проведения. Структура и свойства стали после отжига.*
26. *Термомеханическая обработка стали и её разновидности. Изменение структуры и свойств стали при термомеханической обработке.*
27. *Прокаливаемость; её влияние на эксплуатационные свойства закалённой стали. Факторы, влияющие на прокаливаемость и критическую скорость закалки.*
28. *Цели легирования стали. Наиболее распространённые легирующие элементы. Влияние легирующих элементов на превращения переохлаждённого аустенита и прокаливаемость стали, мартенситное превращение и количество остаточного аустенита.*
29. *Классификация легированных сталей по структуре и назначению. Маркировка легированных сталей. Примеры легированных сталей различных классов и назначений.*
30. *Конструкционные легированные стали, их классификация, свойства и назначение. Примеры сталей каждого типа. Цементуемые и улучшаемые стали. Режимы термической обработки, структура, механические свойства и области применения этих сталей.*
31. *Цементация стали, её назначение и способы осуществления. Стали, подверженные цементации. Термическая обработка цементованных изделий, их*

структура и свойства.

32. Азотированные стали, его назначение и способы осуществления. Стали для азотирования. Особенности химико-термической обработки изделий при азотировании. Структура азотированных изделий.
33. Цианирование стали, его назначение, разновидности и способы осуществления. Борирование и диффузное насыщение стали металлами.
34. Строительные (низколегированные) стали; их маркировка, химический состав, свойства, области применения.
35. Рессорно-пружинные стали; их маркировка, химический состав, термическая обработка, структура и механические свойства.
36. Подшипниковые стали; их маркировка, химический состав, термическая обработка, структура и механические свойства.
37. Износостойкие стали перлитного и аустенитного классов, их назначение, маркировка, химический состав, термическая обработка, причина высокой износостойкости.
38. *Коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали, природа их коррозионной стойкости; их химический состав, классификация и маркировка. Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей, её природа и способы предупреждения.*
39. Жаропрочность, её характеристики. Факторы, способствующие повышению жаропрочности. Классификация жаропрочных материалов; примеры сплавов различных классов, их химический состав, маркировка, применения.
40. Жаростойкость, её зависимость от химического состава материала. Принцип легирования жаростойких сплавов. Примеры жаростойких сталей и сплавов, их химический состав, маркировка, применения.
41. Магнитомягкие и магнитотвёрдые стали и сплавы; их назначение, химический состав, структура и свойства, цели и режимы термической обработки.
42. Сплавы с высоким электрическим сопротивлением; их назначение, химический состав и классификация. Структурная особенность этих сплавов. Примеры сплавов каждого класса.

43. Сплавы с особенностями теплового расширения и упругих свойств, их назначение, химический состав, свойства.
44. *Классификация инструментальных сталей по назначению. Нетеплостойкие стали для режущего инструмента; их химический состав, маркировка, термическая обработка, структура и механические свойства.*
45. *Быстрорежущие стали; химический состав, маркировка, природа их красностойкости. Изменение структуры и свойств на различных этапах термической обработки.*
46. Твёрдые сплавы, их характерные свойства и назначение. Технология получения, структура и маркировка твёрдых сплавов.
47. Штампованные стали для холодного и горячего деформирования металла; химический состав, маркировка, термическая обработка, структура и механические свойства сталей различных групп.
48. *Классификация сплавов на основе меди. Влияние содержания цинка на структуру, механические и технологические свойства латуней. Классификация и маркировка латуней.*
49. Классификация бронз. Влияние содержания олова на структуру, механические и технологические свойства оловянных бронз. Маркировка, свойства и применения оловянных и безоловянных бронз.
50. Сплавы для подшипников скольжения, их свойства и структурные особенности. Химический состав, структура и свойства распространенных марок подшипниковых (антифрикционных) сплавов.
51. *Классификация алюминиевых сплавов. Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой. (маркировка, химический состав, свойства, применения). Основы упрочняющей термической обработки алюминиевых сплавов.*
52. *Литейные алюминиевые сплавы, их химический состав, маркировка, свойства и применения. Модифицирование и термическая обработка сплавов данной группы.*
53. Сплавы на основе титана, их свойства и области применения. Классификация

титановых сплавов по структуре; химический состав и характерные свойства сплавов каждой группы.

