

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Кафедра технологии функциональных и конструкционных материалов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим работам по дисциплине
«Материаловедение специальных сплавов»
для направления подготовки
22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Составитель:
Л.В.Картонова

Владимир 2022

УДК 620.22

Рецензент:

Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Технология машиностроения»
Жданов Алексей Валерьевич

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Материаловедение специальных сплавов» для направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»/ Сост.: Л.В.Картонова. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир, 2022 – 41 с.

Содержат методические указания к выполнению практических работ по курсу «Материаловедение специальных сплавов».

Составлены по дисциплине «Материаловедение специальных сплавов» для направления подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Табл. 8. Ил.3. Библиогр.: 22 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Решение важнейших технических задач зависит от развития материаловедения. Условия работы современных машин и приборов выдвигают высокие требования в механическом и эксплуатационным свойствам материалов в широком диапазоне температур. Непрерывный процесс создания новых материалов обогащает науку о материалах.

Цель освоения дисциплины «Материаловедение специальных материалов» – приобретение универсальных и профессиональных компетенций, предусмотренных требованиями ФГОС ВО, связанных с формированием теоретических и практических знаний в области физических основ материаловедения, изучение объективных закономерностей зависимости свойств сплавов, применяемых в технике, от их химического состава, структуры и условий эксплуатации, а также методов упрочнения для наиболее эффективного использования.

Основные задачи курса:

правильно оценивать свойства материалов, применяемых в технике, анализировать данные об их составе, структуре и способах получения;

определение областей рационального практического использования специальных материалов с учетом условий их эксплуатации;

уметь устанавливать связь между составом, структурой сплава и физическими, механическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами;

иметь правильно сформированные научные представления о реальных возможностях улучшения каких-либо свойств сплавов путем изменения его структуры;

знать обо всех способах упрочнения сплавов, которые могут обеспечить долговечность и работоспособность изделий.

В табл. 1 указаны планируемые результаты обучения по данной дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций).

Таблица 1

Планируемые результаты обучения

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции	
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
1	2	3
УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1. Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач, в том числе с использованием систем искусственного интеллекта	Знает принципы сбора, отбора и обобщения информации, методики системного подхода для решения профессиональных задач
	УК-1.2. Умеет анализировать и систематизировать разнородные данные, оценивать эффективность процедур анализа проблем и принятия решений в профессиональной деятельности.	Умеет анализировать и систематизировать разнородные данные
	УК-1.3. Владеет методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий.	Владеет способностью решать производственные и исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ПК-1. Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.	ПК-1.1. Знает основные типы металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач	Знает свойства и области применения основных групп металлических и неметаллических материалов; физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры – на свойства современных металлических материалов
	ПК-1.2. Умеет устанавливать закономерности взаимосвязи состава материалов, их структуры и физико-механических свойств	Умеет устанавливать закономерности взаимосвязи состава материалов, их структуры и физико-механических свойств

Продолжение табл. 1

1	2	3
	ПК-1.3. Владеет способностью обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач	Владеет способностью обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических и неметаллических материалов различного назначения для решения профессиональных задач
ПК-2. Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения	ПК-2.1. Знает принципы рационального выбора материалов, оценки надежности материалов и объектов	Знает научные основы выбора металлических и неметаллических материалов
	ПК-2.2. Умеет анализировать условия использования материалов, формулируя требования необходимых физико-механических, эксплуатационных свойств к ним, включая экологичность и экономическую эффективность их производства; осуществлять рациональный выбор материалов, оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения.	Умеет анализировать условия использования материалов, формулируя требования необходимых физико-механических, эксплуатационных свойств к ним, включая экологичность и экономическую эффективность их производства; осуществлять рациональный выбор материалов, оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
	ПК-2.3. Владеет способностью оценивать надежность материалов и долговечность конечных изделий из них, используя знания о взаимосвязи состава, структуры и эксплуатационных свойств	Владеет навыками выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности экологических последствий их применения
ПК-4. Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к	ПК-4.1. Знает методы анализа и обработки результатов экспериментов, правила оформления отчетной документации, включая требования ГОСТ и нормоконтроля	Знает методы анализа и обработки результатов экспериментов, правила оформления отчетной документации
	ПК-4.2. Умеет анализировать структуру новых материалов;	Умеет анализировать структуру новых материалов;

Продолжение табл. 1

1	2	3
потребностям производства и разрабатывать специальные методики.	адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики	устанавливать связь состава и структуры материала с механическими, химическими, технологическими и эксплуатационными свойствами
	ПК-4.3. Владеет навыками статистической обработки и анализа результатов исследований, формулирования выводов и заключений, оформления отчетной документации	Владеет навыками анализа результатов исследований, формулирования выводов и заключений, оформления отчетной документации

Практические занятия являются формой групповой аудиторной работы в небольших группах для освоения практических навыков с целью формирования компетенций, необходимых для освоения основной образовательной программы (табл. 2).

Таблица 2

Перечень тем практических занятий

№ п/п	Наименование практических занятий
1.	Расчет межплоскостных расстояний и рентгеновской плотности вещества
2.	Изучение диаграммы состояния железо-углерод. Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы.
3.	Определение режимов термической обработки и конечной микроструктуры отливок из углеродистых сталей
4.	Выбор легированных сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Расчет межплоскостных расстояний и рентгеновской плотности вещества

Цель работы: изучить рентгеновский метод исследования структуры металлов и сплавов.

Задания

1. Используя учебники и пособия, изучить условия получения рентгеновских лучей и их свойства, ознакомиться с выводом уравнения Вульфа-Брегга, лежащего в основе изучаемого метода порошка (рентгеноструктурного анализа поликристаллических веществ методом Дебая-Шерера).
2. Ознакомиться с устройством рентгеновского аппарата камеры РКД и рентгеновской трубки.
3. Освоить методику установления вещества по межплоскостным расстояниям.
4. Рассчитать рентгеновскую плотность исследуемого вещества.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

Общие положения

Рентгеновские лучи возникают при соударении быстролетающих электронов с атомами любого элемента и представляют собой электромагнитные волны в диапазоне между ультрафиолетовыми лучами и гамма-лучами. Рентгеновский спектр может быть сплошным (тормозным) либо линейчатым (характеристическим). Длина волны рентгеновского излучения по величине близка к межатомным расстояниям в кристаллической решетке вещества. Поэтому кристаллы являются для рентгеновских лучей естественными трехмерными дифракционными решетками.

Рентгеноструктурный анализ основан на отражении рентгеновских лучей от атомов кристаллической решетки и интерференции рентгеновских лучей, т.е. из их способности усиливать или ослаблять (гасить) друг друга.

Одним из распространенных методов рентгеноструктурного анализа является метод порошка (метод Дебая-Шерера), который позволяет следить за деформированием металла и контролировать режим термообработки. По рентгенограмме (дебаеграмме) можно судить о фазовом составе сплава, определить концентрации твердого раствора, изучать распределение внутренних напряжений.

В методе порошка в качестве объекта исследования берут поликристаллическое вещество (порошок), состоящее из частиц с линейными размерами не больше нескольких микрон, и используют характеристическое излучение.

Каждое вещество (фаза) обладает своей кристаллической решеткой. Семейства атомных плоскостей, образующих эту решетку, обладают характерным только для данной решетки набором значений межплоскостных расстояний d . Знание межплоскостных расстояний d исследуемого металла позволяет установить, с каким веществом (фазой) мы имеем дело.

Пусть узкий пучок монохроматических рентгеновских лучей с известной данной волны λ падает на совокупность большого числа кристаллов (кристаллическую решетку), которая может быть охарактеризована семейством параллельных плоскостей с определенными межплоскостными расстояниями. При взаимодействии рентгеновских лучей с кристаллическим веществом возникает дифракционная картина, максимумы интенсивности которой удовлетворяют уравнению Вульфа-Брегга

$$n\lambda = 2d\sin\theta,$$

где n - порядок дифракции (целое число 1,2,3 и т.д.);

λ - длина волны рентгеновских лучей;

d - межплоскостное расстояние;

θ - угол скольжения лучей (угол рассеяния).

