

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального 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
«Металловедение специальных сплавов»
для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия»
(уровень магистратуры)

Составитель:
Л.В.Картонова

Владимир 2015

УДК 620.22

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
А.И. Елкин

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Металловедение специальных сплавов» для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры)/ Сост.: Л.В.Картонова. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир, 2015 – 50 с.

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

Составлены по дисциплине «Металловедение специальных сплавов» для направления подготовки 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры) по профилю «Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов».

Библиогр.: 22 назв.

УДК 620.22

ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Металловедение специальных сплавов» является формирование теоретических и практических знаний в области металловедения, включая вопросы по формированию свойств сплавов на основе черных и цветных металлов, а также специальных сплавов.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС ВО по направлению 22.04.02 «Металлургия» (уровень магистратуры) к результатам освоения ООП ВО по профилю «Прогрессивные технологии плавки и литья специальных сплавов».

В результате освоения дисциплины «Металловедение специальных сплавов» обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

Знать: физическую сущность явлений, происходящих в металлических материалах в условиях производства под воздействием внешних факторов (нагрева, охлаждения и др.), их влияния на структуру, а структуры – на свойства материалов; основные свойства современных металлических материалов.

Уметь: анализировать фазовые превращения при нагревании и охлаждении сплавов, пользуясь диаграммами состояния двойных систем; в результате анализа условий эксплуатации технически обоснованно выбрать материал, назначать термическую обработку материала в целях получения заданной структуры и свойств, обеспечивающих высокую надежность и долговечность деталей машин.

Владеть: практическими навыками исследования металлических материалов.

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	$\text{Sin}\theta$	d_i расч., Å	Табл. знач. d_i , Å
1								
2								
3								
4								

Столбец 1. Для расчета выбирают четыре линии, которые цифрами отмечены на рентгенограмме.

Столбец 2. С помощью линейки измеряют расстояние $2L$ между парой указанных линий, симметрично расположенных относительно входного отверстия (с точностью до 0,2 мм).

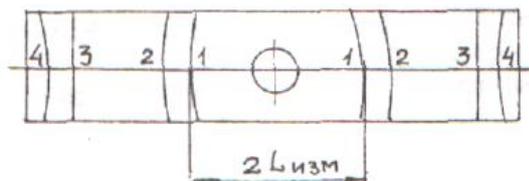


Рис. 1.1. Схематическое изображение рентгенограммы

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

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

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.

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

(например, $\theta_{\text{точн}} = 42,6^\circ / 2 = 21,3^\circ$).

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

Примечание. При отсутствии калькулятора с функцией определения синуса значения угла $\theta_{\text{точн}}$ записывают в градусах и минутах (например, $21,3^\circ = 21^\circ 18'$, т.к. $0,3 \times 60' = 18'$). Значения $\sin\theta$ с точностью до четвертого знака после запятой выбирают из тригонометрических таблиц.

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

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

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. 2.1.
4. Расчет рентгеновской плотности исследуемого вещества.
5. Список используемой литературы.

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 $\theta_{\text{прибл}}$ при расчете рентгенограммы, полученной в рентгеновской камере РКД, равно половине $2L_{\text{изм}}$?

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.

Таблица 2.2.

Таблица постоянных величин

№ п/п	Элемент	Межплоскост. расстояние d, Å	Параметр ячейки a, Å	Атомный радиус r, Å	Координационное число	Температура плавления $t_{\text{пл}}$, °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	1,26	К8	1535	7,87	56
			3,65		К12			
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

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 указаниями 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

Диаграмма состояния железо-углерод в интервале концентрации от железа до цементита представлена на рис. 2.1.

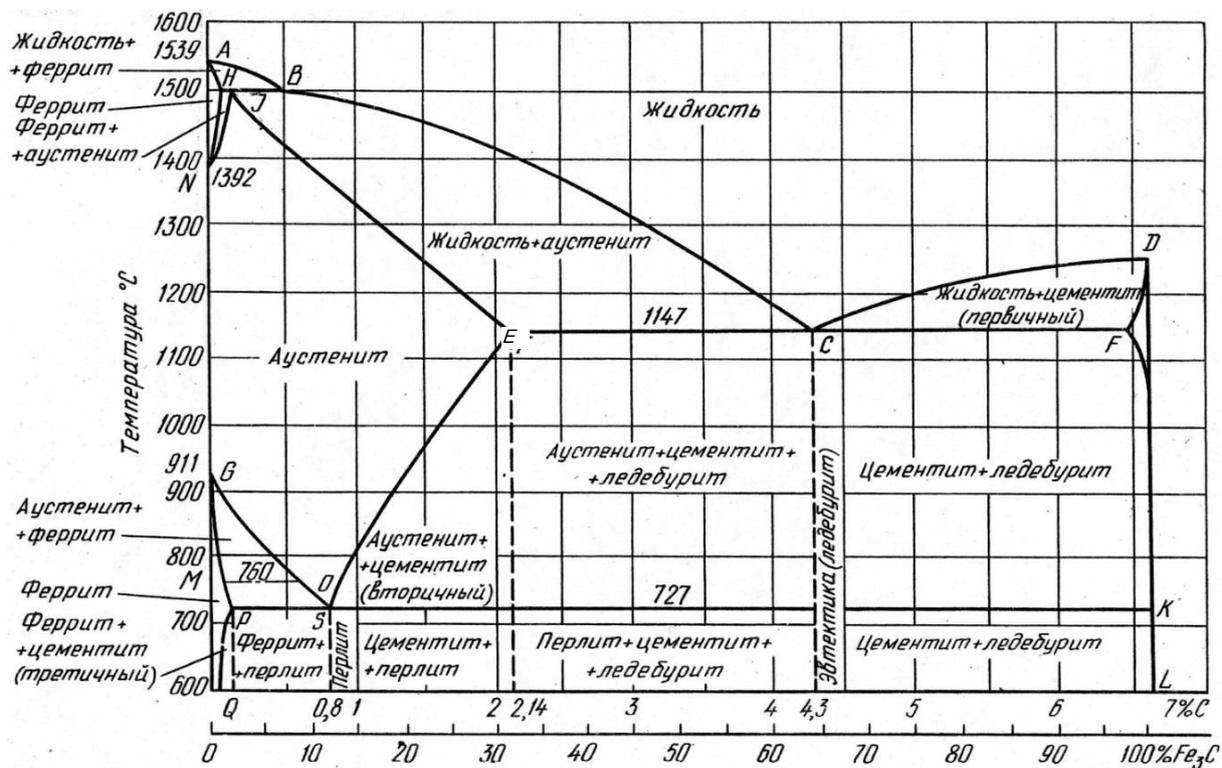


Рис. 2.1. Диаграмма состояния железо-углерод

Ось концентраций двойная: содержание углерода и цементита. Линия $ABCD$ является ликвидусом системы, линия $AHJESCF$ – солидусом. Железо, кроме того, что образует с углеродом химическое соединение Fe_3C , имеет две аллотропические формы α и γ (до $911^\circ C$ атомы железа образуют объемно центрированную кубическую решетку Fe_α , выше $911^\circ C$ гранецентрированную Fe_γ), поэтому в системе существуют следующие фазы:

жидкость (жидкий раствор углерода в железе) существует выше линии ликвидус и обозначается буквой L ;

цементит Fe_3C (линия $DFKL$) обозначается буквой Ψ ;

феррит – твердый раствор углерода в $Fe-\alpha$, обозначается буквой Φ ;

аустенит – твердый раствор углерода в $Fe-\gamma$, обозначается буквой A .

