

**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 литейных процессов и конструкционных материалов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к практическим работам по дисциплине**  
**«Литейное металловедение»**  
для направления подготовки **150400.68 «Металлургия»**  
по профилю  
**«Прогрессивные литейные технологии при производстве отливок»**

Составитель:  
Л.В.Картонова

Владимир 2012

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 «Литейное металловедение» для направления подготовки 150400.68 «Металлургия» по профилю «Прогрессивные литейные технологии при производстве отливок»/ Владим. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова. Владимир, 2012 - 56 с.

Содержат методические указания к выполнению практических работ по курсу «Литейное металловедение».

Составлены по дисциплине «Литейное металловедение» для направления подготовки 150400.68 «Металлургия» по профилю «Прогрессивные литейные технологии при производстве отливок».

Библиогр.: 14 назв.

УДК 620.22

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Целью дисциплины «Литейное металловедение» является формирование теоретических и практических знаний в области образования микро- и макроструктуры в литых заготовках.

В результате освоения данной дисциплины у студентов формируются основные общекультурные и профессиональные компетенции, отвечающие требованиям ФГОС по направлению 150400 «Металлургия» к результатам освоения ООП ВПО по профилю «Прогрессивные литейные технологии при производстве отливок».

### Результаты обучения (компетенции) выпускника ООП

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОК-1	Способность владеть культурой мышления, обобщать и анализировать информацию, ставить цель и выбирать пути ее достижения
ОК-2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь
ОК-4	Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии
ОК-6	Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОК-8	Способность работать в команде, руководить людьми и подчиняться
ОК-13	Способность оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы
ПК-1	Умение использовать фундаментальные инженерные знания
ПК-3	Умение сознавать значимость своей будущей профессии
ПК-4	Умение сочетать теорию и практику для решения общеинженерных задач
ПК-10	Умение осуществлять и корректировать технологические процессы в металлургии и материалообработке
ПК-11	Умение выявлять объекты для улучшения в технике и технологии
ПК-12	Умение осуществлять выбор материалов для изделий различного назначения с учетом эксплуатационных требований и охраны окружающей среды
ПК-14	Уметь применять методы технико-экономического анализа
ПК-18	Способность к анализу и синтезу
ПК-19	Умение выбирать методы исследования, планировать и проводить необходимые эксперименты, интерпретировать результаты и делать выводы

Учебная дисциплина «Литейное металловедение» относится к вариативной части общенаучного цикла ООП ВПО.

Знания и навыки, полученные при изучении данного курса, широко применяются студентами при изучении дисциплин профессионального цикла: дефекты в отливках и современные методы контроля качества отливок; прогрессивные литейные технологии при производстве отливок из сплавов на основе железа; прогрессивные литейные технологии плавки и литья цветных сплавов; особенности проектирования технологии изготовления отливок; при выполнении научно-исследовательской работы.

В результате освоения дисциплины «Литейное металловедение» обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**Знать:**

кристаллическое строение металлов; с помощью диаграмм состояния двойных систем анализировать фазовые превращения при нагревании и охлаждении сплавов; процессы кристаллизации в двух-, трех- и многокомпонентных сплавах; зависимость формирования микроструктуры сплавов и макроструктуры отливок от характера кристаллизации сплава и внешних факторов; свойства и области применения основных групп металлических материалов; научные основы выбора материалов (ОК-4; ПК-1, 4, 12, 18).

**Уметь:**

использовать научно-техническую информацию в своей деятельности; уметь определять принадлежность к той или иной группе материалов по маркировке; назначать обоснованные режимы термической обработки для достижения требуемых свойств; принимать технически обоснованные решения по выбору материалов (ОК-1, 2, 4, 6, 8; ПК-1, 4, 10, 11, 12, 14, 19).

**Владеть:**

способностью обобщать и анализировать информацию, ставить цель и выбирать пути ее достижения для решения общеинженерных задач (ОК – 1, 6; ПК – 1, 3, 12, 18).

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

### Анализ пространственных решеток. Определение кристаллографических индексов плоскостей

Цель работы: изучение кристаллического строения металлов.

#### Задания

1. Используя литературные источники, зарисовать элементарную кристаллическую решетку и параметры решетки для металла, указанного преподавателем.
2. Определить координационное число.
3. Определить базис ячейки.
4. Ознакомиться с системой обозначения граней и направлений. Построить плоскость по индексам, указанным преподавателем.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Составить отчет.

#### Общие положения

Все металлы и их сплавы являются телами кристаллическими. Кристаллическое состояние прежде всего характеризуется определенным, закономерным расположением атомов в пространстве. Для описания кристаллической структуры используют понятие *кристаллической решетки*, которая представляет собой воображаемую пространственную сетку с атомами в узлах, - элементарную ячейку. Трансляцией такого наименьшего объема можно полностью воспроизвести структуру кристалла.

В кристалле элементарные частицы сближены до соприкосновения и располагаются закономерно по разным направлениям. Для упрощения пространственное расположение частиц заменяют схемами, где центры тяжести частиц представляют точками. Точки пересечения прямых линий, в которых располагаются атомы, называются *узлами* кристаллической решетки.

Для описания элементарной ячейки кристаллической решетки используются шесть величин: три отрезка ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) и три узла ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) между этими отрезками. Размер элементарной ячейки оценивается тремя отрезками – *параметрами (периодами)* решетки.

Основные кристаллические системы: кубическая, тетрагональная; ромбическая, ромбоэдрическая, гексагональная, моноклинная и триклинная.

В таблице 1.1 приведены характеристики основных кристаллических систем.

Таблица 1.1. Характеристика кристаллической системы

Система	Ребра	Углы
Кубическая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Тетрагональная	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Ромбическая	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Ромбоэдрическая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
Гексагональная	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$
Моноклинная	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma \neq 90^\circ$
Триклинная	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Металлы образуют в основном три типа элементарных ячеек кристаллических решеток (рис. 1.1): объемно центрированную кубическую (R, Na, Li, Ti<sub>β</sub>, Fe<sub>α</sub> и др.), гранецентрированную кубическую (Ca<sub>α</sub>, Ce, Ag, Au, Cu, Fe<sub>γ</sub>, Ni и др.) и гексагональную плотноупакованную (Mg, Ti<sub>α</sub>, Zn, Ca<sub>β</sub> и др.).

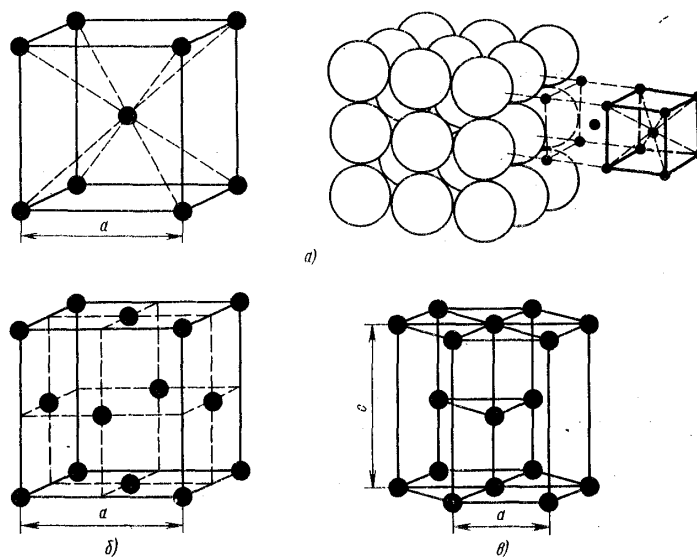


Рис. 1.1. Кристаллические решетки металлов:

*a* – объемно центрированная кубическая (ОЦК); *б* – гранецентрированная кубическая (ГЦК); *в* – гексагональная плотноупакованная (ГПУ).

**Объемно центрированная кубическая решетка.** В элементарной ячейке такой решетки девять атомов (восемь – вершинах куба и один – в центре). Каждый угловой атом входит в восемь соседних ячеек, следовательно, на одну ячейку приходится  $8 \cdot 1/8 + 1 = 2$  атома.

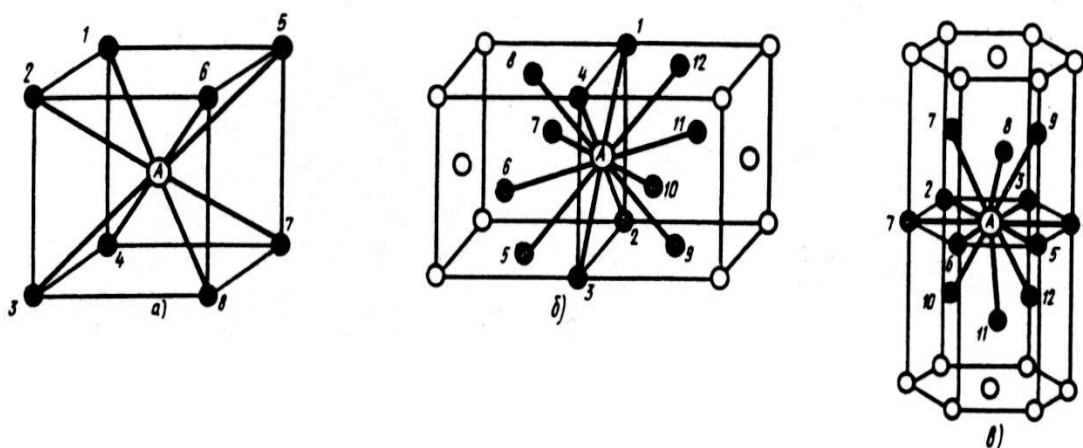
**Гранецентрированная кубическая решетка.** В элементарной ячейке такой решетки 14 атомов (8 – в вершинах и 6 – на гранях куба). Каждый

угловой атом входит в восемь ячеек; каждый атом, находящийся в центре грани, входит в две соседние ячейки, в центре ячейки атома нет. Следовательно, на одну ячейку приходится  $8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$  атома.

*Гексагональная плотноупакованная решетка.* В элементарной ячейке такой решетки 16 атомов. Верхние центральные атомы входят в две соседние ячейки; атомы, образующие вершины призмы, входят в шесть соседних ячеек; атомы, лежащие внутри призмы, целиком принадлежат данной ячейке. Следовательно, на одну ячейку приходится  $2 \cdot 1/2 + 12 \cdot 1/6 + 3 = 6$  атомов.

Элементарная кристаллическая ячейка характеризуется координационным числом, под которым понимают число атомов, находящихся на наиболее близком равном расстоянии от избранного атома.