Из уравнения Вульфа-Брегга следует, что

$$\frac{d}{n} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}.$$

Так как длина волны характеристического излучения, в котором получена рентгенограмма, известна, то задача определения межплоскостных расстояний d/n сводится к нахождению углов θ для всех линий. Вместо d/n пишем для сокращения записи d_i .

Рентгеноструктурный анализ производят на рентгеновском аппарате УРС-60, где источником рентгеновских лучей является рентгеновская трубка БСВ-4. Рентгеновской камерой называется устройство, позволяющее регистрировать на рентгеновской пленке дифракционные рентгеновские максимумы, которые затем расшифровываются. В методе порошка используется рентгеновская камера РКД, в которой исследуемое вещество в виде порошка наклеивается на стеклянную нить. Результат взаимодействия рентгеновских лучей с исследуемым веществом в виде рентгенограммы (дебаграммы) подлежит расшифровке, что и является практической задачей данной работы.

Порядок выполнения работы

Первое задание выполняется при подготовке к лабораторной работе.

Для выполнения второго задания студенты в сопровождении преподавателя посещают лабораторию рентгеноструктурного анализа, где непосредственно знакомятся с рентгеновской аппаратурой.

Третье задание выполняется индивидуально. По рентгенограмме поликристаллического вещества, снятой в камере Дебая (РКД), определив углы и межплоскостные расстояния d , с помощью определителя межплоскостных расстояний установить, с какого вещества была снята рентгенограмма (произвести идентификацию вещества).

Четвертое задание, как и третье, выполняется индивидуально. Для исследуемого вещества определяется его рентгеновская плотность, которая совпадает с плотностью вещества для веществ с неискаженной структурой.

Для облегчения расчетов рентгенограммы по определению межплоскостных расстояний рекомендуется заносить исходные данные, результаты замеров и расчеты в табл. 1.1 и заполнять ее последовательно по столбцам.

Расчет рентгенограммы для определения межплоскостных расстояний и идентификации веществ (к заданию 3).

Длина волны излучения $\lambda =$, Å

Диаметр камеры 57,3 мм.

Радиус исследуемого образца $\rho =$

Таблица 1.1

№ п/п	$2L_{\text{изм}}$, мм	$\theta_{\text{приб}}$, град	Поправка на поглощение $\Delta\rho$, мм	$2L_{\text{исп}}$, мм	$\theta_{\text{точн}}$, град	$\sin\theta$	d_i расч., Å	Табл. знач. d_i , Å
1								
2								
3								
4								

Столбец 1. Цифрами отмечены расчетные линии на рентгенограмме.

Столбец 2. Данные содержатся в задании, выдаваемом студентам.

Столбец 3. Приближенные значения угла $\theta_{\text{приб}}$ определяют по формуле, град.:

$$\theta_{\text{приб}} = 2L_{\text{изм}} / 2.$$

Столбец 4. Более точное значение угла находят с учетом поправки на поглощение. Чтобы упростить расчеты, в специальной таблице для каждого значения θ дано значение $\Delta\rho$ в зависимости от известного радиуса ρ исследуемого образца.

Столбец 5. Величину $2L_{\text{испр}}$ получают из формулы

$$2L_{\text{испр}} = 2L_{\text{изм}} - \Delta\rho,$$

где $\Delta\rho$ - поправка на поглощение, выбранная из табл.1 приложения 1.

Столбец 6. Угол $\theta_{\text{точн}}$ в градусах рассчитывают по формуле, град.

$$\theta_{\text{точн}} = 2L_{\text{испр}} / 2.$$

Столбец 7. Определяется $\sin\theta$ с точностью до четвертого знака после запятой.

Столбец 8. Используя значение $\sin\theta$ и известную длину волны рентгеновского излучения, с помощью уравнения Вульфа-Брегга рассчитывают межплоскостные расстояния $d_{\text{расч.}}$.

$$d_{\text{расч.}} = \lambda_{\alpha} / 2\sin\theta.$$

Столбец 9. Табличные значения $d_{\text{табл.}}$ (табл.2 приложения 1).

С помощью справочной табл. 1.2 следует определить вещество, для которого табличные значения $d_{\text{табл.}}$ совпадают с расчетными значениями межплоскостных расстояний $d_{\text{расч.}}$. Записать название вещества.

Определение рентгеновской плотности вещества (к заданию 4). После выполнения расчета рентгенограммы и идентификации исследуемого вещества необходимо, пользуясь справочной табл. 1.2, найти тип кристаллической решетки вещества, координационное число и параметр решетки найденного вещества.

Рентгеновская плотность вещества ρ рассчитывается по формуле, г/см³:

$$\rho = nA / a^3,$$

где ρ - плотность исследуемого вещества;

n - число атомов в элементарной ячейке;

A - вес одного атома в а.е.м. ($1\text{ а.е.м.} = 1,66 \times 10^{-24}\text{ г}$);

a - параметр ячейки.

Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое содержание работы.
3. Расчет рентгенограммы, выполненный в виде табл. 1.1.
4. Расчет рентгеновской плотности исследуемого вещества.
5. Список используемой литературы.

Таблица 1.2.

Таблица постоянных величин

№ п/п	Элемент	Межплоскостное расстояние d , Å	Параметр ячейки a , Å	Атомный радиус r , Å	Координационное число	Температура плавления $t_{пл}$, °C	Плотность ρ , г/см ³	Атомный вес A , а.е.м.
1	Be	1,97	$a=2,28$ $c=3,60$	1,13	Г12	1350	1,85	9
2	Fe	2,01	2,86 3,65	1,26	К8 К12	1535	7,87	56
3	Ni	2,038	3,52	1,24	К12	1455	8,9	58,7
4	Cu	2,08	3,61	1,28	К12	1083	8,96	63,5
5	V	2,14	3,04	1,31	К8	1900	6,11	51
6	Mo	2,22	3,14	1,4	К8	2620	10,2	96
7	W	2,23	3,16	1,41	К8	3410	19,3	184
8	Pt	2,25	3,92	1,38	К12	1773	21,4	195
9	Al	2,33	4,05	1,43	К12	659	2,7	27
10	Au	2,35	4,08	1,44	К12	1163	19,3	197
11	Ag	2,36	4,08	1,44	К12	960	10,5	108
12	Zn	2,46	$a=2,66$ $c=4,94$	1,39	Г6	419	7,31	65,4
13	Ti	2,54	$a=2,95$ $c=4,68$	1,46	Г12	1668	4,51	47,9
14	Mg	2,77	$a=3,21$ $c=5,21$	1,6	Г12	651	1,74	24,3
15	Pb	2,85	4,95	1,75	К12	327	11,34	207
16	Sn	2,91	6,49	1,58		232	7,29	118,7

Контрольные вопросы

1. На каком физическом явлении основан рентгеноструктурный анализ?
2. Свойства и возбуждение рентгеновских лучей (тормозное и характеристическое излучения).
3. Вывод и смысл уравнения Вульфа-Брегга.
4. Что такое межплоскостные расстояния?
5. Почему линии на дебаеграмме имеют форму дуг?
6. Почему приближенное значение угла рассеяния $\theta_{прибл}$ при расчете рентгенограммы, полученной в рентгеновской камере РКД, равно половине $2L_{изм}$?

7. Практическое применение метода порошка (метода Дебая-Шерера) при фазовом анализе металлических сплавов.
8. Определение числа атомов в элементарной ячейке для ОЦК и ГЦК решеток.
9. Получение рентгеновских лучей для структурного анализа.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Изучение диаграммы состояния железо-углерод. Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы.

Цель работы: изучение диаграммы состояния железо-углерод.

Задание

1. Используя литературные источники, изучить полиморфные превращения чистого железа, а также соединения, образующиеся железом с углеродом, и их свойства.
2. Вычертить в масштабе диаграмму железо-углерод с указанием температур фазовых превращений и концентраций углерода в особых точках, а также расставить кристаллические фазы и структурные составляющие, присутствующие в различных областях.
3. Построить схематично кривые охлаждения двух сплавов (сплавы выдаются преподавателем) с применением правила фаз.
4. Описать превращения, происходящие при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры сплавов на каждом участке кривых охлаждения.
5. Используя правило отрезков, подсчитать весовое количество (в %) присутствующих в сплаве фаз и их состав при одной из температур, указанного сплава.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Составить отчет.