Область существования феррита расположена левее линии GPQ и AHN , а область существования аустенита – левее линии $NJESG$.

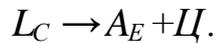
Три горизонтальные линии на диаграмме (HJB , ECF и PSK) указывают на протекание трех невариантных реакций.

1. При 1499 °С (линия *HJB*) протекает перитектическая реакция:



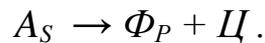
В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерод от 0,1 до 0,5 %.

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



В результате данной реакции образуется эвтектическая смесь аустенита и цементита, называемая *ледебуритом*. Эта реакция протекает у всех сплавов, содержащих более 2,14 % углерода.

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



В результате этой реакции образуется эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом.

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 (*H, I, B, C, P, 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

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 3).
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

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.

Закалка – это вид термической обработки, который заключается в нагреве стали до аустенитного или аустенитно-карбидного состояния, выдержке в течение времени, необходимого для завершения фазовых превращений, и охлаждении со скоростью выше критической для получения мартенситной структуры.

В зависимости от температуры нагрева различают полную и неполную закалку (рис.3.1.):

1) *полная закалка* – это нагрев выше линий A_3 и $A_{ст}$ на 30 – 50 °С, выдержка и последующее быстрое охлаждение;

2) *неполная закалка* – это нагрев выше линии A_1 на 30 – 50 °С, выдержка и последующее быстрое охлаждение.

Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки этих сталей будет состоять

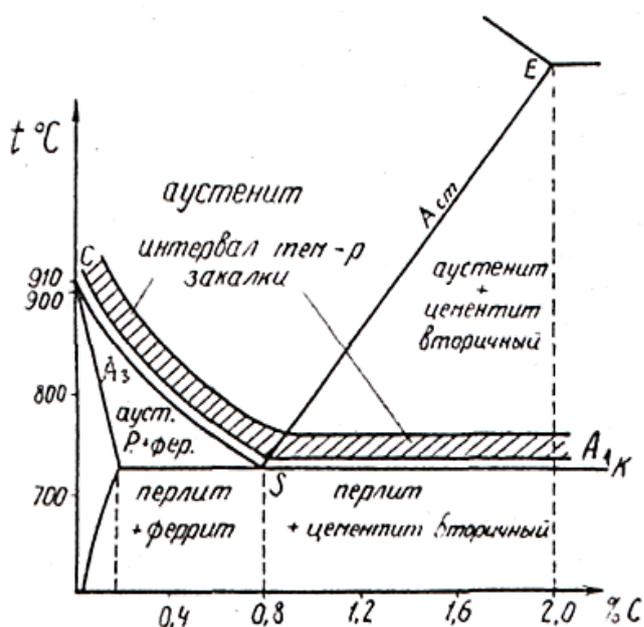


Рис. 3.1. Участки диаграммы Fe – Fe₃C (нанесены температуры закалки)

из мелкоигольчатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита. Тогда как неполная закалка доэвтектоидных сталей приведет не только к образованию мелкоигольчатого мартенсита, но и сохранению ферритной составляющей, что недопустимо (в виду снижения твердости) и является браком, так как сталь, имеющая такую структуру, будет мягкой и недостаточно прочной.

В результате полной закалки заэвтектоидных сталей образуются крупноигольчатый мартенсит и повышенное количество остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 – 50 °С превышающих линию $A_{ст}$, приводит к сильному росту зерна аустенита и увеличению содержания углерода в аустените

(за счет растворенного цементита). Большое зерно аустенита приводит к получению крупноиглочатого мартенсита, а повышенное содержание углерода в аустените – к получению большого процента остаточного аустенита вследствие снижения температуры точек M_H и M_K . Наличие большого количества остаточного аустенита ведет к снижению твердости, крупное зерно – к снижению ударной вязкости, а отсутствие включений цементита – к снижению износостойкости.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями A_1 и $A_{ст}$, 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 можно обеспечить 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. Таким образом, *для заэвтектоидных сталей следует рекомендовать неполную закалку* как обеспечивающую более высокие эксплуатационные свойства и экономически более выгодную.

На качество закалки особое влияние оказывает охлаждение, которое должно быть быстрым и полным. Скорость охлаждения определяется видом охлаждающей среды.

Для получения структуры мартенсита в большинстве случаев требуется умеренное охлаждение при высоких температурах, быстрое в интервале температур $A_1 - M_H$. В зоне температур мартенситного превращения, т.е. ниже $240\text{ }^\circ\text{C}$, выгоднее замедлить охлаждение, так как образующиеся структурные напряжения успевают выравниваться, а твердость образовавшегося мартенсита практически не снижается.

Правильный выбор закалочной среды имеет определяющее значение для успешного проведения закалки. Наиболее распространенные следующие закалочные среды: вода, 5 – 10%-ный водный раствор едкого натра или поваренной соли и минеральное масло. Для закалки углеродистых сталей, как правило, применяют воду с температурой

18 °С; а для закалки большинства легированных сталей – масло.

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. 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, цианированных изделий, которым необходима высокая твердость (60 – 65 HRC) и износостойкость.

Средний отпуск (350 – 500 °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. Твердость троостита отпуска составляет 40 – 45 HRC.

Высокий отпуск (500 – 650 °С) на сорбит отпуска широко применяется к изделиям из машиностроительных сталей, содержащих от 0,35 до 0,5 % углерода. Твердость данной структуры – 30 – 40 HRC.

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.

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 раз-

личных 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 характеристики 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 краснеломкость.

