

# ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## Практические занятия

Методические указания к выполнению заданий практических занятий № 1, 2, 3 по курсу «ЭиКМ» для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника»

## ВВЕДЕНИЕ

По курсу «ЭиКМ» выполняются три задания практических занятий, цель которых проверить усвоение студентами содержания курса.

Каждое практическое занятие состоит из 5 - 6 заданий. Занятия включают теоретические и практические задания.

Студент определяет варианты заданий по 2-м последним цифрам шифра зачетной книжки или логина (имени пользователя) студента. Последняя цифра определяет номер варианта для всех нечетных заданий (1, 3, 5), а предпоследняя – номер варианта для всех четных заданий (2, 4, 6). Например, студент, имеющий шифр 256345, выполняет вариант 5 для заданий 1, 3, 5 и 4-й вариант для заданий 2, 4, 6, а имеющий шифр 1761020 выполняет вариант 10 для заданий 1, 3, 5 и 2-й вариант для заданий 2, 4, 6.

## ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЙ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Содержание занятия должно соответствовать установленному варианту, поэтому в начале каждого занятия студент указывает шифр своей зачетной книжки или логин (имя). Никакие произвольные отклонения от порядка выбора задания не допускаются и задания, выполненные не на тему или с отклонениями от нее, не засчитываются.

Текст вопроса должен быть написан перед ответом на вопрос и подчеркнут. Ответы на вопросы должны быть пронумерованными, четкими и ясными, основываться на теоретических положениях, изложенных в рекомендуемых учебниках, иллюстрироваться схемами и эскизами.

Задания практических занятий проверяются преподавателем и если работа не зачтена, она посылается на повторное выполнение.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Вариант	Задания к занятию № 1						
	№ 1		№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1	Рис.1	Ag	0,3%	3.1	4.1	5.1	6.1
2	Рис.2	Al	1,2%	3.2	4.2	5.2	6.2
3	Рис.3	Cu	2,5%	3.3	4.3	5.3	6.3
4	Рис.4	Mg	3,4%	3.4	4.4	5.4	6.4
5	Рис.5	Cd	4,3%	3.5	4.5	5.5	6.5
6	Рис.6	Zn	0,8%	3.6	4.6	5.6	6.6
7	Рис.7	Pb	1,6%	3.7	4.7	5.7	6.7
8	Рис.8	Mg	4,1%	3.8	4.8	5.8	6.8
9	Рис.9	Pb	2,7%	3.9	4.9	5.9	6.9
10	Рис.10	Zn	3,7%	3.10	4.10	5.10	6.10

**ЗАДАНИЕ 1.** Вычертите диаграмму состояния системы (приложение, рис. 1 – 10), согласно варианту, и ответьте на следующие вопросы:

1) к диаграмме какого типа относится данная диаграмма состояния системы;

2) опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях и укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния;

3) опишите строение и основные характеристики кристаллической решетки указанного элемента, согласно варианту (тип кристаллической решетки, период, базис, коэффициент компактности, координационное число), указав конкретные числовые значения (приложение, табл. 1);

4) опишите характер изменения свойств заданного сплава с помощью правила Курнакова [7] (приложение, рис.11).

**ЗАДАНИЕ 2.** Вычертите диаграмму состояния железо-углерод и опишите структурные превращения с заданным содержанием углерода, согласно варианту, при охлаждении его от жидкого состояния до 20°C.

1. Полученный сплав является сталью или чугуном, ответ обоснуйте.
2. Опишите компоненты и фазы системы железо – углерод.
3. Приведите схему структуры полученного сплава при температуре 20°C, при заданном содержании углерода, и назовите его структурные составляющие.
4. Назовите легирующие элементы стали, их обозначения при маркировке и опишите, как они влияют на свойства стали [1 - 7].
5. Приведите классификацию и маркировку углеродистых сталей и чугунов [1 - 7].