Общие положения

На рис. 2.1 представлена диаграмма состояния системы железо – углерод. В метастабильной системе железо – углерод существуют следующие фазы: жидкая, феррит, аустенит и цементит.

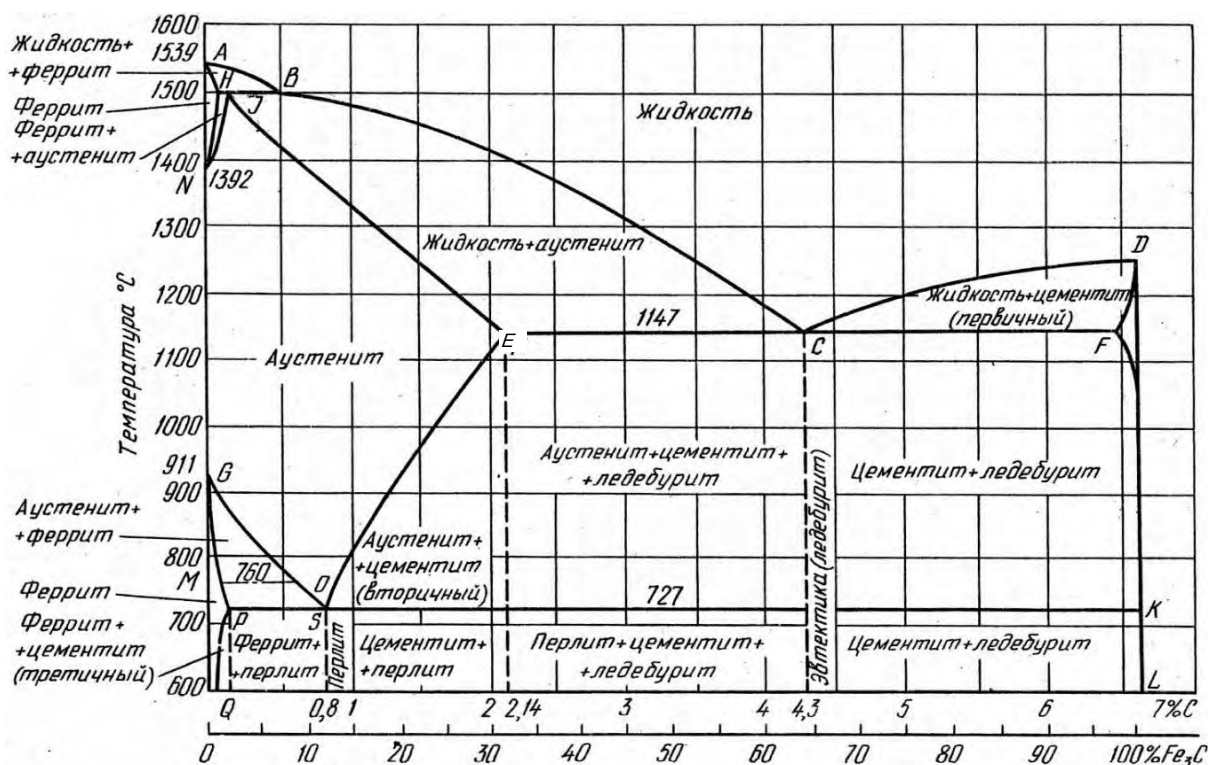


Рис. 2.1. Диаграмма состояния железо-углерод

Жидкая фаза представляет собой раствор углерода в железе, распространяющийся выше линии ликвидус $ABCD$.

В данной системе существуют два твердых раствора углерода в железе на основе двух кристаллических модификаций железа: феррит и аустенит. Область существования феррита расположена левее линии GPQ и AHN , а область существования аустенита – левее линии $NJESG$. Феррит – твердый раствор внедрения углерода и других примесей в α -железе с ОЦК-решеткой, который имеет переменную предельную растворимость углерода: минимальную – 0,006 % при комнатной температуре (точка Q), максимальную – 0,025 % при температуре 727 °С (точка P).

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода и других примесей в γ -железе с ГЦК-решеткой. Он имеет переменную предельную

растворимость углерода: минимальную – 0,8 % при температуре 727 °С (точка *S*), максимальную – 2,14 % при температуре 1147 °С (точка *E*).

Цементит – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C), содержащий 6,67 % углерода.

В табл. 2.1 и 2.2 указаны значения узловых критических точек и линий диаграммы состояния железо – углерод.

Таблица 2.1

Значения узловых критических точек диаграммы состояния
железо – углерод

Обозначение точки	Температура, °С	Концентрация С, %	Значение точки
1	2	3	4
<i>A</i>	1539	0	Плавление (кристаллизация) чистого железа
<i>B</i>	1499	0,51	Жидкая фаза, участвующая в перитектическом превращении
<i>H</i>	1499	0,1	Предельное содержание углерода в α (δ)-железе. α (δ)-твердый раствор, участвующий в перитектическом превращении
<i>J</i>	1499	0,16	γ -твердый раствор, возникающий в результате перитектического превращения
<i>N</i>	1392	0	Полиморфное превращение α (δ) $\leftrightarrow$ γ в чистом железе
<i>E</i>	1147	2,14	Предельное содержание углерода в γ -железе при эвтектической температуре
<i>C</i>	1147	4,3	Жидкая фаза, участвующая в эвтектическом превращении
<i>F</i>	1147	6,67	–
<i>D</i>	1250	6,67	Предполагаемая температура плавления
<i>G</i>	911	0	Полиморфное превращение α $\leftrightarrow$ γ в чистом железе
<i>P</i>	727	0,02	Предельное содержание углерода в α -железе при эвтектоидной температуре
<i>S</i>	727	0,8	γ -твердый раствор, испытывающий эвтектоидное превращение

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4
K	727	6,67	—
Q	20	0,006	Предельное содержание углерода в α -железе при комнатной температуре

Таблица 2.2

Значения линий диаграммы состояния железо – углерод

Линии	Значение линии
AB	Ликвидус для α (δ)-твердого раствора (Φ_δ)
AN	Солидус для α (δ)-твердого раствора (Φ_δ)
BC	Ликвидус для γ -твердого раствора (аустенита)
JE	Солидус для γ -твердого раствора (аустенита)
CD	Ликвидус для химического соединения Fe_3C
HJB	Перитектическое превращение: $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$
ECF	Эвтектическое превращение: $L_C \rightarrow A_E + \Pi$
$PSK (A_1)$	Эвтектоидное превращение: $A_S \rightarrow \Phi_P + \Pi$
HN	Начало полиморфного превращения α (δ) $\rightarrow \gamma$ в сплавах при охлаждении
JN	Конец полиморфного превращения α (δ) $\rightarrow \gamma$ в сплавах при охлаждении
$ES (A_{cm})$	Линия предельной растворимости углерода в γ -железе. Начало выделения вторичного цементита из аустенита при охлаждении
$GS (A_3)$	Начало полиморфного превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ в сплавах при охлаждении. Начало выделения феррита из аустенита при охлаждении
GP	Линия предельной растворимости углерода в α -железе
PQ	Линия переменной растворимости углерода в α -железе. Начало выделения третичного цементита из аустенита при охлаждении
MO	Переход из ферромагнитного в парамагнитное состояние (768 °C)

Три горизонтальные линии на диаграмме (HJB , ECF и PSK) указывают на протекание трех невариантных реакций.

1. При 1499 °C (линия HJB) протекает перитектическая реакция: $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$. В результате реакции образуется аустенит.

2. При 1147 °С (горизонталь *ECF*) протекает эвтектическая реакция:

$L_C \rightarrow A_E + \text{Ц}$. В результате реакции образуется эвтектическая смесь аустенита и цементита, называемая *ледебуритом*.

3. При 727 °С (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидная реакция:

$A_S \rightarrow \text{Ф}_P + \text{Ц}$. В результате реакции образуется эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая *перлитом*.

Таким образом, диаграмма состояния железо – углерод показывает условия равновесного сосуществования фаз в этой системе компонентов. Диаграмма имеет большое практическое значение, по ней можно определить температуру плавления и затвердевания железо-углеродистых сплавов.