В объемно центрированной кубической решетке (рис.1.2, а) атом А находится на наиболее близком равном расстоянии от восьми атомов, расположенных в вершинах куба, то есть координационное число этой решетки равно 8 (К8).



*Рис. 1.2. Координационное число в различных кристаллических решетках для атома А:  
а - объемно центрированная кубическая (К8);  
б - гранецентрированная кубическая (К12);  
в - гексагональная плотноупакованная (Г12).*

В гранецентрированной кубической решетке (рис.1.2, б) атом А находится на наиболее близком расстоянии от четырех атомов 1, 2, 3, 4, расположенных в вершинах куба, от четырех атомов 5, 6, 7, 8, расположенных на гранях куба, и от четырех атомов 9, 10, 11, 12, принадлежащих расположенной рядом кристаллической ячейке. Атомы 9, 10, 11, 12 симметричны 5, 6, 7, 8. Следовательно, для гранецентрированной кубической решетки координационное число равно 12 (К12).

В гексагональной плотноупакованной решетке (рис.1.2, в) атом А находится на наиболее близком расстоянии от шести атомов 1, 2, 3, 4, 5, 6, расположенных в вершинах шестигранника, и от трех атомов 7, 8, 9, расположенных в средней плоскости призмы. Кроме того, атом А находится на таком же расстоянии еще от трех атомов 10, 11, 12, принадлежащих кристаллической ячейке, лежащей ниже основания. Атомы 10, 11, 12 симметричны атомам 7, 8, 9. Таким образом, для гексагональной плотноупакованной решетки координационное число 12 (Г12).

Чем выше координационное число, тем выше плотность упаковки кристаллической решетки, т.е. объем, занятый атомами.

Плотность кристаллической решетки также характеризуется *коэффициентом компактности*.

Коэффициент компактности  $Q$  равен отношению суммарного объема атомов, входящую в решетку, к объему решетки:

$$Q = \frac{4\pi R^3 n}{3V} \times 100,$$

где  $R$  – радиус атома (иона);  $n$  – базис или число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку;  $V$  – объем элементарной ячейки.

Для ОЦК коэффициент компактности 68 %, для ГЦК 74 %, для ГПУ 74%.

*Кристаллографические индексы (индексы Миллера)*. В кристаллографии положение атомных плоскостей в кристалле определяется отрезками, отсекаемыми этими плоскостями при их пересечении с осями координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Эти отрезки измеряются целыми числами  $m$ ,  $n$ ,  $p$ , равными длине ребер ячейки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , которые являются единичными расстояниями вдоль осей координат.

За индексы плоскостей принято брать обратные отрезки:  $m = 1/m$ ,  $n = 1/n$ ,  $p = 1/p$ . Эти числа заключаются в круглые скобки.

## Порядок выполнения работы

Задания последовательно выполняются по варианту, предложенному преподавателем.

## Контрольные вопросы

1. Что такое пространственная решетка, элементарная ячейка?
2. Какие пространственные решетки встречаются среди металлов?
3. Координационное число и методика его вычисления.
4. Определение базиса решетки.
5. Кристаллографические индексы плоскости и направления.
6. Порядок нахождения кристаллографических индексов.



## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2**

### **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  $\lambda$  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.);

$\lambda$  - длина волны рентгеновских лучей;

$d$  - межплоскостное расстояние;

$\theta$  - 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  $\theta$  для всех линии. 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 (дебаеграммы) 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. 2.1 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 2.1

№ п/п	$2L_{\text{изм}}$ , мм	$\theta_{\text{приб}}$ , град	Поправка на погло- щение $\Delta\rho$ , мм	$2L_{\text{исп}}$ , мм	$\theta_{\text{точн}}$ , град	$\text{Sin}\theta$	$d_{\text{расч.}}$ А	Табл. знач. $d_i$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
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).

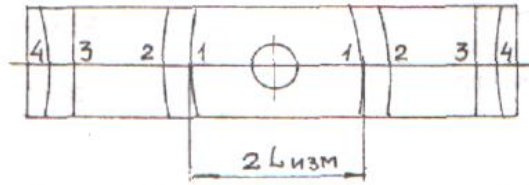


Рис. 2.1. Схематичное изображение рентгенограммы

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  $\theta$  дано значение  $\Delta\rho$  в зависимости от известного радиуса  $\rho$  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  $d_{\text{табл.}}$

С помощью справочной табл. 2.2 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. 2.2, найти тип кристалли-

ческой решетки вещества, координационное число и параметр решетки найденного вещества.

Рентгеновская плотность вещества  $\rho$  рассчитывается по формуле, г/см<sup>3</sup>:

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

где  $\rho$  - плотность исследуемого вещества;  $n$  - число атомов в элементарной ячейке;  $A$  - вес одного атома в а.е.м. (1а.е.м.=1,66x10<sup>-24</sup>г);  $a$  - параметр ячейки .

Таблица 2.2

№ п/п	Элемент	Межплоскост. расстояние d, Å	Параметр ячейки a, Å	Атомный радиус r, Å	Координационное число	Температура плавления t <sub>пл</sub> , °С	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	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

## 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.
10. Устройство рентгеновской камеры типа РКД.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

### Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы в двухкомпонентных системах

Цель работы: научиться определять фазы и структуры в сплавах при различных температурах, устанавливать связь между диаграммой состояния (структурой) и механическими, технологическими свойствами сплавов.

### Задания

1. Вычертить предложенную преподавателем диаграмму состояния, оставив рядом место для построения кривых охлаждения.

2. Определить образующиеся фазы и значение линий диаграмм состояния (ликвидус, солидус, линии полиморфных превращений, предельной растворимости избыточных фаз, эвтектического и перитектического превращения).

3. Написать реакции фазовых превращений, происходящих при постоянных температурах.

4. Определить структуры сплавов во всех областях диаграммы состояния. Для заданных сплавов построить кривые охлаждения и объяснить происходящие в них изменения. Для указанного сплава при данной температуре определить фазы, их химический состав и весовое количество.

5. Сравнить механические и технологические свойства сплавов с различной структурой.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Составить отчет.

### Общие положения

В промышленности широко применяются не чистые металлы, а их сплавы. Под сплавом понимается вещество, получаемое сплавлением двух или более элементов. Различают следующие типы сплавов: механические смеси, твердые растворы и химические соединения.

Общие закономерности сосуществования устойчивых фаз, отвечающих теоретическим условиям равновесия, могут быть выражены в математической форме, называемой *правилом фаз*, или *законом Гиббса*. Правило фаз дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количества фаз и компонентов:

$$C = K + П - Ф$$

где  $C$  – число степеней свободы (вариантность), т. е. число внешних и внутренних факторов, которое может изменяться без изменения числа фаз в системе;

$K$  – количество компонентов (веществ, образующих систему);

$П$  – число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), воздействующих на систему;

$Ф$  – число фаз; фаза – это однородная часть системы, отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую свойства изменяются скачкообразно.

Так как в дальнейшем мы будем рассматривать влияние температуры (охлаждение или нагрев системы), то правило фаз можно записать следующим образом:

$$C = K + 1 - Ф$$

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплава. Она показывает, как изменяется структура сплавов и температура фазовых превращений при изменении состава.

Между составом и структурой сплава, определяемой диаграммой состояния и свойствами сплава, существует определенная зависимость.

Сплавы эвтектического состава отличаются средней прочностью и пластичностью, но исключительно хорошими линейными свойствами, так как имеют высокую жидкотекучесть и очень малую усадку (поскольку кристаллизуются при постоянной температуре).

Твердые растворы однородны, а потому имеют повышенную прочность и пластичность, ковки, но имеют очень высокое электросопротивление и плохие литейные свойства.

Химические соединения устойчивы, тверды, но чрезвычайно хрупки. Переход сплава в однофазное состояние повышает пластичность, распад твердого раствора – понижает ее.

Коррозионная стойкость высока у чистых металлов, ниже – твердых растворов и наименьшая – у механических смесей.

### Порядок выполнения работы

Для выполнения работы каждый студент получает диаграмму состояния, по которой выполняет все предложенные задания.

Пример построения кривой охлаждения показан на рис.3.1.

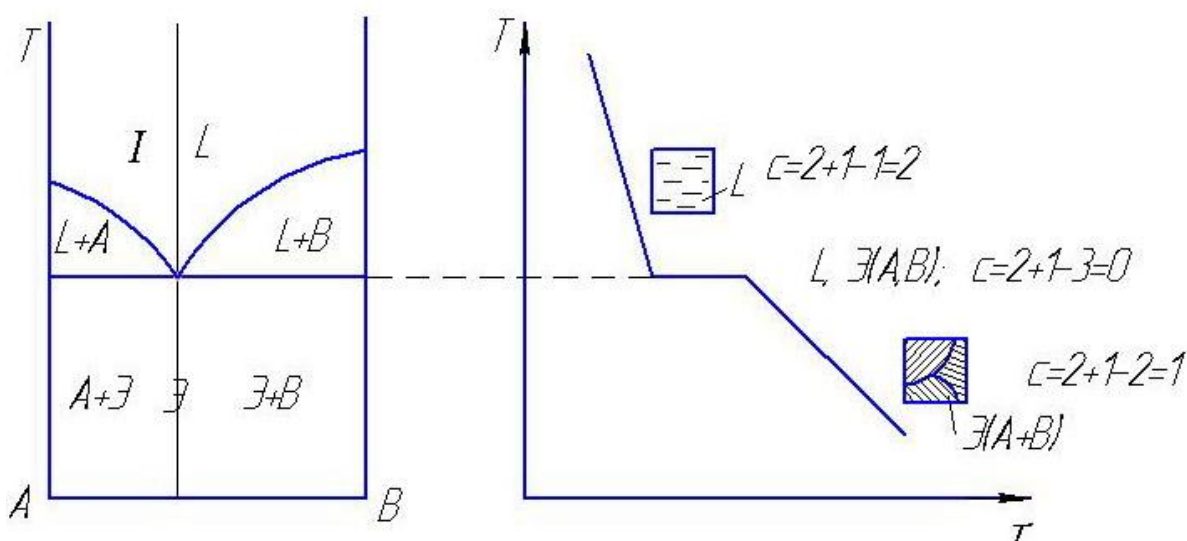


Рис.3.1. Диаграмма состояния и кривая охлаждения сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов



## Содержание отчета

1. Название, цель работы, задание.
2. Диаграмма состояния.
3. Кривые охлаждения.
4. Список использованной литературы.