**ЗАДАНИЕ 3.** Опишите физическую сущность следующих процессов, согласно варианту [1 - 6]:

- |  |  |
|--|--|
| 3.1. Упругая и пластическая деформация.      | 3.6. Усталостное разрушение.               |
| 3.2. Хрупкое и вязкое разрушение металла.    | 3.7. Сверхпластическая деформация.         |
| 3.3. Возврат первого рода или отдых.         | 3.8. Холодная и горячая деформация.        |
| 3.4. Возврат второго рода или полигонизация. | 3.9. Наклеп или деформационное упрочнение. |
| 3.5. Первичная рекристаллизация.             | 3.10. Вторичная рекристаллизация.          |

**ЗАДАНИЕ 4.** Опишите процесс, заданный согласно варианту, по следующей схеме [1 - 7]:

- 1) к какому типу обработки относится данный процесс;
- 2) назначение и классификация процесса, режимы и схемы заданного процесса.

- |  |  |
|--|--|
| 4.1. Отжиг.  | 4.6. Нормализация.   |
| 4.2. Цементация.   | 4.7. Закалка.  |
| 4.3. Отпуск.   | 4.8. Термомеханическая обработка.                              |
| 4.4. Азотирование.   | 4.9. Нитроцементация.  |
| 4.5. Диффузионная металлизация (хромирование, цинкование). | 4.10. Диффузионная металлизация (силицирование, алитирование). |

**ЗАДАНИЕ 5.** Опишите заданный тип стали и область её применения, с обязательным приведением примеров таких сталей (2 – 3 примера), указывая химический состав сплавов и физико – механические характеристики (желательно использовать марочники сталей и сплавов), согласно варианту [1 - 7]:

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 5.1. Рессорно-пружинные стали.  | 5.6. Износостойкие стали.                  |
| 5.2. Хромоникелевые стали.      | 5.7. Быстрорежущие стали.                  |
| 5.3. Жаропрочные стали.         | 5.8. Нержавеющие стали.                    |
| 5.4. Жаростойкие стали.         | 5.9. Теплоустойчивые стали.                |
| 5.5. Шарикоподшипниковые стали. | 5.10. Легированные инструментальные стали. |

**ЗАДАНИЕ 6.** Расшифруйте следующие обозначения сталей, с указанием типа стали, химического состава сплава, механических свойств и рекомендуемые типы термических обработок, согласно варианту:

- |                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| 6.1. 13X14H3B2ФР  | 6.6. 06ХН28МДТ     |
| 6.2. 10X7МВФБР    | 6.7. ХН60КМВЮБ     |
| 6.3. 18X11МНФБ    | 6.8. 40X15H7Г7Ф2МС |
| 6.4. 13X12H2B2МФ  | 6.9. 37X12H8Г8МФБ  |
| 6.5. 09X14H19B2БР | 6.10. 31X19H9МВБТ  |

*Примечание:* при выполнении задания рекомендуется использовать марочники сталей и сплавов [15-17].

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Вариант	Задания к занятию № 2				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3
4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4
5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6
7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7
8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8
9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9
10	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10

**ЗАДАНИЕ 1.** Описать следующие неметаллические материалы, согласно варианту [4]:

1.1. Композиционные материалы, полученные жидкофазным методом.

1.2. Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.

1.3. Порошковые материалы.

1.4. Полимеры.

1.5. Терморезистивные и газонаполненные пластмассы.

1.6. Композиционные материалы, полученные твердофазным методом.

1.7. Слоистые композиционные материалы.

1.8. Техническая керамика.

1.9. Термопласты.

1.10. Резиновые материалы.

**ЗАДАНИЕ 2.** Дайте описание следующих методов обработки поверхностей, согласно варианту [4]:

2.1. Электрофизические методы обработки.

2.2. Электроискровая обработка.

2.3. Высокочастотная электроискровая обработка.

2.4. Электроконтактная обработка.

2.5. Ультразвуковая обработка.

2.6. Электрохимические методы обработки.

2.7. Электроимпульсная обработка.

2.8. Электроэрозионные методы обработки.

2.9. Анодно-механическая обработка.

2.10. Лучевые методы обработки.