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания выполняются в порядке подготовки к лабораторной работе, при этом необходимо вычертить в масштабе диаграмму с указанием температур фазовых превращений и концентраций особых точек (Н, I, В, С, Р, Q, S). Указать кристаллические фазы и структурные составляющие в различных областях диаграммы.

При выполнении третьего и четвертого заданий каждый студент схематично строит кривые охлаждения двух сплавов (по указанию преподавателя) с применением правила фаз, описывает превращения, происходящие при охлаждении сплавов от жидкого состояния до комнатной температуры. Схематично изобразить структуры сплавов на каждом участке кривых охлаждения.

При выполнении пятого задания студенты подсчитывают весовое количество (в %) присутствующих в сплаве фаз (используя правило отрезков) и их состав при одной из температур, указанного сплава.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграмма железо – углерод в масштабе.
3. Кривые охлаждения для указанных сплавов с расстановкой фаз и числа степеней свободы. Пример построения кривой охлаждения сплава Fe-C, содержащего 0,86% углерода приведен в приложении 2.

4. Описание превращений, происходящих при охлаждении сплавов из жидкого состояния до комнатной температуры. Схематичное изображение структур сплавов на каждом участке кривых охлаждения.

5. Расчет весового количества фаз и их состава.

Контрольные вопросы

1. Почему на диаграмме состояния у чистого железа имеется несколько критических точек?

2. Что такое феррит, аустенит, перлит и цементит?

3. Где на диаграмме состояния находятся области сталей и чугунов (определить области по содержанию углерода)?

4. Как подразделяются по содержанию углерода стали? Каково различие их структур и механических свойств?

5. Как подразделяются по содержанию углерода белые чугуны? Каково различие их структур и механических свойств?

6. Каков состав, строение и свойства перлита, ледебурита и цементита?

7. Как и при какой температуре протекает перитектическая реакция?

8. Как и при какой температуре протекает эвтектическая реакция?

9. Как и при какой температуре протекает эвтектоидная реакция?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Определение режимов термической обработки и конечной микроструктуры изделий из углеродистых сталей

Цель работы: научиться определять режимы термической обработки углеродистых сталей; изучить влияние термической обработки (отжиг, нормализация, закалка и отпуск) на твердость и структуру углеродистых сталей.

Задание

1. Используя литературные источники, изучить термическую обработку углеродистых сталей.
2. Вычертить в масштабе диаграмму состояния железо-углерод (стальную область) с указанием линий A_1 , A_3 и $A_{сг}$.
3. Выполнить два задания (приложение 3) по вариантам, указанным преподавателем.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

Термическая обработка (ТО) - это обработка металлов и сплавов, находящихся в твердом состоянии, путем нагрева, выдержки и охлаждения.

Операциями термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск. Отжиг и нормализация - это чаще всего предварительная ТО, заключается в подготовке структуры к последующим операциям механической обработки, либо окончательной ТО.

Закалка с последующим отпуском являются наиболее распространенным видом окончательной ТО для углеродистых сталей.

При закалке сталь нагревают до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдерживают в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждают со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку. При полной закалке сталь нагревают до температур однофазной аустенитной области (рис. 3.1) на 30 - 50°С выше линии A_3 и A_{cm} . Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки этих сталей будет состоять из мелкоигольчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалки состоит из крупноигольчатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 - 50°С превышающих линию A_{cm} , приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените (за счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноигольчатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените - к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек M_n и M_s .

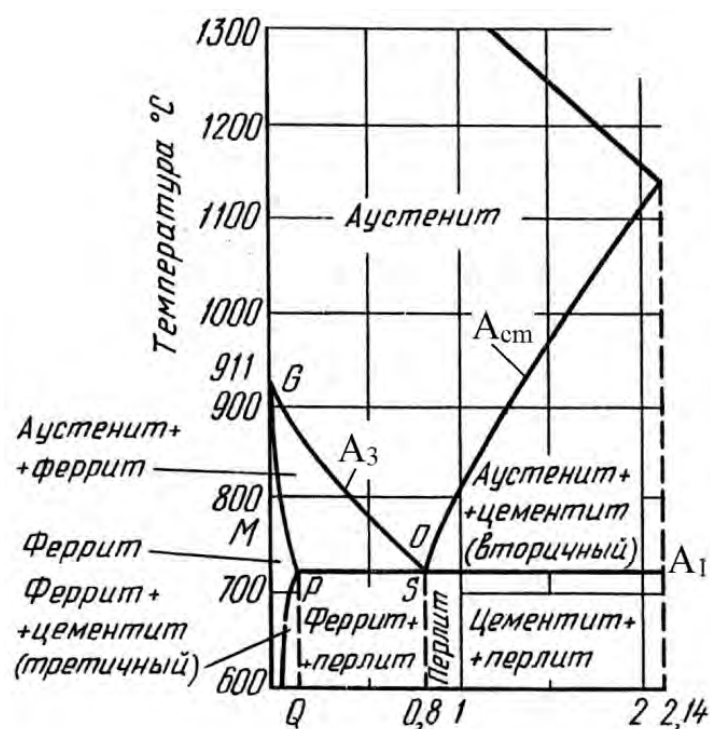


Рис. 3.1. Участок диаграммы Fe-FeC₃

Наличие большого количества остаточного аустенита ведет к снижению твердости, крупное зерно - к снижению ударной вязкости, а отсутствие включений цементита - к снижению износостойкости. Поэтому заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями $A_{сг}$ и A_1 , т.е. до двухфазного состояния аустенит плюс цементит.

При последующем охлаждении аустенит превратится в мартенсит. Цементит должен быть в виде мелких равномерно распределенных по объему зернышек. Это обеспечивается предварительной термической обработкой - отжигом на зернистый перлит. Если же перед закалкой микроструктура стали состояла из пластинчатого перлита и замкнутой сетки цементита, то после неполной закалки сетка цементита сохраняется. Сталь, имеющая в своей структуре мартенсит, остаточный аустенит и замкнутую сетку цементита, будет хрупкой. Итак, для заэвтектоидных сталей следует рекомендовать неполную закалку как обеспечивающую более высокие эксплуатационные свойства и экономически более выгодную.

Доэвтектоидные стали при неполной закалке нагревают до температур, лежащих между линиями A_3 и A_1 , т.е. до структуры аустенит плюс феррит. При последующем быстром охлаждении аустенит перейдет в мартенсит, а феррит останется без изменения. Микроструктура доэвтектоидной стали после неполной закалки представляет собой мелкоигльчатый мартенсит, феррит и остаточный аустенит. Сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно прочной.

Закалка стали сопровождается увеличением объема, что вызывает появление значительных внутренних напряжений, которые могут вызывать коробление изделий и появление трещин. Поэтому закаленные изделия всегда подвергают отпуску. Отпуск - важнейшая операция термической обработки, формирующая структуру и свойства стали.

При отпуске сталь нагревают ниже линии A_1 выдерживают при этой температуре и охлаждают (обычно на воздухе или в масле). В зависимости от температуры различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск (120 - 250 °С) применяют для инструментов, цементованных, цинкированных изделий, которым необходимы высокая твердость (60 - 65 HRC) и износостойкость. После такого отпуска у закаленной на мартенсит стали сохраняется игольчатая структура мартенсита, но иглы становятся менее резкими, несколько расплывчатыми, такой мартенсит называется отпущенным мартенситом. Характерным является то, что если в мартенсите после закалки иглы светлые, то в отпущенном мартенсите они темные. Изменение цвета игл мартенсита связано с изменениями, происходящими в нем при нагревании до указанных температур. При нагревании мартенсита из него выделяется углерод в виде карбидных частиц, но когерентно связанных с исходной фазой. Это приводит к уменьшению степени тетрагональности решетки железа.

Средний отпуск (350 - 450 °С) на отпущенный троостит применяют для стальных пружин, рессор и упругих элементов приборов, которые в работе должны сочетать свойства высокой упругости, прочности и достаточной вязкости. Структура отпущенного троостита является продуктом распада закаленного мартенсита и представляет собой высокодисперсную смесь частиц феррита и цементита. Под микроскопом троостит отпуска выглядит темной массой, в которой слабо различается игольчатое строение цементита.