## Контрольные вопросы

1. Правило фаз.
2. Твердые растворы замещения, внедрения, упорядоченные.
3. Химические соединения и промежуточные фазы.
4. Линии и структуры в диаграмме состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
5. Диаграмма состояния сплавов, кристаллизующихся с образованием механической смеси из чистых компонентов.
6. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов и с эвтектикой.
7. Диаграмма состояния с перитектическими превращениями.
8. Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением.
9. Диаграмма состояния с полиморфным превращением.
10. Что такое эвтектическое и эвтектоидное превращение?
11. Правило отрезков.
12. Как определить химический состав (концентрацию) фаз, находящихся в равновесии в двухфазной области?
13. Диаграмма состояния с неустойчивым химическим соединением.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### 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

На рис.4.1 приведена диаграмма фазового равновесия сплавов железо - углерод (железо – цементит).

Ось концентраций двойная: содержание углерода и содержание цементита. Линия  $ABCD$  является ликвидусом системы, линия  $AHJECF$  – солидусом. Железо, кроме того, что образует с углеродом химическое соединение  $Fe_3C$ , имеет две аллотропические формы  $\alpha$  и  $\gamma$  (до  $911^\circ C$  атомы железа образуют объемно-центрированную кубическую решетку  $Fe_\alpha$ , выше  $911^\circ C$  гранецентрированную  $Fe_\gamma$ ), 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  $C$ ;

феррит - твердый раствор углерода в Fe- $\alpha$ , обозначается буквой  $\Phi$ ;  
 аустенит - твердый раствор углерода в Fe- $\gamma$ , обозначается буквой  $A$ .

А.

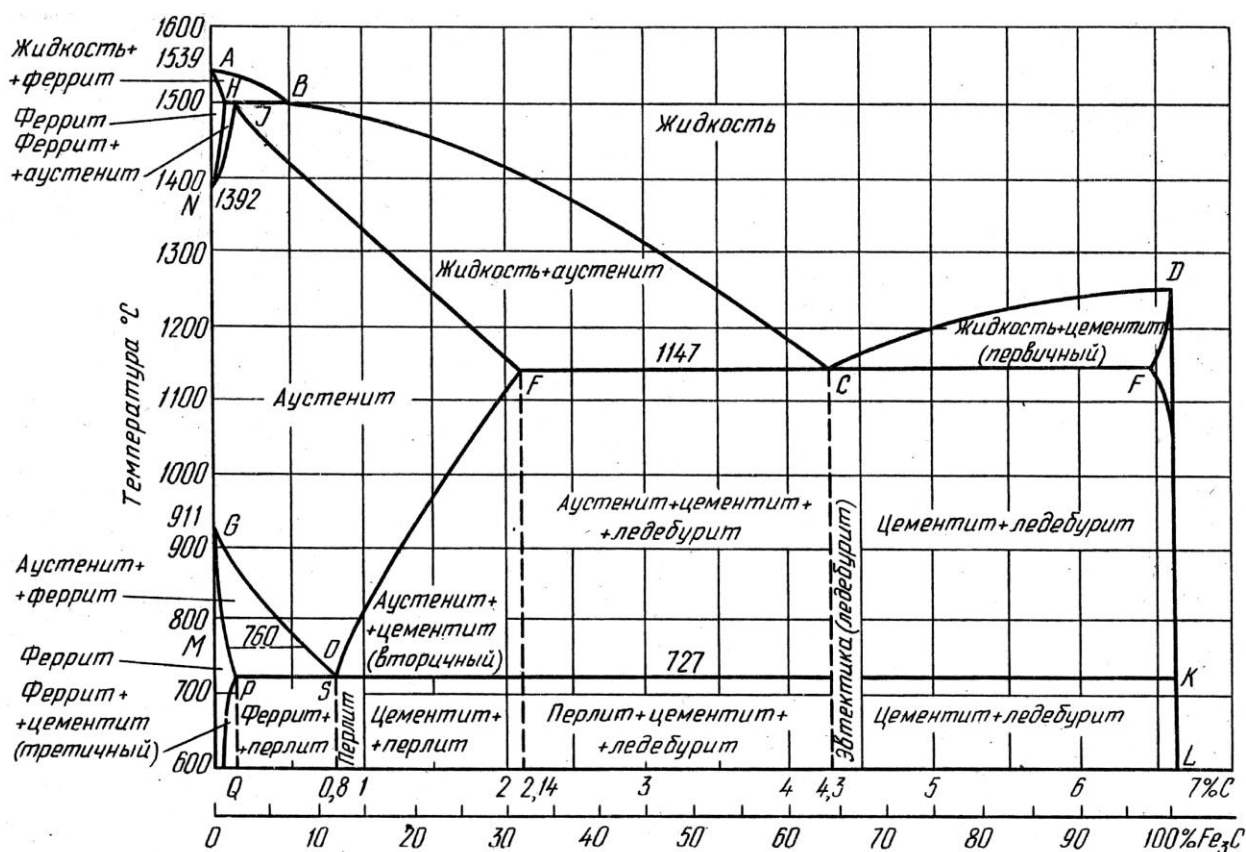
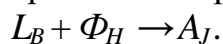


Рис.4.1. Диаграмма состояния железо-углерод (железо-цементит)

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

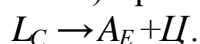
Три горизонтальные линии на диаграмме ( $HJB$ ,  $ECF$  и  $PSK$ ) указывают на протекание трех нонвариантных реакций.

1) При  $1499^{\circ}\text{C}$  (линия  $HJB$ ) протекает перитектическая реакция:



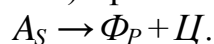
В результате перитектической реакции образуется аустенит. Реакция эта наблюдается только у сплавов, содержащих углерода от 0,1 до 0,5 %.

2) При  $1147^{\circ}\text{C}$  (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  $727^{\circ}\text{C}$  (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, 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.
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 № 5**

### **Определение режимов термической обработки и конечной микроструктуры отливок 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  $A_{ст}$ .
3. Выполнить 2 задания (приложение 4) 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 крити-

ческой 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.5.1) на 30 - 50°C выше линии  $A_3$  и  $A_{ст}$ . Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей. Микроструктура после полной закалки этих сталей будет состоять из мелкоиглочатого мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита.

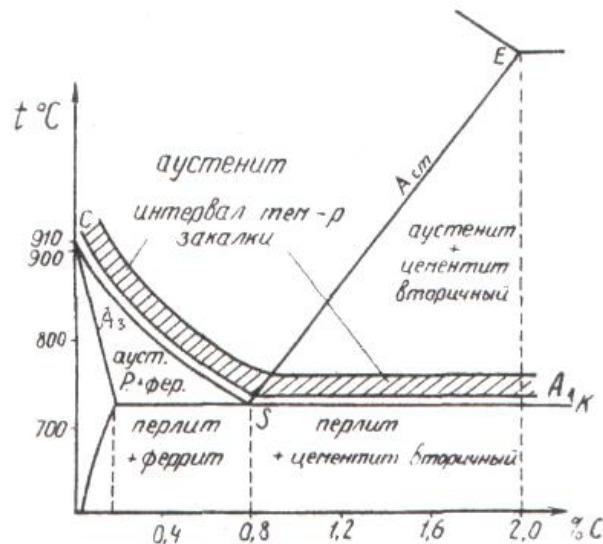


Рис. 5.1. Участок диаграммы Fe-Fe<sub>3</sub>C (нанесены температуры закалки)

Микроструктура заэвтектоидных сталей после полной закалки состоит из крупноиглочатого мартенсита и повышенного количества остаточного аустенита. Это объясняется тем, что нагрев этих сталей до температур, на 30 - 50°C 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. Поэтому заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке.

При неполной закалке заэвтектоидную сталь нагревают до температур между линиями  $A_{ст}$  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 (см. рисунок).

Низкий отпуск (120 - 250 °С) применяют для инструментов, цементованных, цианированных изделий, которым необходимы высокая твердость (60 - 65 HRC) и износостойкость. После такого отпуска у закаленной на мартенсит стали сохраняется игльчатая 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 вы-

глядит 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 (вариант задания указывается преподавателем).
4. Задание 2 (вариант задания указывается преподавателем).

### **Контрольные вопросы**

1. Как можно повысить прокаливаемость?
2. Какой вид имеет диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали У8?
3. В чем природа твердости мартенсита?
4. Что такое краснеломкость?
5. Что такое обратимая отпускная хрупкость?
6. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей мартенситного класса?
7. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей аустенитного класса?



## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6**

### **Выбор легированных сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами**

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

#### **Задание**

1. Провести анализ условий эксплуатации деталей по заданному преподавателем варианту задания (приложение 5).
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**

Рациональный выбор материала – важнейшая задача конструктора, так как надежность, эффективность и экономичность машины зависит 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 различных деталей в различных областях машиностроения, базирующиеся 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 – и арифметической, и все больше отстает от разработки новых материалов. Справочник не может дать рекомендации 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 громадной массе 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.

В проблеме 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 красноломкость.

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 бы 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 и к отпускной хрупкости, к 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 оказаться 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 увязке 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 (вариант задания указывается преподавателем).
3. Задание 2 (вариант задания указывается преподавателем).

### **Контрольные вопросы**

1. Как определить прокаливаемость?
2. Как можно повысить прокаливаемость?
3. В чем природа твердости мартенсита?
4. Что такое красностойкость и каковы способы ее повышения?
5. Что такое обратимая отпускная хрупкость?
6. Как влияют легирующие элементы на порог хладноломкости?
7. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей мартенситного класса?
8. Как выглядит диаграмма изотермического распада для сталей аустенитного класса?
9. Каковы технологические недостатки хромоникелевых сталей?
10. Как влияют легирующие элементы (хром, никель, марганец, кремний, вольфрам и др.) на полиморфизм железа?
11. Как обозначаются конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества?
12. Как обозначаются качественные углеродистые конструкционные стали?
13. Как обозначаются инструментальные углеродистые стали?
14. Как обозначаются легированные стали?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

### Металловедение и термическая обработка цветных сплавов

Цель работы: изучить микроструктуру, химический состав, свойства, применение цветных сплавов; 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).
2. Выполнить 2 задания (приложение 7) по вариантам, указанным преподавателем.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить отчет.