**ЗАДАНИЕ 3.** Описать физическую природу электропроводности металлов (для всех вариантов) и ответить на вопрос, согласно варианту [5, 6, 9-12]:

- 3.1. Металлы высокой проводимости для токопроводящих цепей: медь и ее сплавы.
- 3.2. Металлы высокой проводимости для токопроводящих цепей: алюминий и его сплавы.
- 3.3. Сплавы на никелевой и медно-никелевой основе (резистивные и термопарные).
- 3.4. Сплавы на основе железа, никеля, хрома и алюминия.
- 3.5. Жаростойкие материалы для нагревательных элементов на основе карбидов и силицидов.
- 3.6. Термочувствительные проводниковые материалы (термобиметаллы).
- 3.7. Материалы для электрических коммутирующих контактов.
- 3.8. Припой и флюсы.
- 3.9. Электропроводящие клеи.
- 3.10. Сверхпроводники и криопроводники.

**ЗАДАНИЕ 4.** Описать следующие проводниковые изделия с указанием сортамента (3 – 4 марки), характеристик и области применения, согласно варианту [8, 13, 14]:

- |  |  |
|--|--|
| 4.1. Провода неизолированные для воздушных линий электропередач. | 4.6. Жаростойкие провода и кабели с минеральной изоляцией. |
| 4.2. Силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией.            | 4.7. Медные и алюминиевые провода.                         |
| 4.3. Силовые кабели с пластмассовой изоляцией.                   | 4.8. Шинопроводы и шины.                                   |
| 4.4. Силовые кабели с резиновой изоляцией.                       | 4.9. Провода сопротивления.                                |
| 4.5. Монтажные провода.  | 4.10. Провода обмоточные.                                  |

**ЗАДАНИЕ 5.** Ответьте на вопрос по полупроводниковым материалам, согласно варианту [5, 6]:

5.1. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Разновидности полупроводников и их основные свойства.

5.2. Кремний. Получение, свойства и применение.

5.3. Германий. Получение, свойства и применение.

5.4. Карбид кремния. Получение, свойства и применение.

5.5. Селен. Получение, свойства и применение.

5.6. Собственные и примесные полупроводники. Основные и неосновные носители заряда.

5.7. Получение и свойства  $p-n$  перехода.

5.8. Термоэлектрические явления в полупроводниках.

5.9. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.

5.10. Гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Вариант	Задания к занятию № 3				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3
4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4
5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6
7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7
8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8
9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9
10	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10

**ЗАДАНИЕ 1.** Опишите следующие понятия, связанные с магнитными материалами, согласно варианту [5, 6]:

1.1. Классификация магнитных материалов. Диамагнетики и парамагнетики.

1.2. Магнитные свойства ферромагнетиков. Природа ферромагнетизма.

1.3. Магнитные свойства ферромагнетиков. Магнитострикция.

1.4. Магнитные свойства ферромагнетиков. Механизм технического намагничивания и магнитный гистерезис.

1.5. Магнитные свойства ферромагнетиков. Магнитная проницаемость.

1.6. Классификация магнитных материалов. Ферромагнетики, ферримагнетики и антиферромагнетики.

1.7. Магнитные свойства ферромагнетиков. Магнитная анизотропия.

1.8. Магнитные свойства ферромагнетиков. Причины, приводящие к образованию доменов.

1.9. Общая характеристика магнитных материалов и их основные свойства.

1.10. Магнитные свойства ферромагнетиков. Магнитные потери.

**ЗАДАНИЕ 2.** Опишите следующие магнитные материалы, согласно варианту [5, 6, 9 - 12]:

2.1. Сплавы кобальта с платиной и с редкоземельными элементами.

2.2. Дисперсионно-твердеющие и диффузионно-твердеющие сплавы.

2.3. Магнитотвердые ферриты.

2.4. Магнитомягкие металлические материалы.

2.5. Аморфные магнитные материалы.

2.6. Стали, закаливаемые на мартенсит и композиционные магнитотвердые материалы.

2.7. Магнитные материалы специализированного назначения.

2.8. Магнитомягкие сплавы.

2.9. Магнитомягкие ферритовые материалы.

2.10. Магнитодиэлектрики.