Высокий отпуск (500 - 600 °С) на сорбит отпуска широко, применяется к изделиям из машиностроительных сталей, содержащих от 0,35 до 0,6% углерода. Сорбит отпуска, подобно отпущенному трооститу, представляет собой ферритно-цементитную смесь, но грубого строения.

Двойная операция (закалка с высоким отпуском) называется улучшением, так как после такой термической обработки сталь приобретает наиболее благоприятное сочетание механических свойств: высокую вязкость и пластичность.

Порядок выполнения работы

Первое и второе задания выполняются в порядке подготовки к лабораторной работе, при этом необходимо вычертить в масштабе диаграмму (стальную область) с указанием линий A_1 , A_3 и $A_{ст}$.

Третье задание выполняется под руководством преподавателя.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Диаграмма железо – углерод (стальная область) с указанием линий A_1 , A_3 и $A_{ст}$.
3. Задание 1 (приложение 3) по варианту, указанному преподавателем.
4. Задание 2 (приложение 3) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. В чем природа твердости мартенсита?
2. Как определить прокаливаемость?
3. Как можно повысить прокаливаемость?
4. Какой вид имеет диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали У8?
5. В чем природа твердости мартенсита?
6. Что такое краснеломкость?
7. Что такое обратимая отпускная хрупкость?
8. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей мартенситного класса?
9. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей аустенитного класса?
10. Что такое красностойкость и каковы способы ее повышения?
11. Что такое обратимая отпускная хрупкость?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Выбор сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами

Цель работы: освоить научные основы принципа выбора сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами.

Задание

1. Провести анализ условий эксплуатации деталей по заданному преподавателем варианту задания (приложение 4).
2. При наличии в задании предложенных марок сталей охарактеризовать предложенные стали, указав химический состав, область применения и достигаемые в результате термической обработки свойства.
3. Выбрать наиболее экономичный материал, удовлетворяющий эксплуатационным и технологическим свойствам деталей. Выбрать режимы термообработки указанных деталей.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

Одна из основных проблем машиностроения – проблема надежности и долговечности. Решение этой проблемы позволяет не только сохранить требуемые качественные показатели в течение всего периода эксплуатации, но и увеличить ресурс изделия.

Рациональный выбор материала – важнейшая задача конструктора, так как надежность, эффективность и экономичность машины зависят, с одной стороны, от правильности конструкции, а с другой – от правильности выбора материалов для ее деталей.

В настоящее время нет единой методики выбора оптимального материала, а существуют лишь разрозненные рекомендации для подбора пригодного материала в частных случаях разных деталей в различных областях машиностроения, базирующихся на использовании

традиционного материала. Во всех случаях создания новых деталей или изменения условий работы (коррозионная среда, радиация, высокие температуры, космический вакуум и т. п.) приходится начинать поиск с самого начала методом проб и ошибок. Проблема усугубляется тем, что количество новых материалов растет в геометрической прогрессии, тогда как опыт их использования – в арифметической, и все больше отстает от разработки новых материалов. Справочник не может дать рекомендаций по использованию нового материала, пока не будет накоплен опыт. Но опыт не накапливается, так как конструкторы не применяют новый материал, поскольку нет рекомендаций. Круг замыкается.

Тем не менее можно сформулировать некоторые общие положения, которые будут полезны для конструктора и помогут ему грамотно ориентироваться в большом объеме конструкционных и инструментальных материалов. Эти положения основываются на излагаемом курсе материаловедения и могут быть сформулированы таким образом – материал можно считать выбранным правильно, если он наилучшим образом отвечает трем основным требованиям:

- эксплуатационная надежность,
- технологичность,
- экономичность.

Наиболее общим требованием, обеспечивающим работоспособность материала, может служить *эксплуатационная надежность*, под которой следует понимать вероятность того, что данный материал обеспечивает безотказность работы изделия в течение заданного срока.

В каждом конкретном случае ведущая характеристика надежности будет своя: у пружины – выносливость, у подшипника – износостойкость, у лопатки газовой турбины – жаропрочность и т. д. Для правильного выбора материала следует ясно представлять, какие характеристики материала для данного изделия являются лимитирующими, и подобрать материал, пригодный в первую очередь по этим характеристикам.

Главная трудность здесь – это определение ведущей характери-

стилки с количественной стороны, так как, например, повышение твердости стали может привести к такому снижению ее пластичности, что материал окажется столь же непригодным, как и при недостаточной твердости. Зная природу механических и иных свойств материалов, можно предвидеть, какие из них и в каком состоянии целесообразно использовать для данного изделия, а при необходимости – внести изменения в нужную сторону.

При решении проблемы надежности большое значение имеет разброс характеристик материала относительно средних значений.

Второе важное требование к материалу – его *технологичность*, т. е. пригодность к обработке теми или иными способами.

Наиболее дешевый способ получения деталей сложной формы – литье. Поэтому, если деталь сложна, нужно постараться подобрать металл с хорошими литейными свойствами, учитывая его усадку, жидкотекучесть, температуру плавления, горючесть и т. д.

Но, как правило, литые металлы хрупки и не имеют высокой конструкционной прочности. Если эксплуатационные требования не позволяют использовать литье, нужно выбрать материал, обрабатываемый давлением, т. е. обладающий достаточной ковкостью, пластичностью в холодном или горячем состоянии, учитывая при этом наследственное зерно и краснотоккость.

Нередко сложные детали могут быть получены сочетанием штамповки со сваркой. В этом случае ведущим технологическим свойством будет наряду со штампуемостью еще и свариваемость, т. е. способность образовывать прочный шов без образования трещин, больших остаточных напряжений и других дефектов.

Точные формы и размеры изделий требуют применения обработки резанием. В этом случае, собирая материал, необходимо учитывать обрабатываемость резанием, т.е. чтобы он не был ни очень твердым, ни очень вязким, не вызывал бы усиленного износа инструмента и обеспечивал хорошую чистоту поверхности, причем шлифуемость не совпадает с обрабатываемостью резцом.

Следует также учитывать возможность термической обработки, поскольку она может в несколько раз изменять свойства металла. При

этом надо принимать во внимание закаливаемость, прокаливаемость, наследственное зерно, склонность к короблению и растрескиванию при закалке, к отпускной хрупкости, образованию шиферного излома, обезуглероживанию и т. д.

Таким образом, технологичность металла играет чрезвычайно важную роль, которую конструкторы не должны забывать, ибо кому же нужен прекрасный по своим эксплуатационным характеристикам материал, если изделие из него невозможно изготовить.

Вопросы экономики производства во многих случаях играют решающую роль. Выбирая материал, необходимо стремиться к минимальной его стоимости. Однако такой прямолинейный подход не отражает экономичности производства, поскольку у детали из дешевого материала может оказаться дорогая технология производства изделия, а из дорогого – дешевая. При этом себестоимость продукции может быть меньше именно во втором случае, поскольку отходы металла будут меньшими, т. е. выше будет коэффициент использования материала и меньше затраты труда.

Таким образом, выбор оптимального материала должен быть основан на расчете экономических характеристик в тесной связи с его эксплуатационной надежностью и технологичностью.

Порядок выполнения работы

Студент получает два задания (вариант задания указывается преподавателем). В задании предлагается выбрать сталь для изготовления конкретной детали или инструмента. При этом в некоторых заданиях предложены несколько марок легированных сталей. При выборе материала необходимо использовать справочную литературу.

Выбор материала включает следующие стадии:

- анализ условий эксплуатации и технологии обработки данной детали. В результате анализа необходимо сформулировать требования к материалу по эксплуатационным и технологическим свойствам, обеспечивающие надежность деталей;
- определение группы сталей, обладающих свойствами, наиболее близкими к требуемым (конструкционные и инструментальные стали,

стали с особыми физическими и химическими свойствами), и окончательный выбор марки в соответствии с указанными выше требованиями:

– описание технологии изготовления детали или инструмента из выбранного сплава, рассмотрев возможности улучшения свойств путем термической, химико-термической или термомеханической обработки и обосновав выбор того или иного вида обработки.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание 1 (приложение 4) по варианту, указанному преподавателем.
3. Задание 2 (приложение 4) по варианту, указанному преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Как влияют легирующие элементы на порог хладноломкости?
2. Каковы технологические недостатки хромоникелевых сталей?
3. Как влияют легирующие элементы (хром, никель, марганец, кремний, вольфрам и др.) на полиморфизм железа?
4. Как обозначаются конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества?
5. Как обозначаются качественные углеродистые конструкционные стали?
6. Как обозначаются инструментальные углеродистые стали?
7. Как обозначаются легированные стали?
8. Какие требования необходимо учитывать при выборе материала?
9. Что такое эксплуатационная надежность?
10. Какую роль играет технологичность материала?
11. Какую роль играют экономические характеристики при выборе материалов?