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 требова-

ния 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 (вариант задания указывается преподавателем).
3. Задание 2 (вариант задания указывается 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?
12. Как влияют легирующие элементы на порог хладноломкости?
13. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей мартенситного класса?
14. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей аустенитного класса?
15. Каковы технологические недостатки хромоникелевых сталей?
16. Как влияют легирующие элементы (хром, никель, марганец, кремний, вольфрам и др.) на полиморфизм железа?
17. Как обозначаются конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества?
18. Как обозначаются качественные углеродистые конструкционные стали?
19. Как обозначаются инструментальные углеродистые стали?
20. Как обозначаются легированные стали?
21. Какие требования необходимо учитывать при выборе материала?
22. Что такое эксплуатационная надежность?
23. Какую роль играет технологичность материала?
24. Какую роль играют экономические характеристики при выборе материалов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Подбор марки цветного сплава и определение режимов термической обработки

Цель работы: изучить влияние возможной термической обработки на механические свойства и структуру цветных сплавов.

Задание

1. Используя литературные источники, изучить микроструктуру, химический состав, свойства, применение цветных сплавов (Cu-Zn (до 50 % Zn), Cu-Sn (до 30 % Sn), Al-Si, Al-Cu).
2. Используя литературные источники, изучить влияние возможной термической обработки на механические свойства и структуру цветных сплавов.
3. Выполнить 2 задания (приложение 5) по вариантам, указанным преподавателем.
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Составить отчет.

Общие положения

От современного материала требуется высокая прочность с достаточной вязкостью, коррозионная стойкость, и высокая технологичность. Цветные сплавы в сравнении с металлами обладают более высокой прочностью, однако они обладают меньшими пластичностью, электропроводностью и другими физическими свойствами.

Ниже приведены основные сведения о медных, алюминиевых, титановых и магниевых сплавах.

Медные сплавы подразделяются на латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы.

Латуни – сплавы меди с цинком содержат не более 45 % цинка с небольшим количеством других компонентов. Латуням присущи все положительные свойства меди (высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, пластичность) при более высокой прочности и лучших технологических свойствах.

В зависимости от числа компонентов различают простые (двойные) и специальные (многокомпонентные) латуни. Строение и свойства простых латуней зависят от содержания в них цинка.

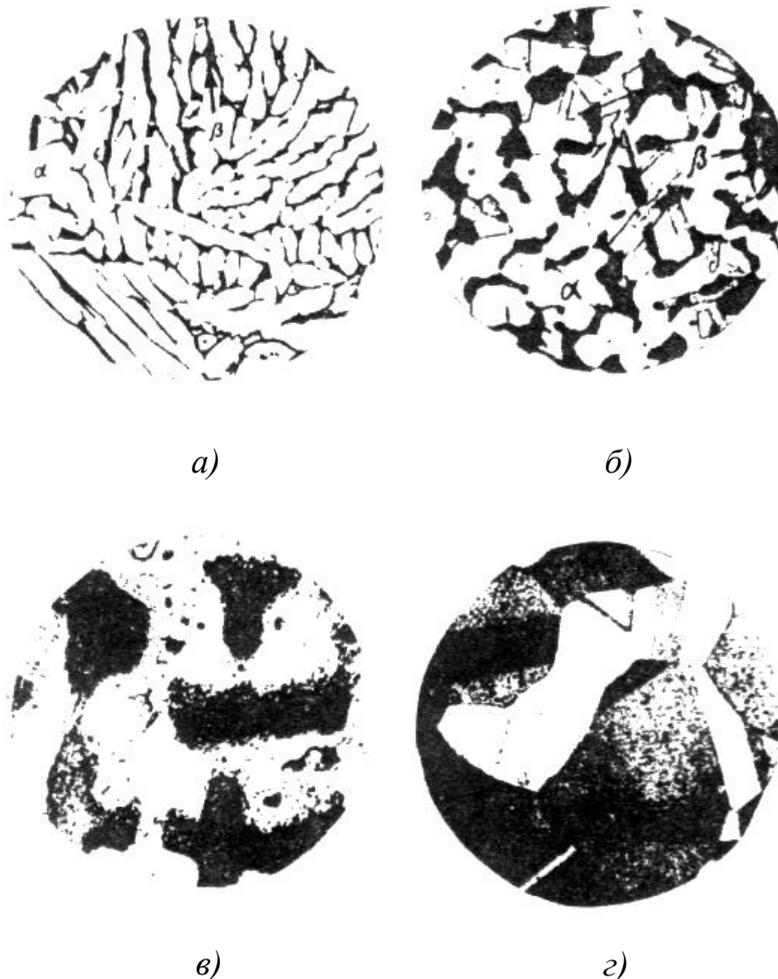
Латуни, содержащие до 39 % цинка (Л90, Л80, Л68), имеют однофазную структуру (α -раствор), представляют собой твердый раствор цинка в меди. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется, такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях.

Латуни, содержащие 40 – 45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1,5), имеют двухфазную структуру ($\alpha + \beta$ -раствор), β -фаза представляет собой твердый раствор на основе химического соединения CuZn (рис. 4.1). Латуни, имеющие двухфазную структуру, обладают повышенной твердостью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, но в холодном состоянии пластичность их невелика.

На рис. 4.1, *а* и *б* приведена микроструктура литейной латуни и латуни после деформирования.

Применяются сложные латуни, в которые для изменения механических и химических свойств дополнительно вводят свинец, олово, кремний, алюминий (свинец улучшает обрабатываемость резанием ЛС59-1), олово повышает коррозионную стойкость (ЛО 60-1), кремний и алюминий повышают механические свойства (ЛК 80-3, ЛА77-2).

Бронзы – это сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием (в настоящее время бронзами называют все сплавы меди, кроме латуней и медно-никелевых сплавов). По химическому составу бронзы делятся на оловянные и безоловянные (специальные), а по технологическим свойствам – на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.



*Рис. 4.1. Микроструктуры (x 100): а – литейная латунь ($\alpha + \beta$);
 б – латунь ($\alpha + \beta$) после деформирования; в – литейная бронза Br05;
 г – бронза после деформирования и рекристаллизации*

Сплавы меди с оловом – *оловянные бронзы* (Br010, BrO10Ф1) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литейной оловянной бронзы (рис. 4.1, в) состоит из неоднородного твердого α -раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$. Темные участки неоднородного твердого α -раствора богаты медью, светлые – оловом, в эвтектоиде на светлом фоне соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ видны темные точечные включения α -фазы

На рис. 4.1, г приведена микроструктура бронзы после деформирования и рекристаллизации.

В последнее время широко применяются безоловянные бронзы.

Алюминиевые бронзы содержат до 11 % алюминия (БрАЖ9-4, БрА10ЖЗМц2), для повышения механических свойств в них добавляют железо и никель.

В отожженном состоянии бронзы очень пластичны. Для повышения твердости проводят термическую обработку, которая состоит из закалки с 900 °С в воду и отпуска 650 °С. После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен α - и β -твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

Кремнистые бронзы содержат до 3,0 % Si (БрКМц3-1). Они превосходят алюминиевые бронзы и латуни в прочности и стойкости в щелочных средах. Кремнистые бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются.