#### Общие положения

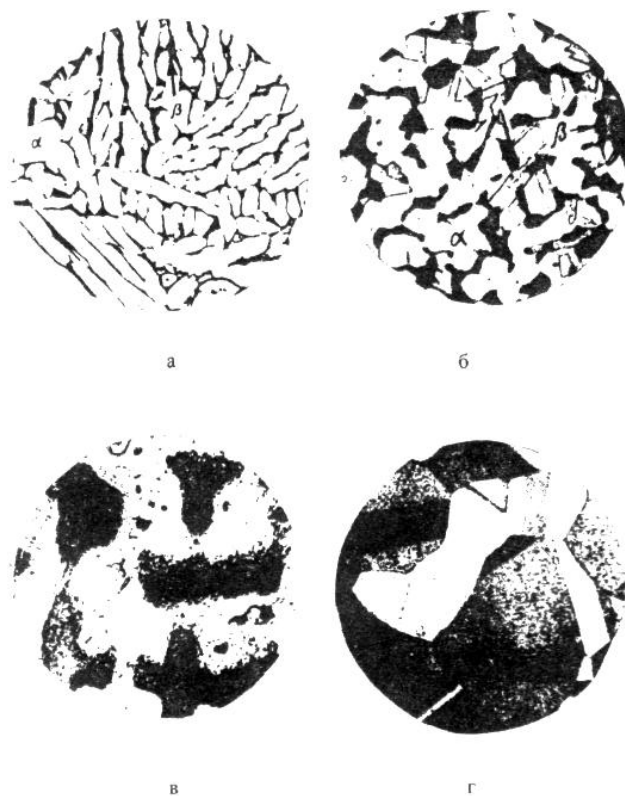
Цветные сплавы широко используются в промышленности.

*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 ( $\alpha$ ), представляют собой твердый раствор цинка в меди (рис.7.1, а). Такие латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Латуни, содержащие 40-45 % цинка (Л60, Л59, ЛЦ40Мц1,5), имеют двухфазную структуру ( $\alpha + \beta$ ),  $\beta$  - фаза представляет собой твердый раствор на основе химического соединения CuZn (рис.7.1, б). Латуни, имеющие двухфазную структуру, обладают повышенной твердостью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, но в холодном состоянии пластичность их невелика.



*Рис.7.1. Микроструктуры (x 100): а - литая латунь Л59 ( $\alpha+\beta$ );  
 б - латунь ( $\alpha+\beta$ ) после деформирования; в - литая бронза Бр05;  
 г - бронза после деформирования и рекристаллизации*

Однофазные латуни состоят из зерен однофазного твердого  $\alpha$  - раствора. Они не упрочняются при термической обработке, так как при нагревании до температуры плавления их структура не изменяется. Повысить прочность однофазных латуней можно только при холодной деформации. Неодинаковая окраска зерен под микроскопом возникает вследствие анизотропии.

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 оловянистые и безоловянистые (специальные), а по технологическим свойствам – на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.

Сплавы меди с оловом - *оловянистые бронзы* (Бр 010) очень давно и широко применяются в промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и антифрикционным свойствам. Микроструктура литой оловяни-

стой бронзы (рис.7.1) состоит из неоднородного твердого  $\alpha$ -раствора (твердого раствора олова в меди) и эвтектоида  $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ . Темные участки неоднородного твердого  $\alpha$ -раствора богаты медью, светлые - оловом, в эвтектоиде, на светлом фоне соединения  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  видны темные точечные включения  $\alpha$ -фазы.

В последнее время оловянистые бронзы заменяются более дешевыми и прочными алюминиевыми бронзами.

*Алюминиевые бронзы* содержат до 11% алюминия, 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  $900^\circ\text{C}$  в воду и отпуска  $650^\circ\text{C}$ . После закалки они имеют игольчатую структуру, состоящую из зерен  $\alpha$  и  $\beta$  твердых растворов. Алюминиевые бронзы имеют хорошие механические и высокие антифрикционные свойства.

*Кремнистые бронзы* содержат до 3,0 % Si (Бр КМц3-1). 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 (Бр Б2), применяются в промышленности после упрочнения (закалки и отпуска).

*Свинцовистые бронзы* содержат 27...33 % Pb (Бр С30). Свинец практически не растворяется в жидкой меди. Структура обеспечивает ее высокие антифрикционные свойства.

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

*Алюминиевые сплавы* классифицируются по технологии изготовления (деформируемые, литейные и спеченные (порошковые)), по способности к термической обработке (упрочняемые и неупрочняемые термической обработкой), по свойствам (сплавы повышенной пластичности, низкой прочности, нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и др.).

Типичными представителями деформируемых сплавов на алюминиевой основе являются дюралюминий (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  $\alpha$  – 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 спла-

ва. Натрий сдвигает эвтектическую точку в системе Al - Si в сторону больших содержаний кремния.

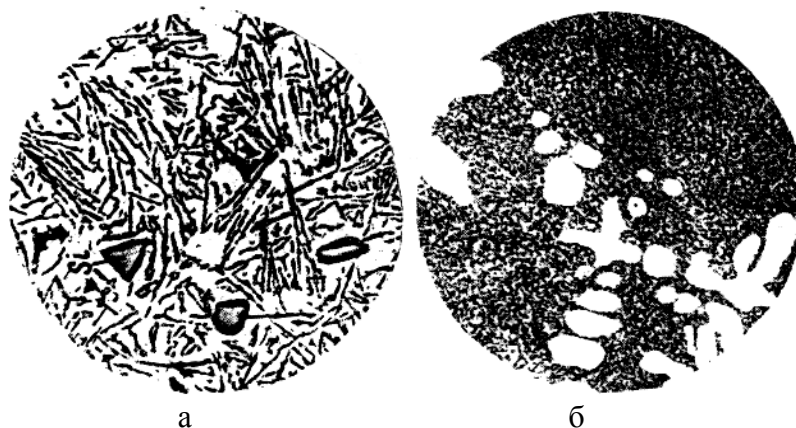


Рис.7.2. Микроструктура алюминиевого сплава АЛ2, х 250:  
а - литой немодифицированный:  
 $\alpha$ -твердый раствор и  $\beta$ -кремнистая фаза игольчатой формы;  
б - модифицированный:  $\alpha$ -твердый раствор и эвтектика тонкого строения

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.

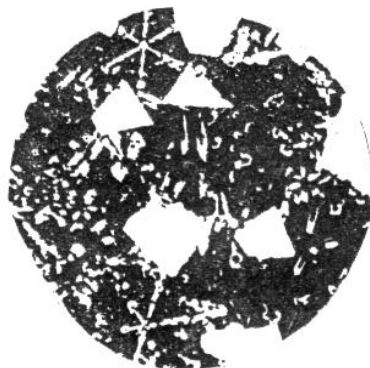
*Дюралюминий* (дюралюмин) – сплав шести компонентов: алюминия, меди, магния, марганца, кремния и железа. Указанный сплав можно причислить к сплавам системы Al – Cu – Mg, кремний и железо являются постоянными примесями. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений ( $\text{CuAl}_2$ , фаза S,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ) и нерастворимых соединений (железистые и марганцовистые соединения). Структура дюралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений различных интерметаллидных соединений.

Дюралюмин 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.

*Антифрикционные сплавы* (баббиты) применяются для заливки вкладышей подшипников скольжения различных машин. Они должны быть од-



новременно и твердыми для уменьшения коэффициента трения, и мягкими, давая возможность вкладышу прирабатываться к валу. Для этого им придают структуру, состоящую из мягкой основной массы и твердых кристаллов (рис. 7.3). Подшипниковые сплавы должны иметь, кроме того, не слишком низкую температуру плавления, обладать хорошей теплостойкостью, а также не быть дорогими.



*Рис.7.3. Микроструктура оловянистого баббита Б83:  
 $\alpha$ -твердый раствор темного фона, SnSb в виде крупных кристаллов*

Наиболее высокими качествами обладает баббит марки Б83 (83% Sn, 11% Sb и 6% Cu). Структура сплава состоит из темной пластичной основы  $\alpha$ -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове), светлых твердых частиц крупных кубических кристаллов Sn-Sb и мелких игл или звезд кристаллов  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  ( $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ).

### **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. Какая термообработка проводится для бронз?
4. Какие алюминиевые сплавы применяются для изготовления отливок?
5. Как повышают прочность литейных алюминиевых сплавов?
6. Какие алюминиевые сплавы и по каким режимам упрочняются термообработкой?
7. Как классифицируются магниевые сплавы?
8. Каковы структура, свойства, маркировка и применение титановых сплавов?
9. Какие сплавы применяются в качестве антифрикционных материалов?

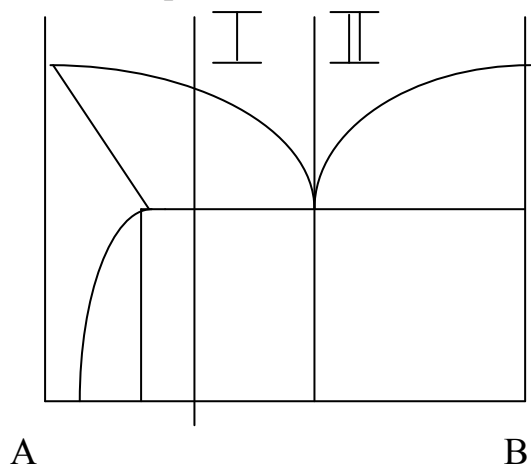
Поправка  $\Delta$  на поглощение в образце радиусом  $\rho$ 

$\Theta$	$\rho$									
	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

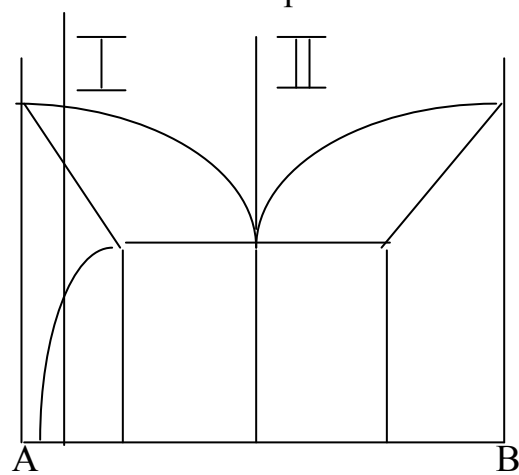
## Межплоскостные расстояния

HKL	d/n	J	HKL	d/n	J	HKL	d/n	J
<b>Al</b>			<b>Cu</b>			<b>Pb</b>		
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	<b><math>\alpha</math> - Fe</b>		
422	0,905	0,04	422	0,735	0,42	110	2,010	1,00
<b>Ag</b>			<b>W</b>			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	<b>Zn</b>		
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
<b>Cr</b>			<b>Ni</b>			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	<b>Pt</b>		
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