Приложение 1

Таблица 1

Поправка Δ на поглощение в образце радиусом ρ

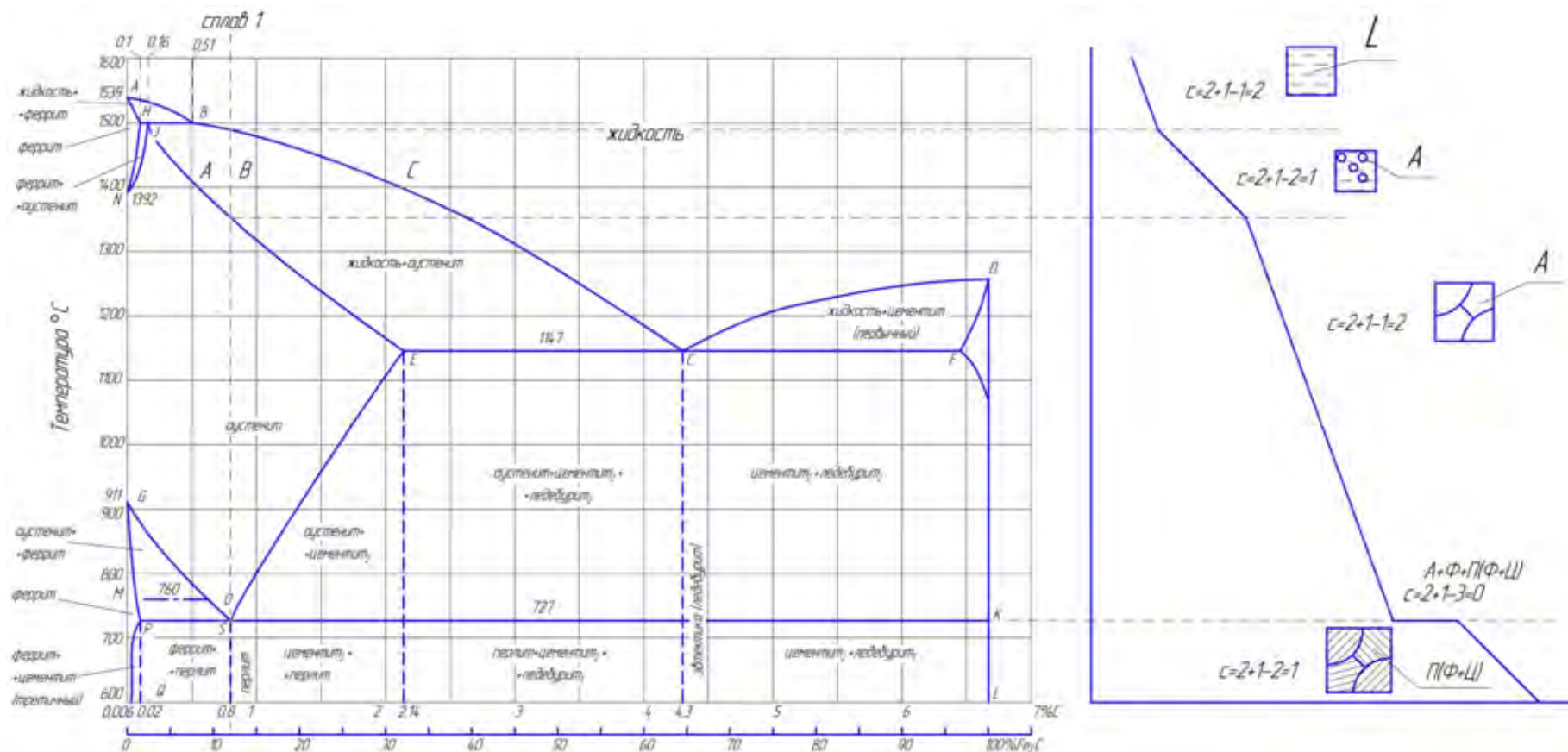
Θ	ρ									
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
10	0,29	0,39	0,49	0,58	0,68	0,78	0,87	0,97	1,07	1,16
12	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	0,96	1,05	1,14
14	0,28	0,38	0,47	0,56	0,66	0,75	0,85	0,94	1,03	1,13
16	0,28	0,38	0,46	0,55	0,65	0,74	0,83	0,92	1,02	1,11
18	0,27	0,37	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,90	1,00	1,09
20	0,27	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71	0,80	0,89	0,97	1,06
22	0,26	0,34	0,43	0,52	0,60	0,69	0,77	0,86	0,95	1,03
24	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,84	0,92	1,00
26	0,24	0,32	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73	0,81	0,88	0,97
28	0,23	0,31	0,39	0,47	0,55	0,62	0,70	0,78	0,86	0,96
30	0,23	0,30	0,38	0,45	0,52	0,60	0,68	0,75	0,83	0,90
32	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86
34	0,21	0,28	0,35	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,82
36	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59	0,66	0,72	0,78
38	0,19	0,25	0,31	0,37	0,43	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74
40	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,53	0,59	0,64	0,70
42	0,17	0,22	0,27	0,33	0,39	0,44	0,49	0,55	0,61	0,66
44	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,47	0,52	0,57	0,62
46	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58
48	0,14	0,18	0,22	0,27	0,32	0,36	0,40	0,45	0,49	0,54
50	0,12	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33	0,37	0,41	0,46	0,50
52	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46
54	0,10	0,14	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,34	0,38	0,41
56	0,09	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,32	0,35	0,38
58	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22	0,25	0,28	0,32	0,34
60	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30
65	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
70	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14
75	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08
80	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04

Таблица 2

Межплоскостные расстояния

HKL	d/n	J	HKL	d/n	J	HKL	d/n	J
Al			Cu			Pb		
111	2,330	1,00	111	2,080	1,00	111	2,850	1,00
200	2,020	0,40	200	1,798	0,86	200	2,470	0,50
220	1,430	0,30	220	1,271	0,71	220	1,740	0,50
311	1,219	0,30	311	1,083	0,86	311	1,490	0,50
222	1,168	0,07	222	1,038	0,56	222	1,428	0,17
400	1,011	0,02	400	0,900	0,29	331	1,134	0,17
331	0,928	0,04	331	0,826	0,56	420	1,050	0,17
420	0,826	0,01	420	0,806	0,42	α - Fe		
422	0,905	0,04	422	0,735	0,42	110	2,010	1,00
Ag			W			200	1,428	0,15
111	2,360	1,00	110	2,230	1,00	211	1,166	0,38
200	2,040	0,53	200	1,580	0,29	220	1,010	0,10
220	1,445	0,27	211	1,290	0,71	310	0,904	0,08
311	1,232	0,53	220	1,117	0,17	222	0,825	0,03
222	1,179	0,05	310	1,000	0,29	321	0,764	0,10
400	1,022	0,01	222	0,913	0,06	330	0,673	0,03
311	0,938	0,08	321	0,846	0,34	420	0,638	0,09
420	0,915	0,05	330	0,745	0,11	Zn		
422	0,834	0,03	420	0,707	0,06	002	2,460	0,25
511	0,786	0,04	332	0,674	0,06	100	2,300	0,20
440	0,691	0,04	510	0,622	0,06	101	2,080	1,00
Cr			Ni			102	1,680	0,14
110	2,052	1,00	111	2,038	1,00	110	1,330	0,18
200	1,436	0,40	200	1,766	0,50	112	1,169	0,12
211	1,172	0,60	220	1,250	0,40	201	1,120	0,08
220	1,014	0,50	311	1,067	0,60	202	1,040	0,02
310	0,909	0,60	222	1,022	0,10	203	0,941	0,02
222	0,829	0,20	400	0,884	0,02	105,114	0,904	0,02
321	0,768	0,70	331	0,812	0,20	Pt		
400	0,718	0,10	420	0,791	0,16	111	2,250	1,00
330	0,6775	0,40	422	0,723	0,10	200	1,950	0,30
420	0,642	0,30	511	0,681	0,10	220	1,385	0,16
332	0,612	0,30	410	0,625	0,02	311	1,178	0,16
422	0,5865	0,30	531	0,598	0,08	222	1,128	0,03
			422	0,590	0,07	400	0,978	0,01
						331	0,897	0,03