Бериллиевые бронзы содержат 1,8 ... 2,5 % Be (БрБ2), применяются в промышленности после упрочнения (закалка и отпуск).

Свинцовистые бронзы содержат 27... 33 % Pb (БрС30). Свинец практически не растворяется в жидкой меди. Структура обеспечивает ее высокие антифрикционные свойства.

Медно-никелевые сплавы выделяют в отдельную группу. Данные сплавы могут использоваться в качестве конструкционных (МН19, МНЦ15-20) и электротехнических (МНМц40-1,5) материалов.

Алюминиевые сплавы. Типичные представители деформируемых сплавов на алюминиевой основе – дуралюминий (Д1, Д16) и литейных – силумин АЛ2.

Силумины – литейные сплавы на основе алюминия с кремнием (4...13 %, иногда до 23 % Si) и некоторыми другими элементами (медь, марганец, магний, цинк, титан, бериллий). Сплавы, содержащие до 11,3 % Si, являются доэвтектическими и имеют структуру из первичных кристаллов α -раствора (кремния в алюминии) и эвтектики ($\alpha + \text{Si}$). При более высокой концентрации кремния (заэвтектические сплавы) в структуре сплавов кроме эвтектики присутствуют первичные кристаллы кремния в виде пластинок. Силумины обычно модифицируют натрием, который в виде хлористых и фтористых солей вводят в жидкий сплав в виде 2 – 3 % от массы сплава. Натрий сдвигает

гает эвтектическую точку в системе Al – Si в сторону больших содержаний кремния.

Обычный силумин содержит 12 – 13 % Si и по структуре является заэвтектическим, но если перед самой отливкой внести в сплав незначительное количество хлористых и фтористых солей натрия, то структура резко изменится. Сплав становится доэвтектическим. При модифицировании температура выделения кремния и кристаллизации эвтектики понижается. Так как кристаллизация происходит при более низких температурах, следовательно, продукты кристаллизации становятся более мелкозернистыми. Измельчение структуры и отсутствие первичных выделений хрупкого кремния улучшают механические свойства.

Дуралюминий (дуралюмин) – сплав шести компонентов: алюминия, меди, магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений (CuAl_2 , фаза S, Mg_2Si) и нерастворимых (железистые и марганцовистые соединения). Структура дуралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

В приложении 3 приведена диаграмма состояния сплавов Al–Cu.

Дуралюмин относится к сплавам, в которых не происходят полиморфные превращения при нагреве. Поэтому они могут подвергаться упрочняющей термической обработке, состоящей из закалки с последующим естественным и искусственным старением.

После закалки с оптимальных температур (500 °C) основное количество соединений CuAl_2 и Mg_2Si растворяется в алюминии, соединения железа не растворяются. Поэтому в закаленном состоянии структура состоит из алюминиевого твердого раствора (пересыщенного α -раствора) и нерастворимых включений соединений железа. Такая структура будет отличаться большей пластичностью, но меньшей твердостью и прочностью, т.е. в результате закалки дуралюмин становится мягким и пластичным. Старению предшествует 2 – 3-

часовой инкубационный период, в течение которого сплав сохраняет высокую пластичность. Но полученный в результате закалки α -раствор является неустойчивым. Выдержка при комнатной температуре (естественное старение) или при искусственном повышении температуры (искусственное старение) приводит к изменениям в твердом растворе, ведущем в конечном итоге к выделению соединений (в сплавах, дополнительно легированных магнием, также выделяется S-фаза – CuMgAl_2).

Дуралюмины после закалки подвергают естественному старению, так как оно обеспечивает получение более высокой коррозионной стойкости, но естественное старение продолжается в течение 5 – 7 сут. Длительность старения значительно сокращается при увеличении температуры до 40, особенно 100 °С, температура искусственного старения различных алюминиевых сплавов колеблется от 20 до 200 °С.

Титановые сплавы классифицируются по способу производства, структуре, механическим свойствам и способности упрочняться термической обработкой.

По способу производства титановые сплавы делятся на деформируемые и литейные. *По механическим свойствам* – нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластичности. *По способности упрочняться термической обработкой* различают упрочняемые и неупрочняемые титановые сплавы.

подавляющее большинство металлов образуют с титаном диаграммы состояния с эвтектоидным превращением. *По структуре* титановые сплавы делят на α -, ($\alpha + \beta$)- и β -сплавы. Все легирующие элементы по влиянию на полиморфизм титана можно разделить на три группы:

- 1) α -стабилизаторы (алюминий, галлий, индий, углерод, азот, кислород);
- 2) β -стабилизаторы (молибден, ванадий, хром, марганец, железо, медь, никель, кобальт);
- 3) нейтральные элементы (олово, цирконий, германий).

Наилучшее сочетание свойств достигается в ($\alpha + \beta$)-сплавах. Эти сплавы более прочны, чем однофазные, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке.

Титановые сплавы подвергают термической обработке – отжигу, закалке и старению, химико-термической обработке (азотированию, силицированию). Упрочняющая обработка, состоящая из закалки с последующим старением, применима только для ($\alpha + \beta$)-сплавов. Сплавы, имеющие структуру α -раствора, нельзя упрочнить термической обработкой.

С целью повышения твердости, износостойкости и жаропрочности титановые сплавы могут подвергать азотированию. Азотирование проводят в газовой среде при температуре 900 °С, процесс длителен (до 50 ч). Для уменьшения хрупкости азотированного слоя заготовки подвергают вакуумному отжигу при 800 – 900 °С.

Превращения при закалке и старении в титановых сплавах похожи на соответствующие превращения в стали. Однако такого существенного упрочнения, как в сталях, в титановых сплавах не происходит.

Титановые сплавы обладают хорошими литейными свойствами, они отличаются высокой жидкотекучестью и плотностью отливок, а также малой склонностью к образованию горячих трещин. Однако литейные титановые сплавы имеют более низкие механические свойства по сравнению с деформируемыми сплавами.

Титан и его сплавы благодаря высокой удельной прочности и хорошей коррозионной стойкости применяют в разных отраслях промышленности, особенно в авиа- и ракетостроении, судостроении и химической промышленности. Широкое использование титановых сплавов сдерживается их сравнительно высокой себестоимостью.

Применение **магниевого сплава** оказывается целесообразным в виду их низкой плотности, однако они мало пригодны для нагруженных деталей. Легирование алюминием и цинком повышает механические свойства. Марганец увеличивает коррозионную стойкость и улучшает свариваемость. Цирконий измельчает зерно, повышает механические свойства и коррозионную стойкость.

По технологии изготовления различают деформируемые и литейные магниевые сплавы.