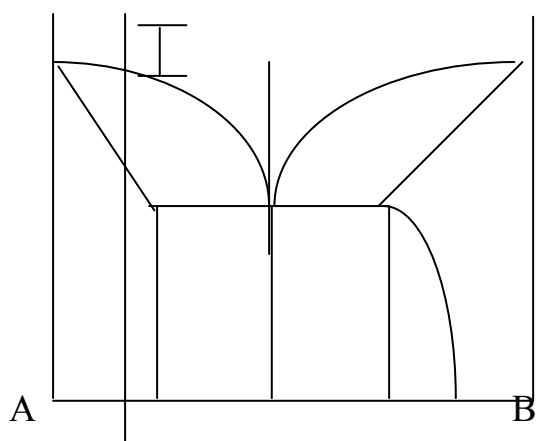
Вариант 1



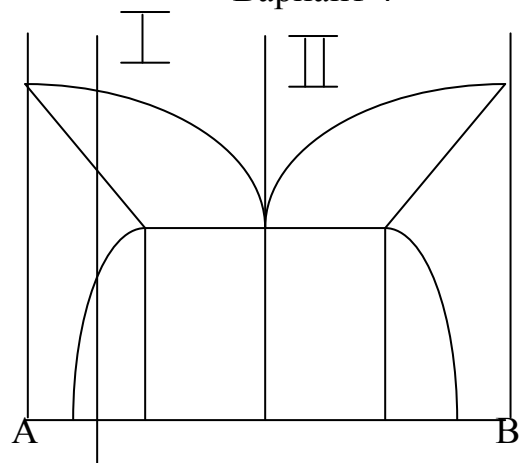
Вариант 2



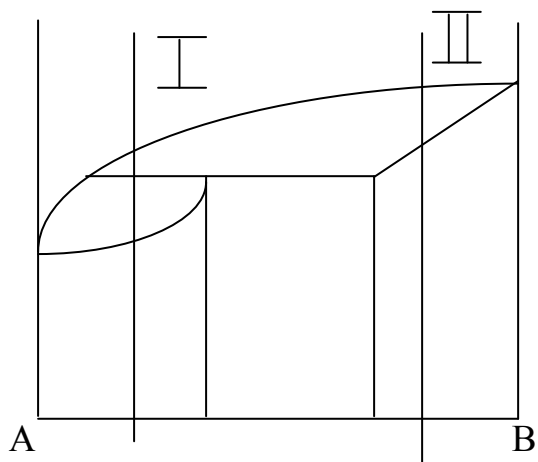
Вариант 3



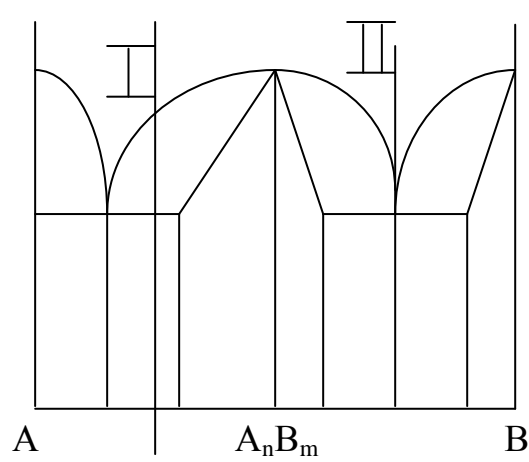
Вариант 4



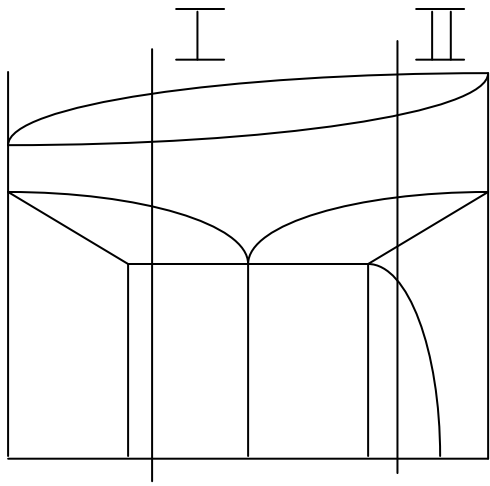
Вариант 5



Вариант 6



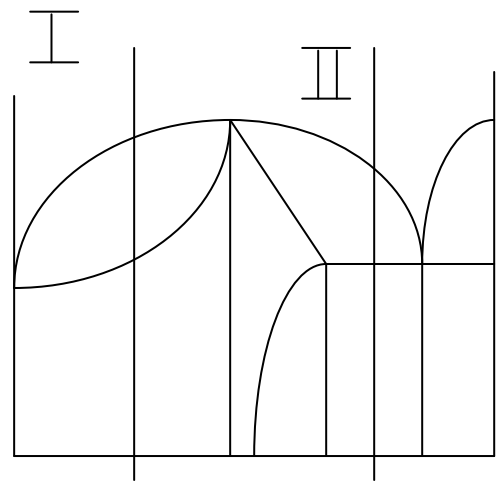
Вариант 7



A

B

Вариант 8

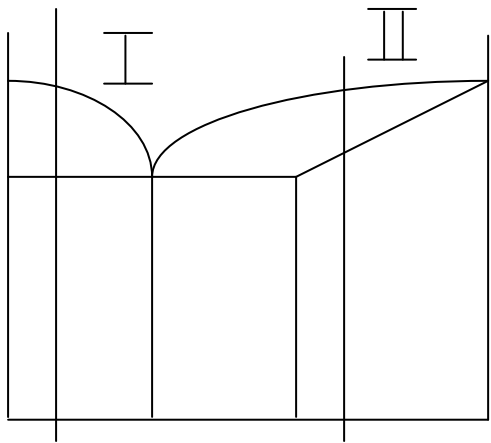


A

$A_n B_m$

B

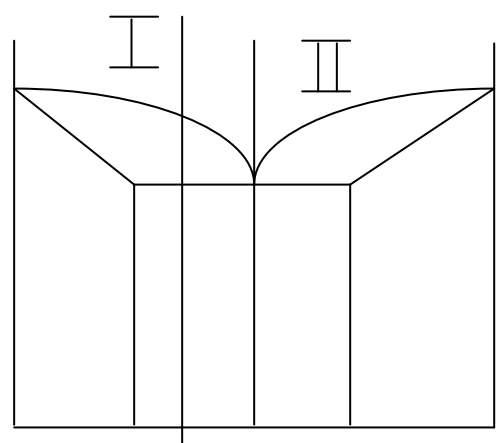
Вариант 9



A

B

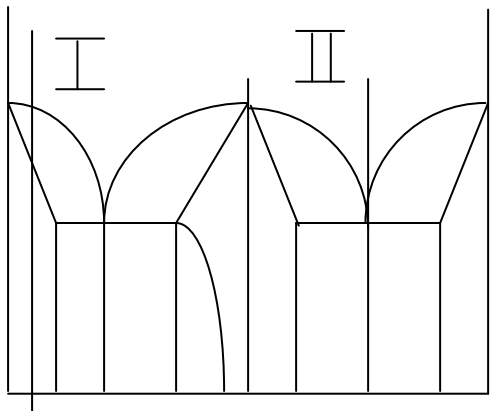
Вариант 10



A

B

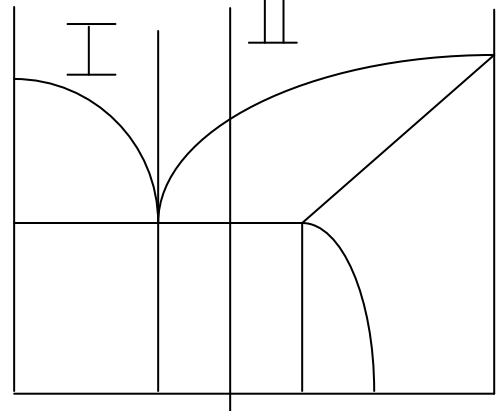
Вариант 11



A

B

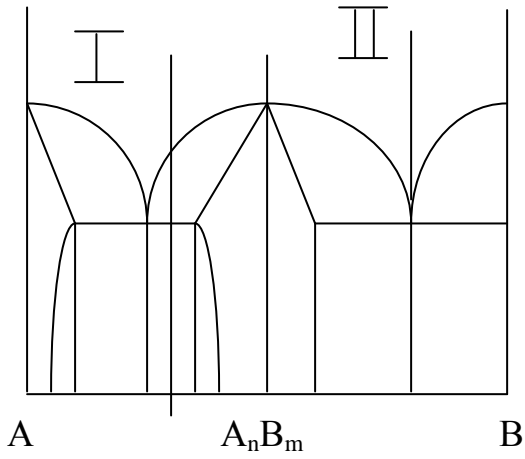
Вариант 12



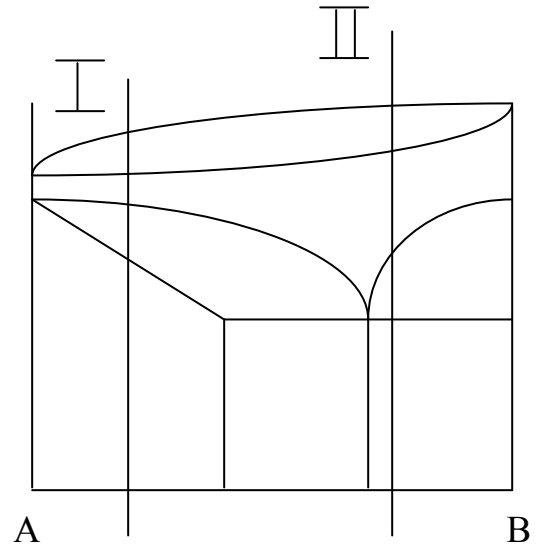
A

B

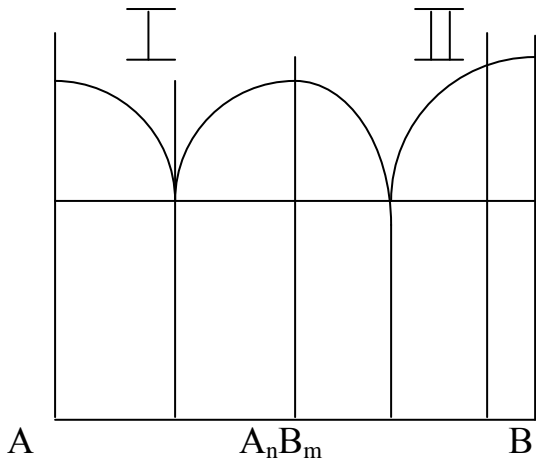
Вариант 13



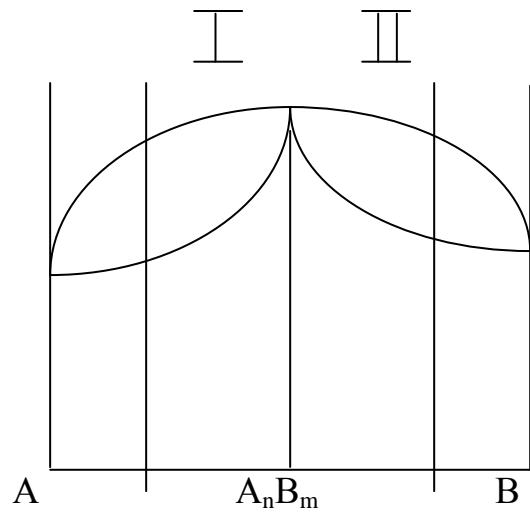
Вариант 14



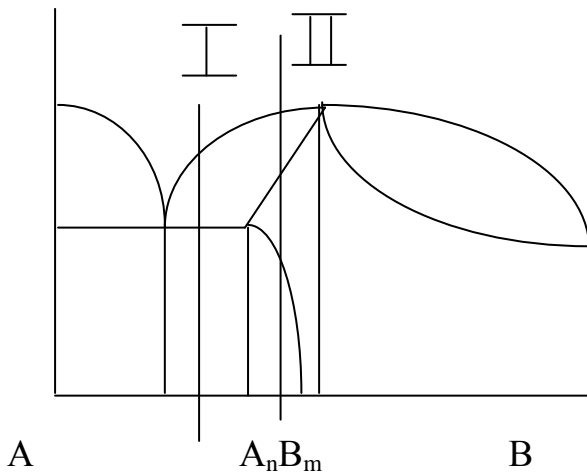
Вариант 15



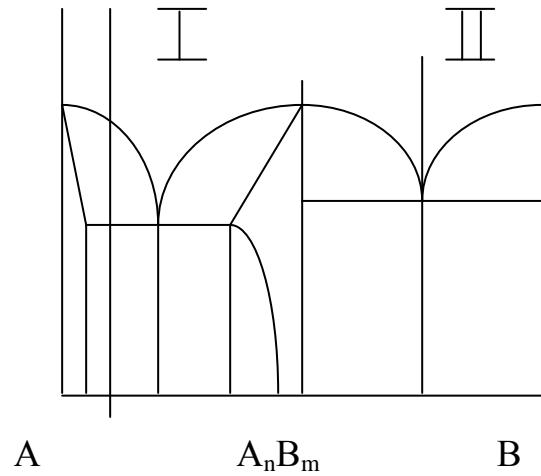
Вариант 16



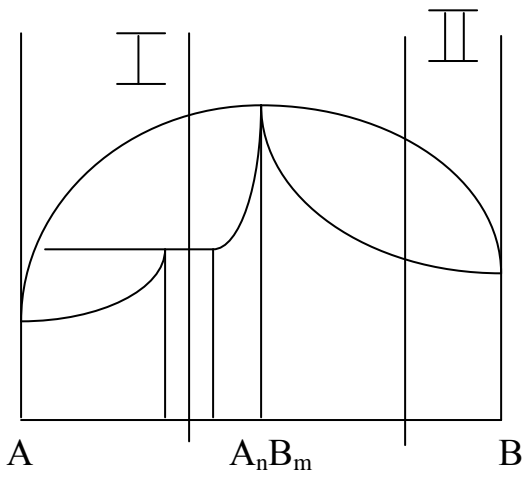
Вариант 17



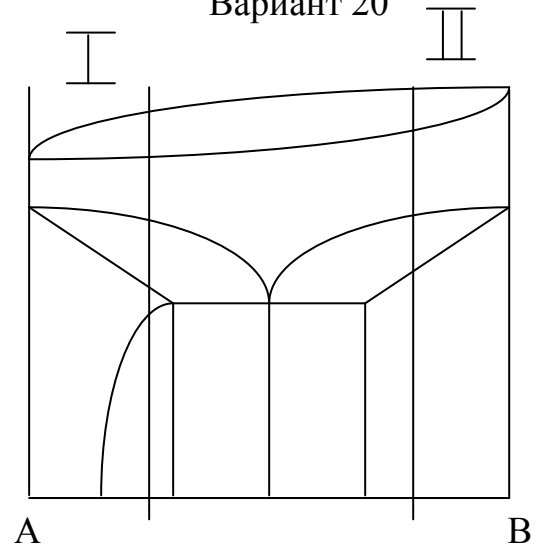
Вариант 18