**ЗАДАНИЕ 3.** Опишите основные характеристики диэлектриков и другие характеристики (механические, тепловые и физико-химические), согласно варианту [5, 9 - 12], по следующему алгоритму:

Вариант	Основные характеристики	Другие характеристики
3.1.	<p>Дайте определения следующим понятиям и приведите формулы для их вычисления:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- удельное объемное сопротивление и проводимость;</li> <li>- удельное поверхностное сопротивление и проводимость;</li> <li>- диэлектрическая проницаемость материала;</li> <li>- тангенс угла диэлектрических потерь;</li> <li>- электрическая прочность</li> </ul>	Тепловые свойства диэлектриков: температура вспышки жидких паров
3.2.		Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов
3.3.		Вязкость диэлектрических материалов (вязкость, кинематическая вязкость) и кислотное число
3.4.		Водопоглощение и гигроскопичность диэлектрических материалов
3.5.		Механические характеристики: предел прочности материала при растяжении и сжатии
3.6.		Механические характеристики: относительное удлинение при растяжении и удельная ударная вязкость
3.7.		Влажностные характеристики диэлектриков
3.8.		Химическая и радиационная стойкость диэлектрических материалов
3.9.		Тепловые свойства диэлектриков: температура размягчения и теплоустойчивость материала
3.10.		Тепловые свойства диэлектриков: нагревостойкость и морозостойкость

**ЗАДАНИЕ 4.** Ответьте на следующие вопросы, согласно варианту [5]:

- |  |  |
|--|--|
| 4.1. Пробой газообразных диэлектриков в однородном электрическом поле.                                     | 4.6. Пробой газообразных диэлектриков в неоднородном электрическом поле.   |
| 4.2. Пробой неоднородных диэлектриков.   | 4.7. Электрохимический пробой диэлектрика.   |
| 4.3. Пробой технически чистых жидких диэлектриков.   | 4.8. Теория теплового и электрического пробоя.   |
| 4.4. Влияние пористости, толщины диэлектриков и площади электрода на электрическую прочность диэлектриков. | 4.9. Влияние природы диэлектрика, температуры и частоты приложения напряжения на электрическую прочность диэлектриков. |
| 4.5. Электрический и электро-тепловой пробой твердых диэлектриков.   | 4.10. Электрическая прочность полимерных диэлектриков.   |

**ЗАДАНИЕ 5.** Опишите следующие диэлектрические материалы с указанием характеристик и марок материала, согласно варианту [5, 6, 9-11]:

- |  |   |
|--|---|
| 5.1. Жидкие диэлектрики. Их свойства и применение.   | 5.6. Резины и каучуки. Свойства и область применения.   |
| 5.2. Электроизоляционные полимеры. Их основные свойства и применение.                          | 5.7. Лаки, эмали, компаунды, клеи. Их применение в электротехнике.  |
| 5.3. Газообразные диэлектрики. Их свойства и применение.                                       | 5.8. Стекло и стеклянные изоляторы, их состав, свойства и применение.                                     |
| 5.4. Пластические массы. Свойства реактопластов и термопластов. Свойства и область применения. | 5.9. Слюда, ее основные свойства. Изоляционные материалы на основе слюды, их применение в электротехнике. |
| 5.5. Электроизоляционные материалы высокой нагревостойкости.                                   | 5.10. Электротехническая керамика и ее основные свойства. Фарфор. Свойства и область применения.          |

*Примечание:* Рекомендуемый объем изложения данного вопроса - 5 – 6 страниц.

# ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

**ЗАДАНИЕ 1.** Вычертите диаграмму состояния системы (рис. 1) и ответьте на следующие вопросы:

1) к диаграмме какого типа относится данная диаграмма состояния системы;

2) опишите взаимодействие компонентов в жидком и твердом состояниях и укажите структурные составляющие во всех областях диаграммы состояния;

3) опишите строение и основные характеристики кристаллической решетки указанного элемента - *меди* (тип кристаллической решетки, период, базис, коэффициент компактности, координационное число), указав конкретные числовые значения (приложение, табл. 1);

4) опишите характер изменения свойств заданного сплава с помощью правила Курнакова [7] (приложение, рис.11).