Деформируемые магниевые сплавы изготавливают в виде горячекатаных прутков, полос, профилей, а также в виде поковок и штампованных заготовок. Различают сплавы упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой.

Литейные магниевые сплавы по химическому и фазовому составу близки к деформируемым. Недостаток литейных сплавов – низкие механические свойства из-за усадочной пористости и крупнозернистой структуры.

Наиболее распространенным магниевым литейным сплавом является МЛ5. Данный сплав характеризуется хорошей жидкотекучестью, малой склонностью к пористости и хорошей обрабатываемостью резанием.

Благодаря малой плотности и высокой удельной прочности магниевые сплавы широко применяют в авиастроении, транспортном машиностроении и других отраслях. Также их используют для протекторной защиты от коррозии в морской воде, коррозии в грунте в виду высокого электроотрицательного потенциала магниевых сплавов.

Порядок выполнения работы

Первое задание студенты выполняют при подготовке к практической работе.

Студент получает два задания (вариант задания указывается преподавателем) и последовательно отвечает на поставленные вопросы.

Содержание отчета

1. Название, цель работы и задание.
2. Задание 1 (вариант задания указывается преподавателем).
3. Задание 2 (вариант задания указывается преподавателем).

Контрольные вопросы

1. Каковы составы, структура, маркировка и применение латуней?
2. Каковы составы, структура, маркировка и применение бронз?
3. Опишите возможную термическую обработку латуней.
4. Какая термообработка проводится для бронз?
5. Какие алюминиевые сплавы применяются для изготовления отливок?
6. Что представляет собой модифицирование силуминов? С какой целью его проводят?
7. Какова термическая обработка дуралюминов?
8. Как классифицируются магниевые сплавы?
9. Каковы структура, свойства, маркировка и применение титановых сплавов?

Поправка Δ на поглощение в образце радиусом ρ

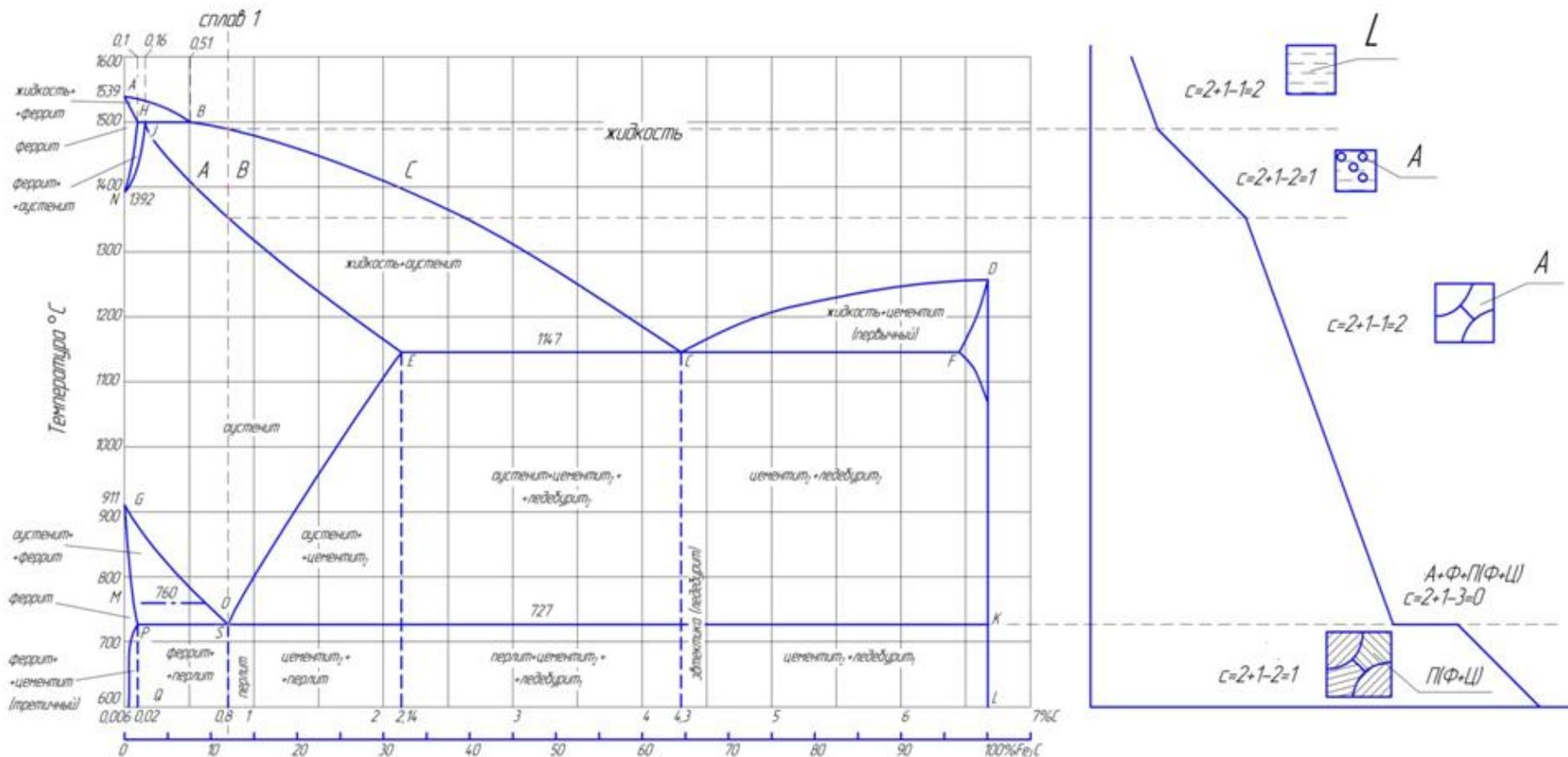
Θ	ρ									
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
10	0,29	0,39	0,49	0,58	0,68	0,78	0,87	0,97	1,07	1,16
12	0,29	0,38	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	0,96	1,05	1,14
14	0,28	0,38	0,47	0,56	0,66	0,75	0,85	0,94	1,03	1,13
16	0,28	0,38	0,46	0,55	0,65	0,74	0,83	0,92	1,02	1,11
18	0,27	0,37	0,45	0,54	0,63	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. 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 $\sigma_T \geq 25 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta \geq 17\%$. Стали: 40Х, 20ХН, Ст5.
7. Выбрать сталь для изготовления распределительного вала диаметром 70 мм с $\sigma_T > 50 \text{ кгс/мм}^2$, $\delta \geq 20\%$, на поверхности кулачков $\text{HRC} > 50$. Стали: 40Г, 40ХМ, 20, Ст2.
8. Выбрать материал и термообработку для изготовления валов диаметром 50 мм, $\sigma_T \geq 150 \text{ кгс/мм}$, $\psi \geq 15\%$. 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 обработки.