Кривая охлаждения сплава Fe-C, содержащего 0,8 % углерода



Задания к практической работе № 3

1. Объясните причины возникновения напряжений при закалке. Какие дефекты могут возникнуть при этом? Каким образом можно предотвратить образование закалочных трещин?
2. Опишите механизмы бейнитного превращения. Сравните микроструктуру верхнего и нижнего бейнитов.
3. Стальной рычаг у экскаватора сломался в морозную погоду. В чем может быть причина поломки? Как ее устранить?
4. Опишите, в чем заключается низкотемпературная термомеханическая обработка конструкционной стали. Объясните с позиции теории дислокаций, почему этот процесс приводит к получению высокой прочности стали. Какими преимуществами и недостатками обладает вариант низкотемпературной термомеханической обработки по сравнению с высокотемпературной термомеханической обработкой?
5. Сущность и особенности мартенситного превращения. Природа твердости и хрупкости мартенсита в стали. Как влияет содержание углерода на свойства закаленного сплава?
6. Сравните влияние нормализации и улучшения на структуру и свойства стали. В чем причина различия механических свойств, получаемых при этом структур?
7. Нарисуйте схематические структуры закалки (мартенсит, троостит, сорбит) и одноименные структуры отпуска (мартенсит отпуска, троостит отпуска, сорбит отпуска). Объясните различие их механических свойств.
8. В чем заключается обработка стали холодом и в каких условиях она применяется?
9. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8, нанесите на нее кривые режима ступенчатой и изотермической закалок. Опишите сущность превращений и какая структура получится при этом. В чем отличие обычной закалки от данных обработок? Каковы преимущества и недостатки каждого из этих обработок?

10. Как и в какой стали могли возникнуть такие структуры: феррит и мартенсит; феррит и мартенсит отпуска; троостит отпуска? Охарактеризуйте качество получаемых структур.

11. Как и в какой стали могли возникнуть такие структуры: мартенсит и небольшое количество остаточного аустенита; мартенсит и цементит; сорбит отпуска? Охарактеризуйте качество получаемых структур.

12. Выбрать сталь для изготовления для изготовления кожухов электродвигателей методом глубокой вытяжки. Опишите исходную структуру и механические свойства, назначьте режим возможной термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

13. Детали машин из стали 40 закалены: одни - с температуры 760°C , другие - с температуры 840°C . Укажите правильный режим закалки, используя диаграмму железо-углерод. Какие из данных деталей имеют более высокую твердость и лучшие эксплуатационные характеристики. Предложите вид отпуска применимый для данной стали.

14. При проведении термической обработки вала, изготовленного из стали 45, была выполнена закалка с 760°C . Правильно ли была выбрана температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура вала после данной термообработки.

15. Метчики из стали У10А закалены: одни - с температуры 760°C , другие - с температуры 840°C . Используя диаграмму железо-углерод, укажите правильный режим закалки. Какой из этих инструментов будет иметь более высокую твердость и износостойкость, а соответственно лучшие эксплуатационные характеристики, предложите вид отпуска для данной стали.

16. Сталь 60 подвергалась закалке с температуры 760°C и 840°C . Опишите превращения, происходящие при данных режимах закалки. Укажите, какие образуются структуры, и объясните причины получения этих структур. Какой режим закалки следует применить к данной стали? Какой вид отпуска следует рекомендовать для получения высоких упругих характеристик?

17. Для изготовления конструкции, изготовление которой требует сварки и сложной гибки, выбрана сталь 10кп: а) расшифруйте химический состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; б) назначьте режим термической обработки, приведите его подробное обоснование; в) опишите структуру и свойства стали после термической обработки. Подберите варианты возможной замены данной стали.

18. Вал, изготовленный из стали 35, после проведения термообработки по правильным режимам обладает недостаточной прочностью. Как подобрать подходящую марку и режимы ее термообработки? Обоснуйте свое решение.

19. При проведении термической обработки зубила, изготовленного из стали У7, была выполнена закалка с 760°C . Правильно ли была выбрана температура закалки? Обоснуйте свое решение. Какова структура после проведенной термообработки.

20. Подберите сталь для изготовления пружины. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и свойства до и после термической обработки. Каким образом можно повысить усталостную прочность пружины?

Задания к практической работе № 4

1. Выбрать сталь для изготовления матрицы вырубного штампа. Стали: У12, Х6ВФ, Х12Ф1, 40ХНМА.
2. Выбрать сталь для изготовления торцевой фрезы диаметром 100 мм. Стали: Р18, Р6М5, ХВГ.
3. Выбрать сталь для изготовления конических зубчатых колес диаметром 50 мм, работающих в условиях динамических нагрузок повышенного износа. Сталь должна иметь высокую вязкость в сердцевине. Стали: 15, 20, 15Х, 20ХГНР.
4. Выбрать сталь для изготовления штампов горячего прессования. Стали: 3Х2В8Ф, 5ХНМ, 5ХНВ.
5. Какую сталь использовать для изготовления хирургического инструмента. Стали: У10, ШХ15, 30Х13, 10Х13.
6. Выбрать материал для изготовления валов электродвигателей $\sigma_T \geq 250$ МПа, $\delta \geq 17\%$. Стали: 40Х, 20ХН, Ст5.
7. Выбрать сталь для изготовления распределительного вала диаметром 70 мм с $\sigma_T > 500$ МПа, $\delta \geq 20\%$, на поверхности кулачков HRC > 50. Стали: 40Г, 40ХМ, 20, Ст2.
8. Выбрать материал и термообработку для изготовления валов диаметром 50 мм, $\sigma_T \geq 1500$, $\psi \geq 15\%$. Стали У8, 40ХНМ, 30ХГСА, Н18К9М5Т.
9. Из предложенных сталей выбрать материал для изготовления пружин. Описать технологию изготовления пружин. Стали: 50ХН, Ст5, 60, 70СЗА.
10. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих в агрессивных средах. Стали: 20ХН, Ст1, 55ГС, 40Х13, 3Х2В8Ф, 30Х13.
11. Выбрать сталь и режим термообработки для изготовления коленчатых валов диаметром 30 мм с одинаковыми свойствами по всему сечению. Стали: 35Г2, 40Х, 50, Ст5.
12. Выбрать сталь для изготовления шестерни диаметром 70 мм с высокой вязкостью и прочностью сердцевины. Стали: 15, 20, 12Х2Н4А, 12ХНЗА.

13. Выбрать стали и термообработку для изготовления ответственных шестерен вместо сталей 12ХНЗА, 20Х2Н4А. Стали: 18ХГТ, 20, 15, 20ХГР.

14. Подберите марку стали для изготовления прессформы для прессования пластмассы, выделяющей химически активные пары. Назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали до и после термической обработки.

15. Подобрать сталь для изготовления подшипников качения (шариков, роликов и др. деталей). Назначьте термическую обработку, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

16. Подберите сталь для изготовления машинных метчиков диаметром 25 мм. Назначьте и обоснуйте режимы термической обработки. Приведите химический состав стали и получаемую микроструктуру.

17. Подобрать сталь для изготовления рессоры. Опишите химический состав стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки. Обратите внимание к какому виду отпуска подвергается данная сталь для обеспечения высоких упругих характеристик.

18. Подберите сталь для изготовления тяжело нагруженного вала диаметром 40 мм. Назначьте и обоснуйте режимы термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений, микроструктуру и свойства после термообработки.

19. Подберите сталь для изготовления хирургического инструмента. Опишите исходную микроструктуру и свойства стали, назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства после термообработки.