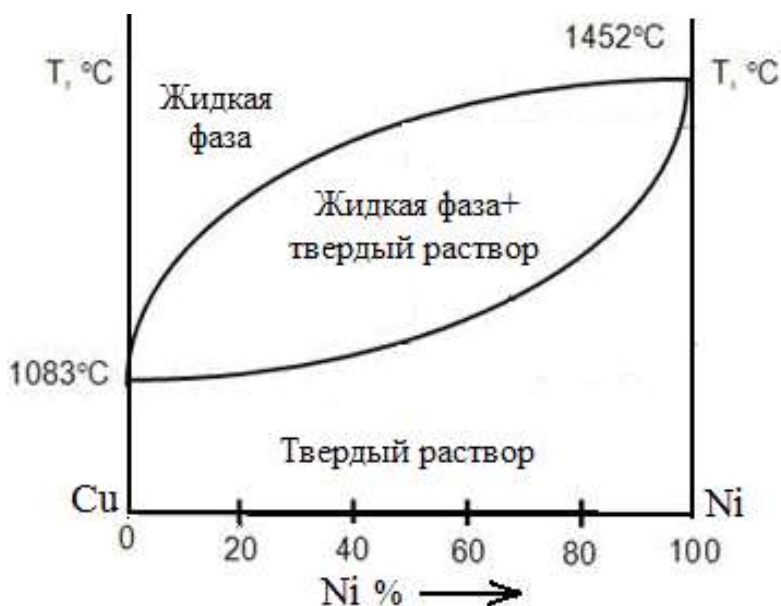


Рис. 1. Диаграмма состояния медь – никель (Cu - Ni)

*Решение*

1) Диаграмма двойных сплавов Cu – Ni характеризует сплавы, компоненты которых неограниченно растворимы в жидком и в твердом состояниях и не образуют химических соединений (диаграмма II рода).

2) Оба компонента сплава (А (медь) и В (никель)) неограниченно растворимы в жидком (L) и твердом состоянии и не образуют химических соединений (рис. 2). Диаграмма имеет простой вид и показана на рис. 2, линия  $AmB$  — *ликвидус*,  $AnB$  — *солидус* [4, с. 20].

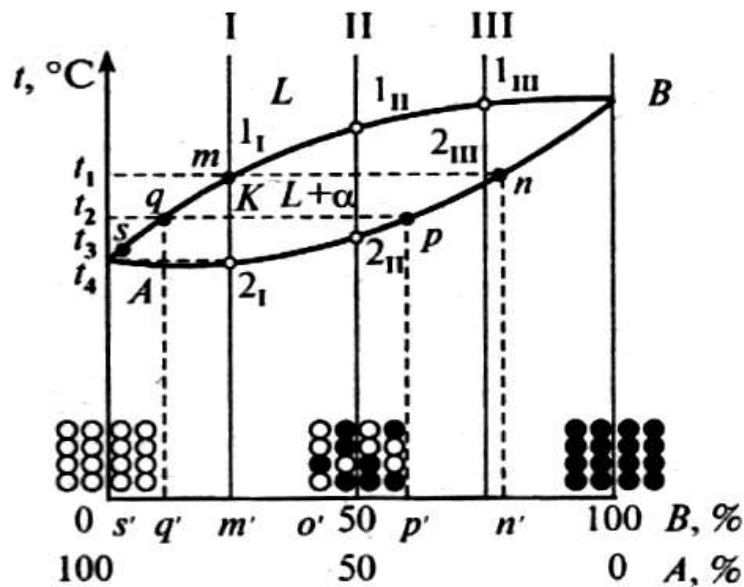


Рис. 2. Диаграмма состояния медь – никель (Cu – Ni) [4, С. 20]:

А – медь, В - никель

*Ликвидус* – линия начала затвердевания сплавов. Выше температур этой линии все сплавы данной системы находятся в жидком состоянии. *Солидус* – линия конца затвердевания сплавов. При температурах ниже этой линии все сплавы системы находятся в твердом состоянии. Между этими линиями часть сплава находится в твердом состоянии, а часть – в жидком [4, с. 18].

Рассмотрим процесс затвердевания одного из сплавов этой системы. Кристаллизация сплава I начинается при температуре  $t_1$ . Из жидкой



фазы состава  $m$  выделяются кристаллы твердого раствора состава  $n$ , обогащенные компонентом  $B$  (никелем).