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.

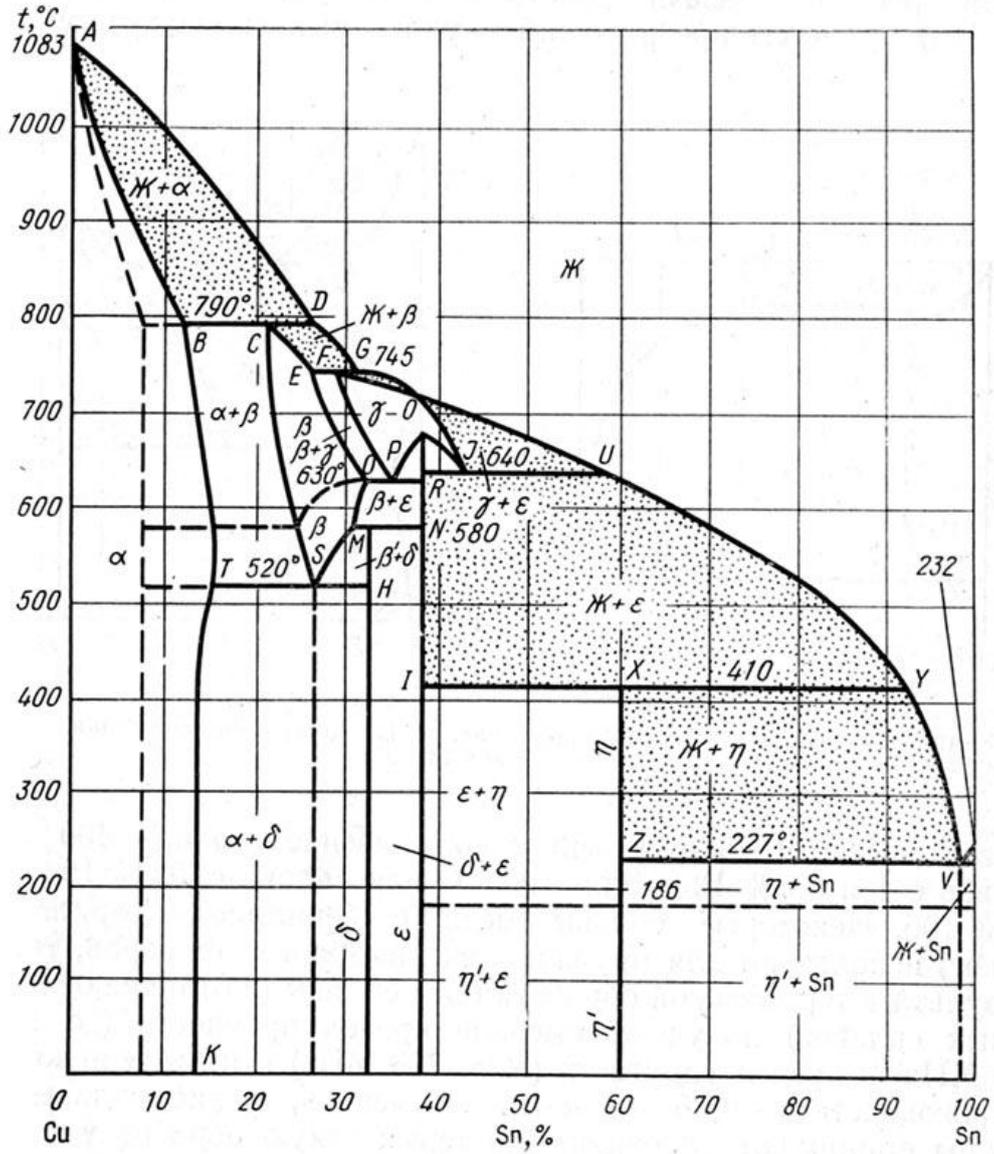
29. Подберите нержавеющую сталь для изготовления деталей, работающих в среде уксусной кислоты при температуре не выше 60 °С. Приведите химический состав стали, необходимую термическую обработку, получаемую структуру. Объясните физическую природу коррозионной устойчивости материала и роль каждого легирующего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

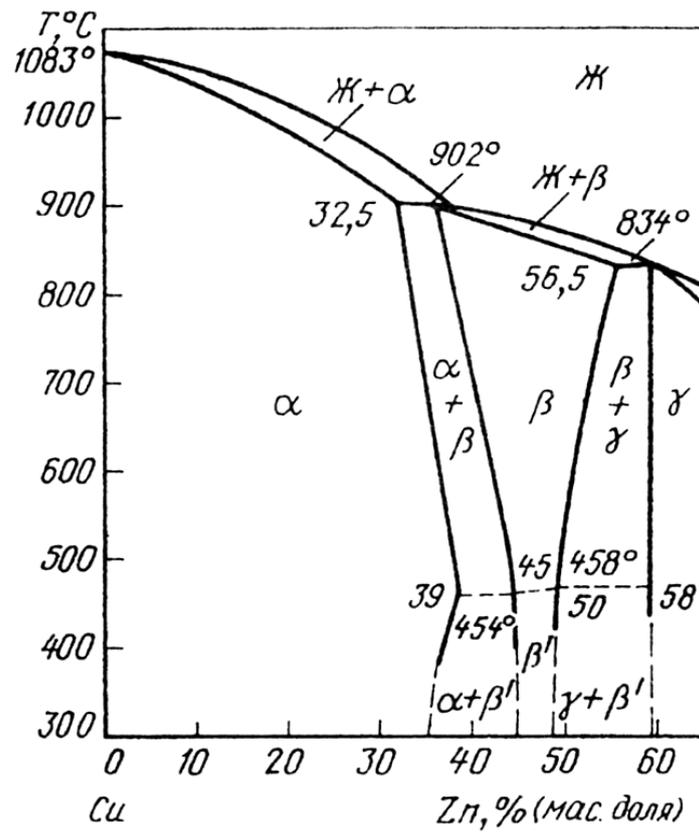
31. В результате термической обработки деталь должна получить твердый износостойчивый поверхностный слой (HV1200). Для ее изготовления выбрана сталь 38Х2МЮА: расшифруйте состав и определите, к какой группе относиться данная сталь по назначению; назначьте режим термической и химико-термической обработок,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