54. Сплавы на основе магния; классификация и маркировка. Химический состав, технологические и механические свойства сплавов различных классов.
55. Композиционные материалы с металлической матрицей; их классификация, особенности строения и свойств; области применения.
56. Классификация неметаллических материалов. Полимеры; основные понятия, особенности высокомолекулярного строения полимеров.
57. Форма макромолекул. Линейные и сетчатые (замкнутые пространственные) полимеры; связь между их строением и свойствами.
58. Физические состояния полимеров (стеклообразное, высокоэластичное, вязкотекучее). Связь между строением (формой макромолекул) и физическим состоянием полимера. Термопластичные и терморезистивные полимеры.
59. Механические свойства полимеров. Типичные диаграммы растяжения термопластичных и терморезистивных полимеров в стеклообразном состоянии. Природа высокой эластичности. Вынужденная эластичность.
60. Влияние температуры и скорости нагружения на прочность полимеров. Долговечность полимеров, факторы, от которых она зависит. Старение полимеров, пути его сдерживания.
61. Пластмассы; их состав, роль различных компонентов.
62. Классификация пластмасс по типу наполнителя и природы полимерной основы. Термопластичные и терморезистивные пластмассы; пресс-порошки, волокниты, слоистые пластики. Характерные свойства соответствующих типов пластмасс.

Примечание. Курсивом выделены вопросы (темы), на которые следует обратить особое внимание!

СОДЕРЖАНИЕ

1. Информация о дисциплине	3
1.1. Предисловие	3
1.2. Содержание дисциплины и виды учебной работы	6
2. Рабочие учебные материалы	14
2.1. Рабочая программа	14
2.2. Тематический план дисциплины	25
2.3. Структурно-логическая схема дисциплины	31
2.4. Временной график изучения дисциплины	32
2.5. Практический блок. Перечень лабораторных работ	33
2.6. Рейтинговая система оценки знаний	34
3. Информационные ресурсы дисциплины	36
3.1. Библиографический список	36
3.2. Опорный конспект лекций	39
3.3. Учебные пособия (электронный учебник, справочники)	112
3.4. Методические указания к выполнению лабораторных работ	113
<i>Работа 1.</i> Изучение структуры металлов и сплавов методом макроскопического и микроскопического анализа	114
<i>Работа 2.</i> Диаграммы состояния и структура двойных сплавов	121
<i>Работа 3.</i> Влияние холодной пластической деформации и последующего нагрева на структуру и свойства металлов	125
<i>Работа 4.</i> Структура и свойства углеродистых сталей и белых чугунов в равновесном состоянии	130
<i>Работа 5.</i> Структура и свойства серых чугунов	135
<i>Работа 6.</i> Термическая обработка (закалка и отпуск) углеродистых сталей	140
<i>Работа 7.</i> Легированные стали. Влияние легирования на прокаливаемость стали	149
<i>Работа 8.</i> Изучение теплостойкости сплавов для режущего инструмента	156

<i>Работа 9.</i> Структура и свойства сплавов на основе алюминия	161
<i>Работа 10.</i> Структура и свойства сплавов на основе меди	169
<i>Работа 11.</i> Структура и свойства сплавов для деталей подшипников качения и скольжения	177
<i>Работа 12.</i> Материалы упругих элементов. Построение характеристик плоских пружин	182
<i>Работа 13.</i> Влияние природы полимера на технологию изготовления изделий из пластмасс	187
3.5. Глоссарий	192
4. Блок контроля освоения дисциплины	209
4.1. Задания на контрольную работу и методические указания к ее выполнению	209
4.1.1. Первая часть (все специальности)	209
4.1.2. Вторая часть	213
4.1.2.1. Задания на вторую часть контрольной работы для студентов специальностей: 140101.65, 140104.65, 140211.65, 140601.65, 140602.65	218
4.1.2.2. Задания на вторую часть контрольной работы для студентов специальностей: 151001.65, 150202.65, 220301.65	227
4.1.2.3. Задания на вторую часть контрольной работы для студентов специальностей: 240401.65, 240301.65, 280202.65	234
4.1.2.4. Задания на вторую часть контрольной работы для студентов специальностей: 080502.65, 190205.65, 190601.65, 190701.65	243
4.1.2.5. Задания на вторую часть контрольной работы для студентов специальностей: 200101.65, 200501.65	250
4.1.2.6. Задания на вторую часть контрольной работ для студентов специальности 200402.65	258
4.2. Итоговый контроль	267
4.2.1. Вопросы для самопроверки	267
4.2.2. Тестовые задания (итоговый контроль)	283
4.2.3. Вопросы для экзамена	295

ШАДРИЧЕВ Евгений Викторович,
СИВЕНКОВ Алексей Валентинович,
ГОРШКОВА Тамара Петровна

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

(технология конструкционных материалов)

Учебно-методический комплекс

Редактор М.Ю. Комарова

Оригинал-макет выполнил А.В. Сивенков

Лицензия ЛР № 202308 от 14.02.97г.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 78.01.07.953 Л.005641.11.03 от 21.11.2003 г.

Подписано в печать ____ .05.2008.

Формат 60×84¹/₁₆.

Б. кн. -журн. П.л. ____ . Б.л. ____ .

Изд-во СЗТУ.

Тираж ____ .

Заказ ____

Северо-Западный государственный заочный технический университет

Издательство СЗТУ, член Издательско-полиграфической ассоциации

университетов России

191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, д. 5