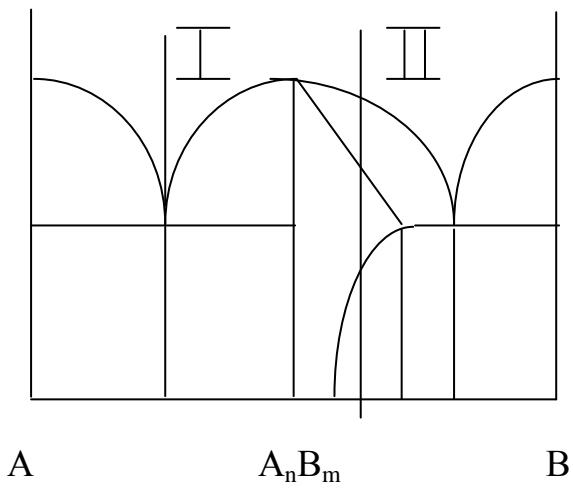
Вариант 19



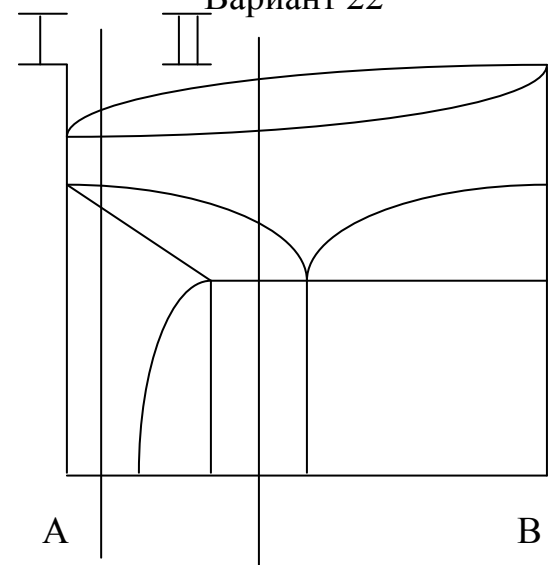
Вариант 20



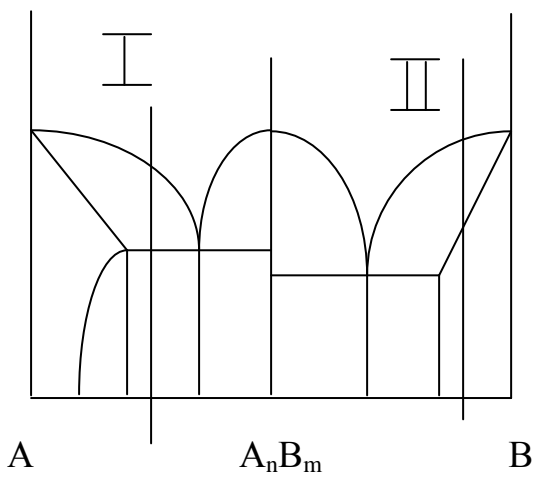
Вариант 21



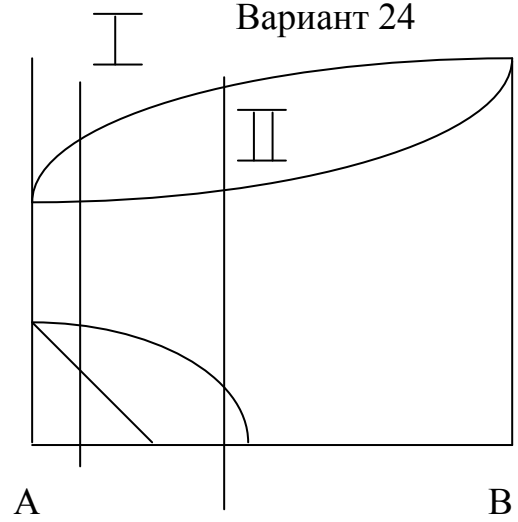
Вариант 22



Вариант 23

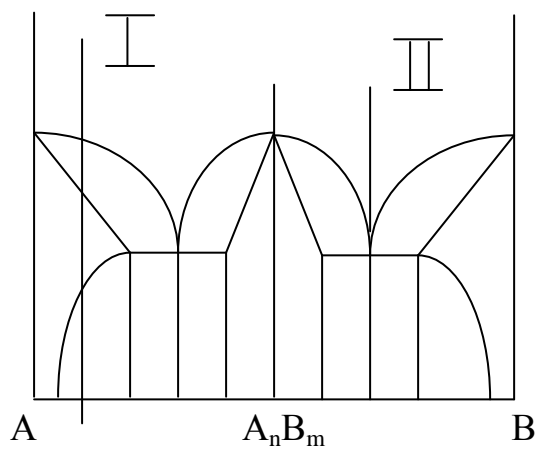


Вариант 24

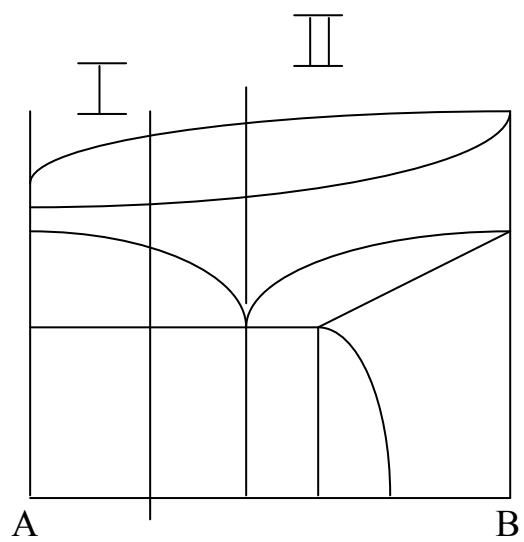




Вариант 25

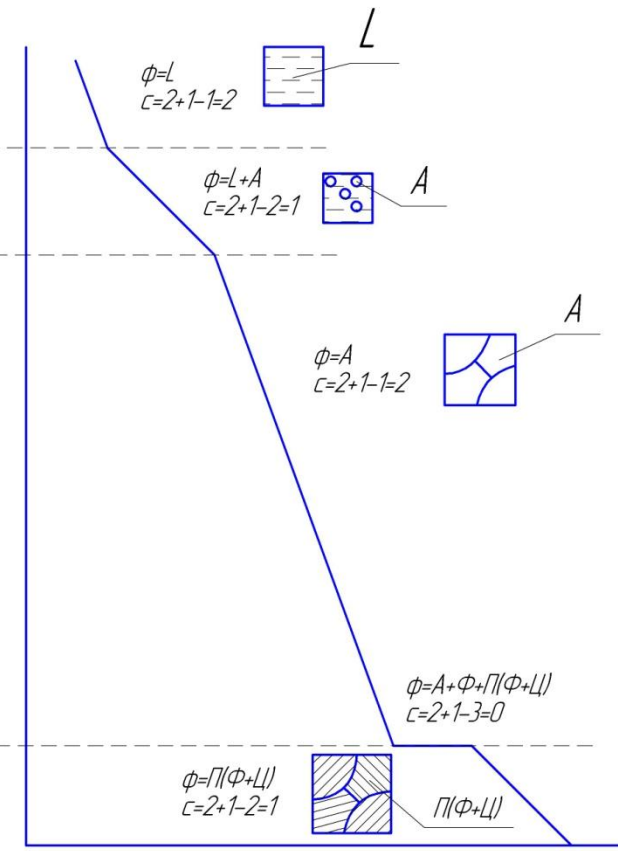
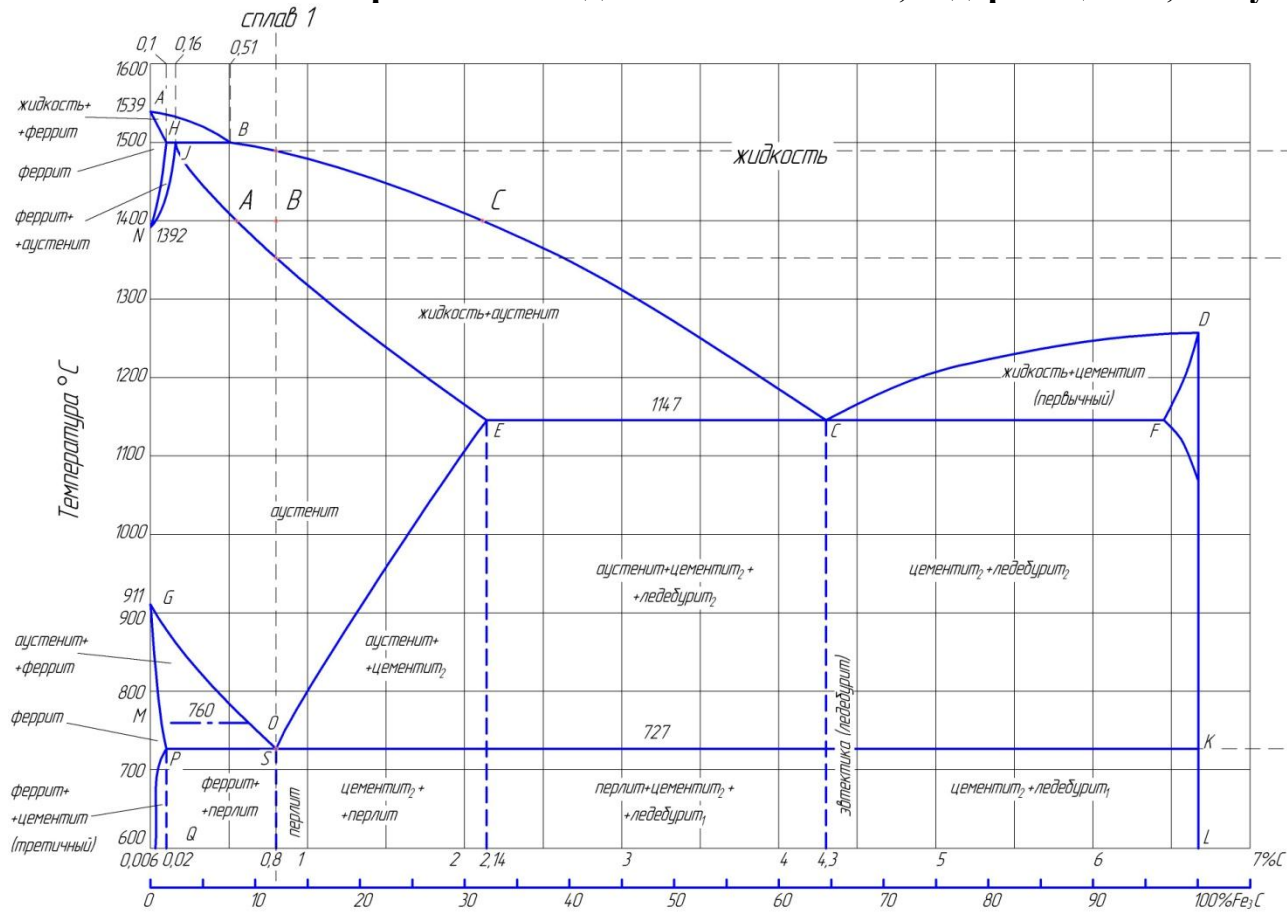


Вариант 26



Приложение 3

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



### Задания к практической работе № 5

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 предупредить?

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 °С, другие - с температуры 840 °С. 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 °С. 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 °С, другие - с температуры 840 °С. 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 °С и 840 °С. 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 относится 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 по-