Диаграммы состояния цветных сплавов

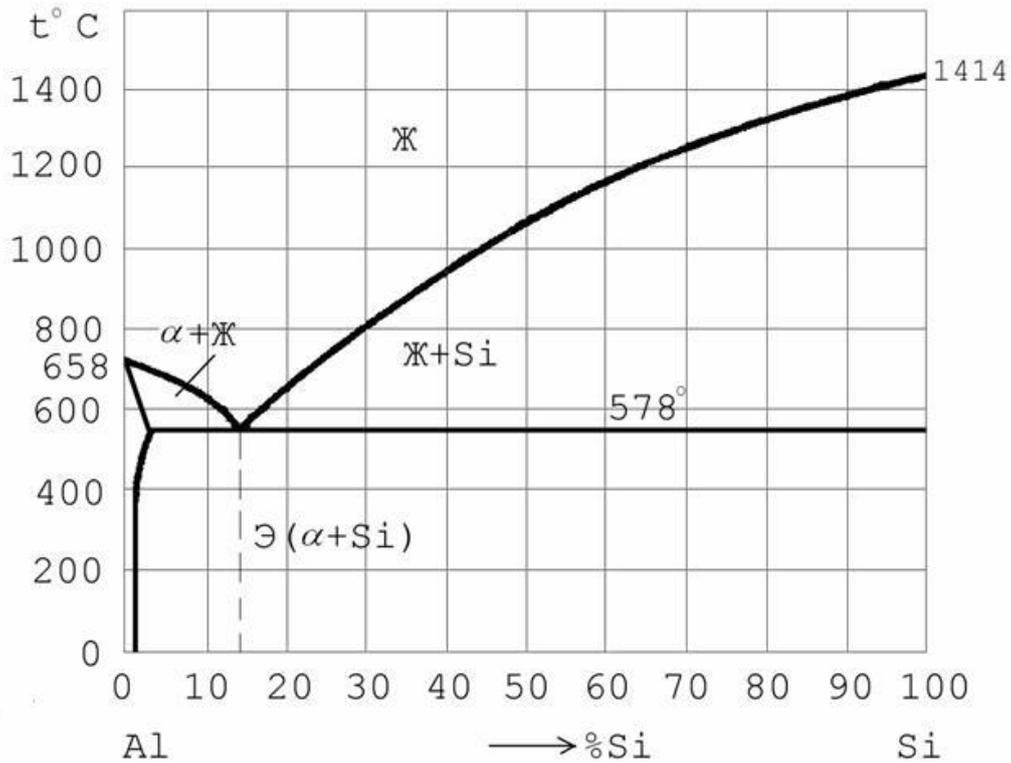
а) диаграмма состояния медь-олово (бронзы)



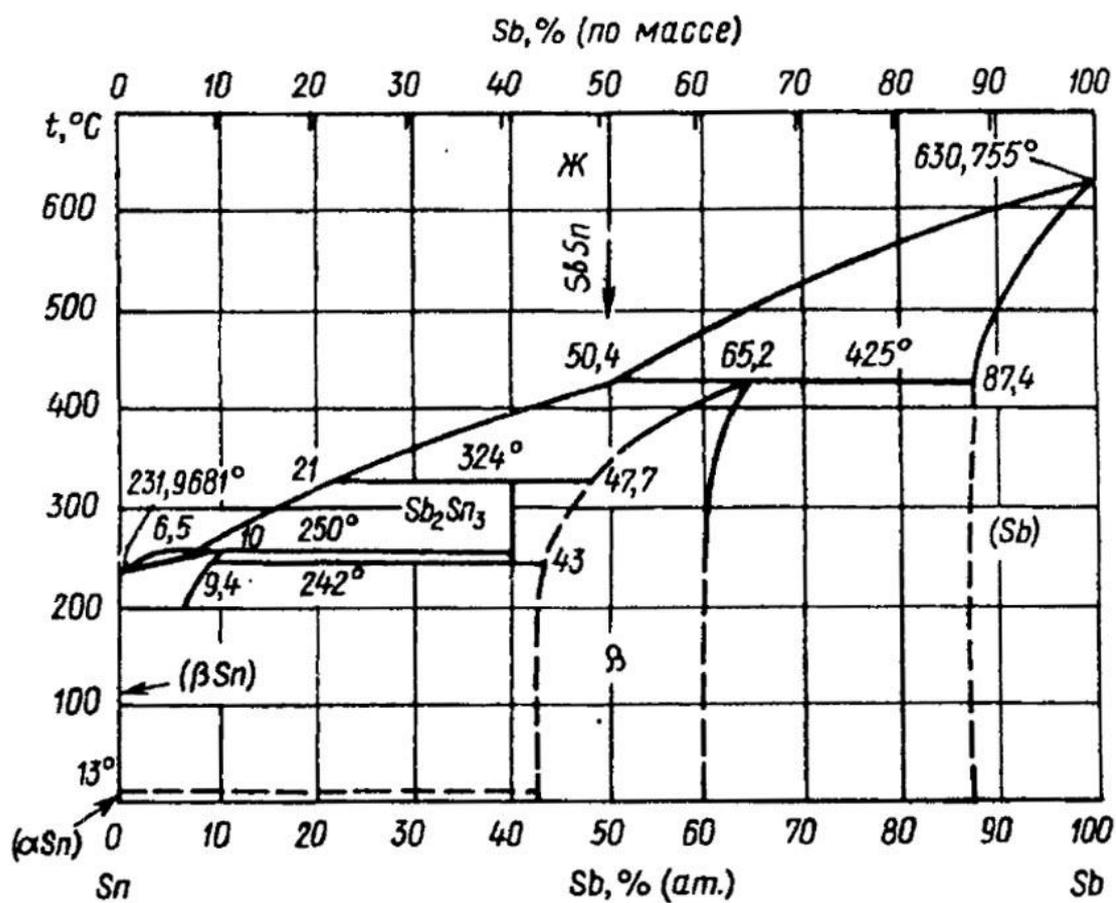
б) часть диаграммы состояния медь-цинк (латуни)