20. Подберите сталь для изготовления рессоры с толщиной листа 15 мм. Опишите исходную микроструктуру и механические свойства, назначьте режимы термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений; микроструктуру и свойства после термообработки.

21. Подобрать сталь для изготовления пружин, работающих при температуре 350 °С. Назначьте и обоснуйте режим термической обработки, опишите сущность происходящих при этом явлений и влияние легирования, укажите структуру и свойства стали после термообработки.

22. Каким образом и в каких сталях можно получить необходимое для зубчатых колес сочетание высокой твердости поверхностного слоя и вязкости в сердцевине: а) HRC50 и KCV = 1,2 МДж/м²; б) HRC62 и KCV = 2,5 МДж/м². Опишите предлагаемые виды обработок.

23. Подберите сталь для изготовления резьбовой плашки. Назначьте режим термической обработки, подробно обоснуйте его, опишите микроструктуру и свойства после термической обработки.

24. Подберите сталь для изготовления стяжных болтов, которые должны иметь твердость HB220-230. Назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

25. Подобрать сталь для изготовления сварной конструкции. Опишите исходную структуру и механические свойства, назначьте режим возможной термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

26. Подберите сталь для изготовления зубьев ковшей экскаватора. Опишите исходную микроструктуру, назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки. В каком состоянии (литом, кованном, после механической обработки) рационально использовать данную сталь.

27. Подобрать сталь для изготовления деталей, работающих с крепкими кислотами. Назначьте режим возможной термической обработки, обоснуйте свое решение. Опишите влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах термической обработки данной стали. Опишите структуру и свойства стали после термообработки.

28. Подберите сталь для изготовления некоторых деталей подшипников качения, типа роликов, шариков и т.д. Опишите исходную

структуру и механические свойства стали, назначьте режим термической обработки, опишите микроструктуру и свойства стали после термообработки.

29. Подберите нержавеющую сталь для изготовления деталей, работающих в среде уксусной кислоты при температуре не выше 60 °С. Приведите химический состав стали, необходимую термическую обработку, получаемую структуру. Объясните физическую природу коррозионной устойчивости материала и роль каждого легирующего элемента.

30. Подберите сталь для изготовления деталей печной арматуры, работающих при температуре 800 °С. Приведите химический состав, объясните роль каждого легирующего элемента, укажите термическую обработку, получаемую структуру и механические свойства сплава.

31. В результате термической обработки деталь должна получить твердый износоустойчивый поверхностный слой (HV1200). Для ее изготовления выбрана сталь 38Х2МЮА: расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; назначьте режим термической и химико-термической обработок, приведите подробное его обоснование; объясните влияние легирования на превращения, происходящие на всех этапах обработки данной стали. Каким образом можно ускорить процесс химико-термической обработки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адаскин, А. М.** Материаловедение в машиностроении: учеб. для бакалавров / А. М. Адаскин [и др.]. – М.: Юрайт, 2013. – 535 с. – ISBN 978-5-9916-2867-9. – (Сер. Бакалавр. Углубленный курс).

2. **Волков, Г. М.** Материаловедение: учеб. для техн. вузов по немашиностроительным направлениям и специальностям / Г. М. Волков, В. М. Зуев. – М.: Академия, 2008. – 398 с. (Сер. Высшее профессиональное образование, Технические специальности). – ISBN 978-5-7695-4248-0.

3. **Гелин, Ф. Д.** Металлические материалы: справочник / Ф. Д. Гелин. – Минск: Высш. шк., 1987. – 368 с.

4. **Геллер, Ю. А.** Материаловедение: учеб. пособие для вузов / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт ; под ред. А. Г. Рахштадта. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1989. – 456 с. – ISBN 5-229-00228-X.

5. **Гуляев, А. П.** Металловедение: учеб. для втузов / А. П. Гуляев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1986. – 542 с.

6. **Дриц, М. Е.** Технология конструкционных материалов и материаловедение: учеб. для немашиностроительных специальностей вузов / М. Е. Дриц, М. А. Москалев. – М. : Высш. шк., 1990. – 447 с. – ISBN 5-06-000144-X.

7. **Журавлев, В. Н.** Машиностроительные стали: справочник / В. Н. Журавлев, О. И. Николаева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 480 с. – ISBN 5-217-01306-0.

8. **Иванов, Г. П.** Надежность материала в технических расчетах / Г. П. Иванов [и др.]; под ред. Д. В. Бушенина. – Владимир: Посад, 2002. – 128 с.

9. **Картонова, Л. В.** Основы материаловедения металлических и неметаллических веществ: учеб. пособие / Л. В. Картонова, В. А. Кечин; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – 176 с. – ISBN 978-5-9984-0503-7.

10. **Колачев, Б. А.** Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учеб. пособие для вузов по специальности "Металловедение и технология термической обработки металлов" / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: МИСИС, 2001. – 414 с. – ISBN 5-8763-027-8.

11. Конструкционные материалы: справочник / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 687 с. – ISBN 5-217-01112-2. – (Сер. Основы проектирования машин).

12. **Лахтин, Ю. М.** Материаловедение: учеб. для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с. – ISBN 5-217-00858-X. – (Сер. Для вузов).

13. Материаловедение: учеб. для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под ред. Б. Н. Арзамасова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 646 с. – ISBN 5-7038-1860-5. – (Сер. Учебник для технических вузов).

14. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для вузов по направлению "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. Б. Арзамасов [и др.]; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепихина. – 2-е изд., стер. – М. Академия, 2009. – 447 с. – ISBN 978-5-7695-6499-4. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение).

15. Материаловедение и технология металлов: учеб. для вузов / Г. П. Фетисов [и др.]; под ред. Г. П. Фетисова. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М. : Высш. шк., 2006. – 862 с. – ISBN 5-06-004418-1.

16. **Мозберг, Р. К.** Материаловедение: учеб. пособие для вузов / Р. К. Мозберг. – Изд. 2-е, перераб. – М.: Высш. шк., 1991. – 448 с. – ISBN 5-06-001909-8.

17. Производство отливок из сплавов цветных металлов: учебник / А. В. Курдюмов [и др.]; под ред. В. Д. Белова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 615 с. – ISBN 978-5-87623-573-2.

18. **Ржевская, С. В.** Материаловедение: учеб. для вузов в области техники и технологии / С. В. Ржевская. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2006. – 421 с. – ISBN 5-98704-179-X.

19. **Рогов, В. А.** Современные машиностроительные материалы и заготовки: учеб. пособие для вузов по направлениям "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств", "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – М.: Академия, 2008. – 330 с. – ISBN 978-5-7695-4254-1. – (Сер. Высшее профессиональное образование, Машиностроение).

20. **Сильман, Г. И.** Материаловедение: учеб. пособие для вузов / Г. И. Сильман. – М.: Академия, 2008. – 336 с. – ISBN 978-5-7695-4255-8.

21. **Солнцев, Ю. П.** Материаловедение: учеб. для вузов по металлург., машиностроит. и общетехн. специальностям / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин ; под ред. Ю. П. Солнцева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб. : Химиздат, 2004. – 735 с. – ISBN 5-93808-075-4. – (Сер. Учебник для вузов).

22. Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник / Г. В. Борисенок [и др.] ; под ред. Л. С. Ляховича. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Практическая работа N 1.

Расчет межплоскостных расстояний и
рентгеновской плотности вещества 7

Практическая работа N 2.

Изучение диаграммы состояния железо-углерод. Применение
правила фаз Гиббса для определения степени свободы 13

Практическая работа N 3.

Определение режимов термической обработки и конечной
микроструктуры изделий из углеродистых сталей 19

Практическая работа N 4.

Выбор сталей и их термообработки для конкретных
деталей с заданными свойствами 23

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложения 1 28

Приложения 2 31

Приложения 3 32

Приложения 4 35

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 39

Составитель
КАРТОНОВА Любовь Владимировна

Методические указания рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры ТФ и КМ (протокол № 1 от 30.08.2022 г.)

Методические указания рекомендованы УМК по направлению 22.04.01
для использования в учебном процессе (протокол № 1 от 30.08.2022 г.)