добрать подходящую марку и режимы ее термообработки? Обоснуйте свое решение.

19. При проведении термической обработки зубила, изготовленного из стали У7, была выполнена закалка с  $760^{\circ}\text{C}$ . 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 № 6

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 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 тяжелонагруженного 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/м<sup>2</sup>; б) HRC62 и KCV = 2,5 МДж/м<sup>2</sup>. 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 воз-

можной 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.

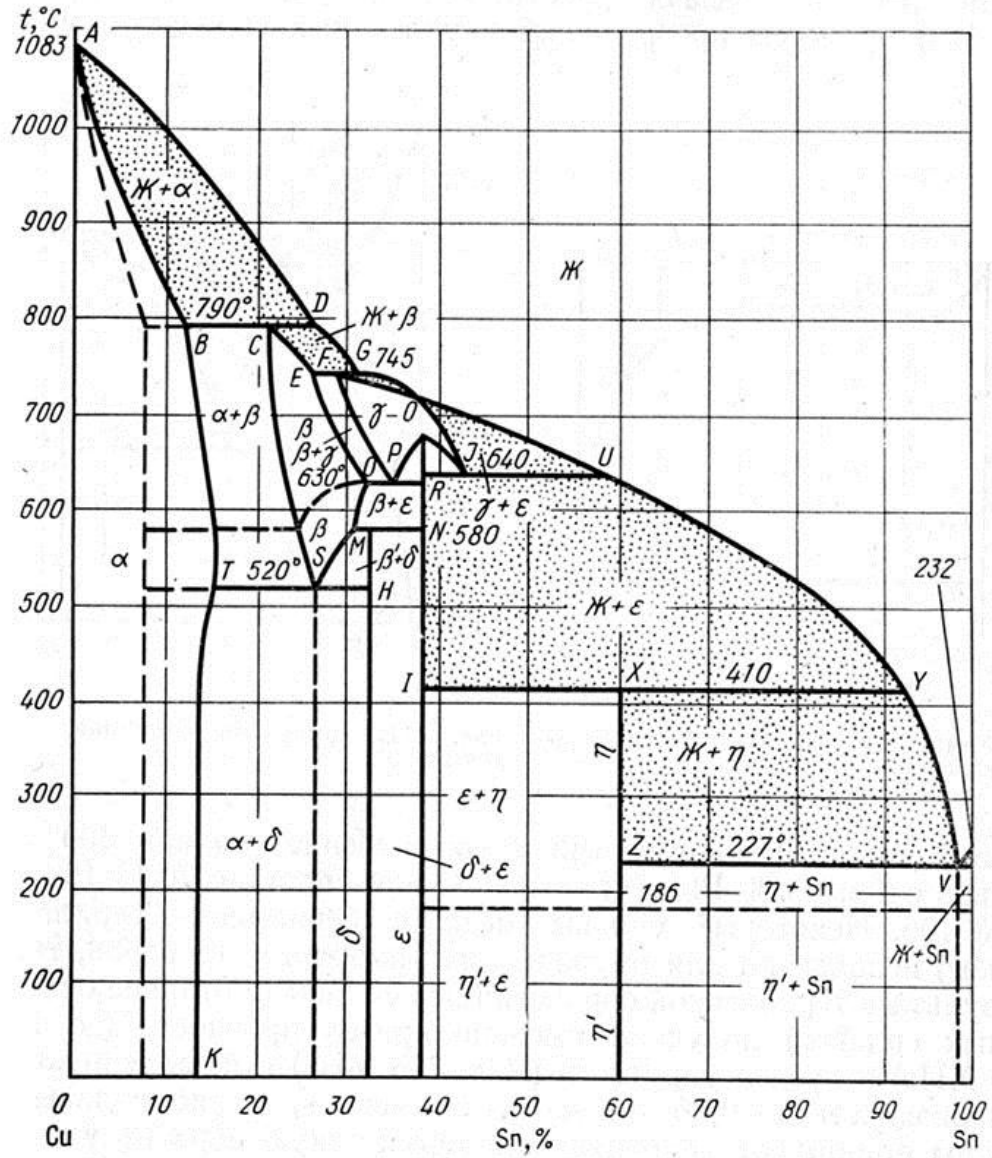
30. Подберите сталь для изготовления деталей печной арматуры, работающих при температуре 800 °С. Приведите химический состав, объясните роль каждого легирующего элемента, укажите термическую обработку, получаемую структуру и механические свойства сплава.

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 относится 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?