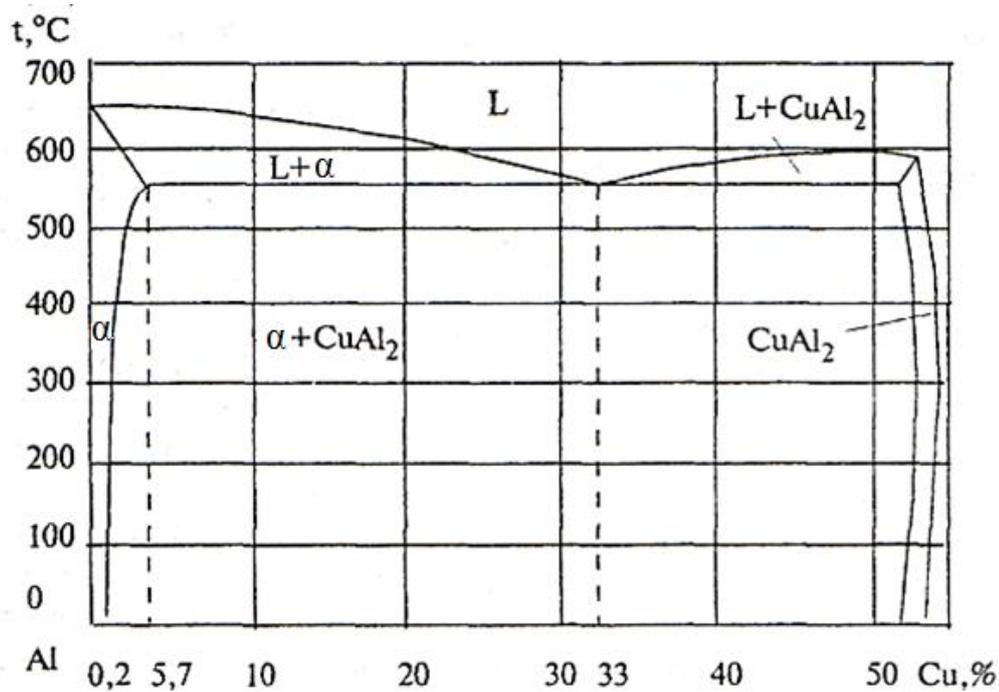
в) диаграмма состояния алюминий-кремний



г) диаграмма состояния олово-сурьма



д) часть диаграммы состояния сплавов Al – Cu



Задания к практической работе № 4

Часть I

1. Для изготовления обшивки самолетов выберите титановый сплав. Приведите химический состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

2. Подберите медный сплав для изготовления деталей, получаемых глубокой штамповкой: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

3. Назначьте марку алюминиевой бронзы для изготовления мелких ответственных деталей, например втулок: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства сплава; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

4. Подберите медный сплав для изготовления конденсаторных труб, используемых в морском судостроении: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру и свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

5. Подберите медный сплав для изготовления деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) объясните назначение легирующих элементов; г) приведите характеристики механических свойств.

6. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления проводов, тензодатчиков, обладающих высоким сопротивлением: а) расшифруйте состав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

7. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления посуды: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится дан-

ный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

8. Подберите марку припоя для изготовления (припаивания) выводов транзисторов в радиосхеме. Укажите ориентировочно температуру плавления и механические свойства, а так же требования, предъявляемые к припою.

9. Подберите легкоплавкий сплав для подшипника скольжения: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите микроструктуру сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

10. Назначьте марку алюминиевого сплава для изготовления деталей, получаемых литьем: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства сплава; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

Часть II

1. Для изготовления ряда деталей самолета выбран сплав Д16. Опишите состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую микроструктуру. Опишите процессы, протекающие при термообработке.

2. Для изготовления постоянных магнитов используется сплав ЮНДК40Т8А: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав по назначению; б) объясните влияние легирования на свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

3. Для обшивки самолетов используется сплав ВТ6. Приведите химический состав сплава, режим упрочняющей термической обработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

4. Для изготовления деталей, применяемых в судостроении, выбран сплав БрАМц10-2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

5. В качестве материала для изготовления мембран выбран сплав БрБ2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) назначьте термическую обработку; в) опишите микроструктуру и свойства сплава.

6. Для изготовления деталей в авиастроении используется сплав МЛ5: а) расшифруйте состав сплава; б) укажите способ изготовления деталей из данного сплава; в) укажите возможную термообработку; г) опишите механические свойства сплава.

7. Для изготовления деталей, получаемых глубокой штамповкой, выбран сплав Л70: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

8. Назначьте марку алюминиевой бронзы для изготовления мелких ответственных деталей, например втулок: а) расшифруйте состав и укажите механические свойства сплава; б) опишите структуру сплава и возможную термическую обработку.

9. Для изготовления некоторых деталей двигателя внутреннего сгорания выбран сплав АК4: а) расшифруйте состав и укажите способ изготовления деталей из этого сплава; б) опишите возможную термическую обработку; в) приведите механические свойства данного сплава.

10. В конструкциях авиационных реактивных двигателей для изготовления лопаток компрессора выбран сплав ВТ14: а) приведите химический состав сплава и укажите механические свойства; б) определите, к какой группе относится данный сплав; в) опишите режим возможной термообработки и получаемую при этом структуру. Опишите процессы, протекающие при термической обработке.

11. Для изготовления деталей самолета выбран сплав АМц2: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите способ упрочнения этого сплава и объясните природу упрочнения.

12. Для изготовления конденсаторных труб, используемых в морском судостроении, выбран сплав Л062-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите

структуру и свойства сплава; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

13. Для изготовления радиаторных трубок выбран сплав Л90: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) приведите характеристики механических свойств сплава.

14. Для изготовления ряда деталей, используемых в судостроении, выбран сплав БрКМцЗ-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

15. Для изготовления деталей простой конфигурации, работающих при ударных нагрузках, выбран сплав ЛМц58-2: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру сплава; в) объясните назначение легирующих элементов; г) приведите характеристики механических свойств.

16. Для обшивки некоторых элементов конструкций самолетов используется сплав МА11: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) опишите структуру и его механические характеристики.

17. Для изготовления ряда деталей, работающих при повышенных температурах (300°C) с высокими вибрационными нагрузками (детали фюзеляжа, крыла, системы управления самолетом и др.), используется сплав АЛ19: а) расшифруйте состав сплава и укажите способ изготовления деталей из данного сплава; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву; в) опишите природу упрочнения при модифицировании.

18. Подберите марки припоев для изготовления (припаивания): а) пластинки из ВК6 к державке и б) выводов транзисторов в радиосхеме. Укажите ориентировочно температуру плавления и механические свойства, а так же требования, предъявляемые к этим припоям.

19. Для изготовления крыльчаток вентиляторов для компрессоров реактивных двигателей использован сплав АК6: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б)

опишите возможную упрочняющую обработку; в) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

20. В качестве материала для подшипников скольжения выбран сплав Б83: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе по назначению относится данный сплав; б) опишите микроструктуру и свойства сплава.

21. Для изготовления мерной ленты, не меняющей своей длины при изменении температуры, выбран сплав Н36 (инвар): а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) опишите влияние никеля на свойства сплава; в) опишите свойства данного сплава.

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
<i>Практическая работа N 1.</i>	
Расчет межплоскостных расстояний и рентгеновской плотности вещества	4
<i>Практическая работа N 2.</i>	
Изучение диаграммы состояния железо-углерод. Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы	11
<i>Практическая работа N 3.</i>	
Выбор сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами	15
<i>Практическая работа N 4.</i> Подбор марки цветного сплава и определение режимов термической обработки	24
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложения 1	33
Приложения 2	35
Приложения 3	36
Приложения 4	40
Приложения 5	43
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	48