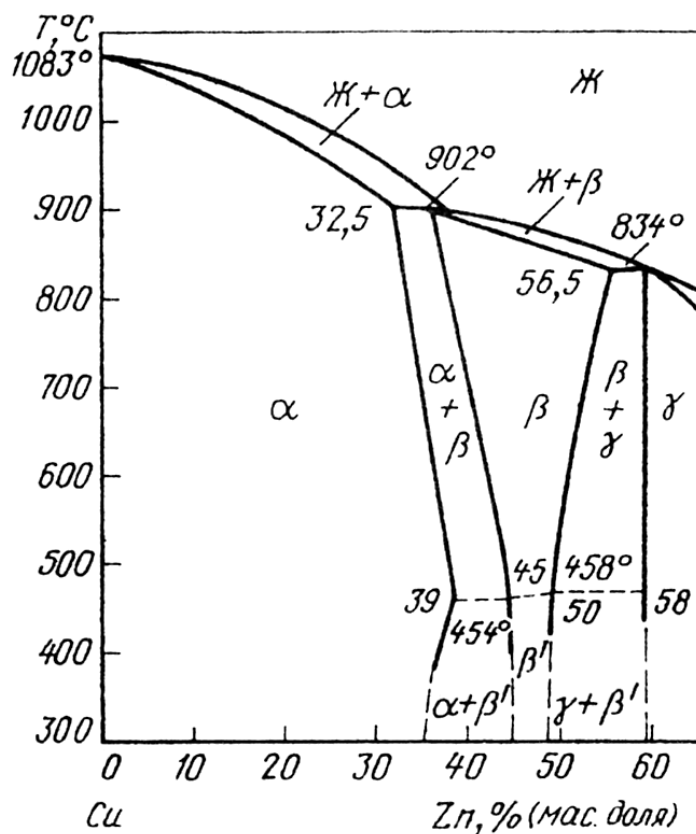


Диаграммы состояния цветных сплавов

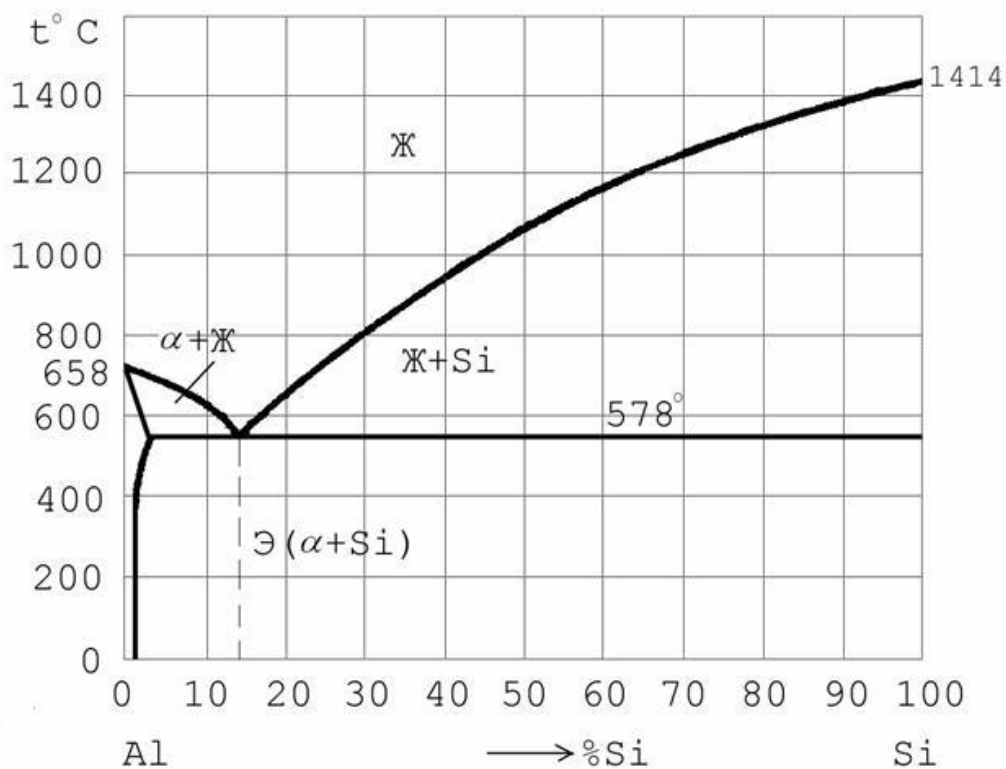
а) диаграмма состояния медь-олово (бронзы)



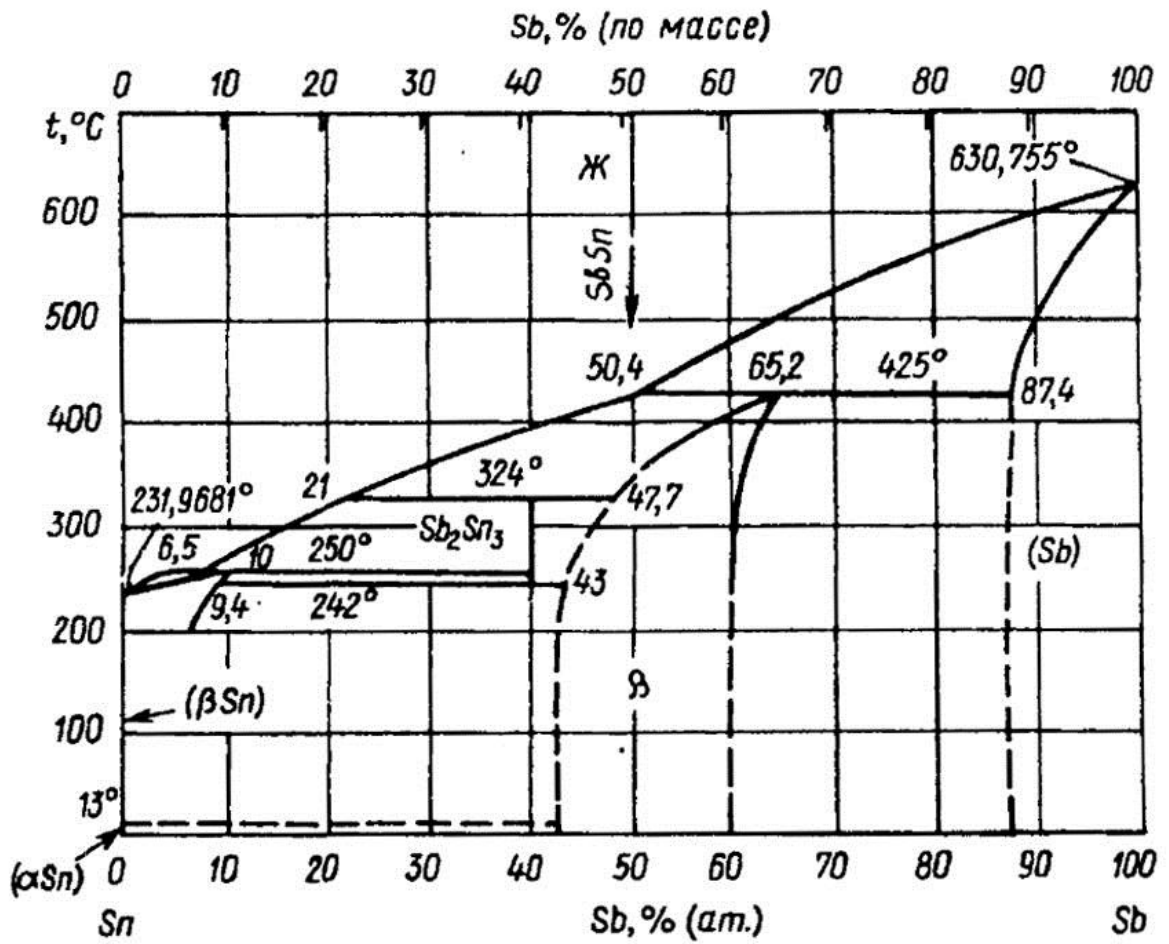
б) диаграмма состояния медь-цинк (латуни)



в) диаграмма состояния алюминий-кремний



г) диаграмма состояния олово-сурьма



**Задания к практической работе № 7**

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. Кратко изложите основы термической обработки алюминиевых сплавов в применении к промышленному сплаву дюралюмин. Укажите состав упрочняющих фаз, образующихся при старении дюралюмина. Сравните результаты, получаемые после естественного и искусственного старения, отметив преимущества и недостатки каждой из этих обработок.

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

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. Сравните влияние отпуска углеродистой стали и старения дюралюмина на свойства закаленного сплава.

15. 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.

16. Для изготовления ряда деталей, используемых в судостроении, выбран сплав БрКМц3-1: а) расшифруйте состав и определите, к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплавам этой группы.

17. 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.

18. 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.

19. Для изготовления ряда деталей, работающих при повышенных температурах (300 °С) 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.

20. 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.

21. Подберите медно-никелевый сплав для изготовления посуды: а) расшифруйте состав и определите к какой группе относится данный сплав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

22. 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.

23. 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.

24. 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.

25. 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.

26. Подберите легкоплавкий припой: а) расшифруйте состав; б) укажите основные свойства и требования, предъявляемые к сплаву.

27. 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.

28. 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.

## Список используемой литературы

1. Волков Г.М., Зуев В.М. Материаловедение. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 400 с.
2. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия. 1983.– 384 с.
3. Гуляев А.П. Металловедение,-6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544с.
4. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Металлургия, 1981. – 416 с.
5. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. Под общ.ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М. : Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 688 с.
6. Материаловедение и технология конструкционных металлов / В.Б. Арзамасов, А.Н. Волчков, В.А. Головин и др.; Под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепихина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 448 с.
7. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П.Фетисова – 4-е изд., испр. – М.: Высш.шк., 2006. – 862 с.
8. Мозберг Р.К. Материаловедение. – 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1991. – 448 с.
9. Лабораторный практикум по материаловедению/ Л.В. Картонова, А.В. Костин, В.Б. Цветаева; Под ред. А.В. Костина и В.А. Кечина. Владимир. гос. ун-т. Владимир, 2007. – 68 с.
10. Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. – 3-е изд., перераб и доп.– М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
11. Сильман Г.И. Материаловедение. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.
12. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение. – 3-е изд., перераб. и доп.– СПб.: ХИМИЗДАТ, 2004. – 736 с.
13. Рогов В.А., Поздняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки.- М.: Издательский центр «Академия», 2008.-336 с.
14. Условные обозначения марок металлических материалов/ Владимир. гос. ун-т; Сост.: Л.В.Картонова, Н.А. Елгаев. Владимир: ООО Полиграм.- 2011, 20 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
<i>Практическая работа N 1. Анализ пространственных решеток.</i>	
Определение кристаллографических индексов плоскостей .....	5
<i>Практическая работа N 2. Расчет межплоскостных расстояний и рентгеновской плотности вещества .....</i>	9
<i>Практическая работа N 3. Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы в двухкомпонентных системах .....</i>	14
<i>Практическая работа N 4. Изучение диаграммы состояния железо-углерод. Применение правила фаз Гиббса для определения степени свободы .....</i>	18
<i>Практическая работа N5. Определение режимов термической обработки и конечной микроструктуры отливок из углеродистых сталей .....</i>	21
<i>Практическая работа N 6. Выбор легированных сталей и их термообработки для конкретных деталей с заданными свойствами .....</i>	25
<i>Практическая работа N 7. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов .....</i>	29
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
Приложения 1 .....	34
Приложения 2 .....	37
Приложения 3 .....	41
Приложения 4 .....	43
Приложения 5 .....	46
Приложения 6 .....	49
Приложения 7 .....	51
Список используемой литературы.....	56