При дальнейшем охлаждении до температуры  $t_2$  в равновесии с жидкостью состава  $q$  находятся кристаллы твердого  $\alpha$ -раствора состава  $p$ . При кристаллизации сплава I состав жидкости непрерывно меняется по линии  $ms$ , а твердого раствора — по линии  $n_2$ . В результате медленного охлаждения в равновесных условиях успевают произойти диффузионное перераспределение компонентов между жидкой и твердой фазами. Поэтому к моменту окончания процесса кристаллизации при температуре  $t_2$  все зерна твердого раствора будут иметь одинаковый состав [4, с. 21].

Аналогично можно описать сплавы II и III.

3) Металлы и их сплавы в твердом состоянии представляют собой кристаллические тела, в которых атомы располагаются относительно друг друга в определенном, геометрически правильном порядке, образуя кристаллическую структуру. Такое закономерное, упорядоченное пространственное размещение атомов называется *кристаллической решеткой* [4, с. 5]. Металлы имеют преимущественно три типа ячеек: *объемно-центрированная кубическая решетка (ОЦК)*, *гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК)*, *гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка (ГПУ)* [1, с. 24].

*Медь (Cu)* – этот элемент имеет кубическую гранецентрированную решетку (ГЦК), которая содержит 12 атомов: 8 располагаются по узлам ячейки и 6 атомов в центре каждой грани (рис. 3).

Кристаллическую решетку характеризуют следующие параметры:

а) *Период решетки*. Это расстояние между двумя соседними параллельными кристаллографическими плоскостями в элементарной ячейке решетки. Для большинства металлов лежит в пределах  $0,1 \dots 0,7$  нм.

б) Координационное число ( $KЧ$ ) показывает количество атомов, находящихся на наиболее близком и равном расстоянии от любого выбранного атома в решетке. Для ГЦК координационное число - 12.

в) Базисом решетки называется количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. Для ГЦК равно 4.

г) Коэффициент компактности ( $KK$ ) или плотность упаковки решетки  $\eta$  находится как отношение объема, занимаемого атомами, ко всему объему элементарной ячейки решетки. Для ГЦК коэффициент компактности равен 0,74.

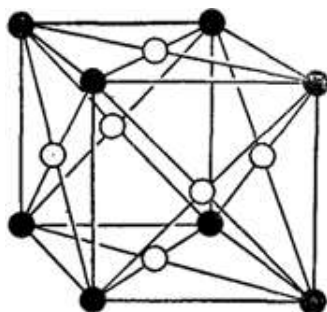


Рис. 3. Кубическая гранецентрированная решетка (ГЦК)

4) Наблюдая зависимость между твердостью, электропроводностью и типом диаграммы, Курнаков Н.С. установил зависимость между свойствами сплавов и диаграммами состояния (правило Курнакова) (рис. 4) [1, с.73; 7, с. 77; Приложение, рис. 11].

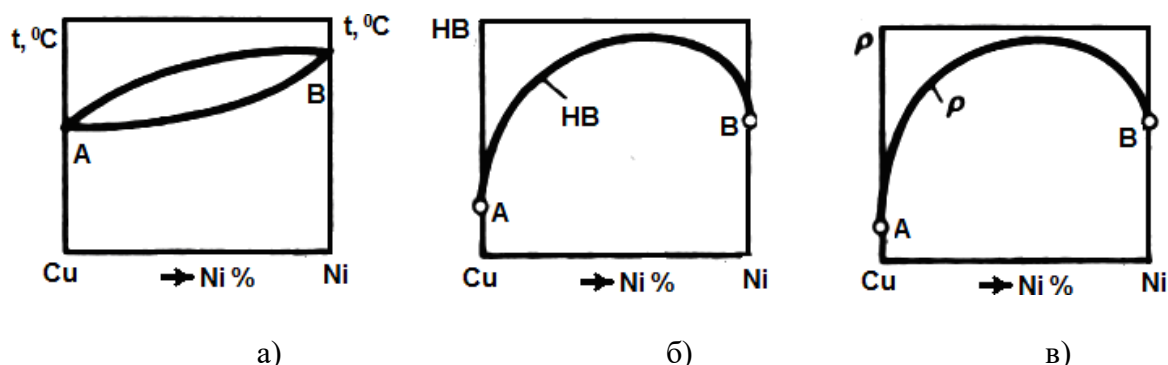


Рис. 4. Связь между диаграммой состояния Cu – Ni и свойствами сплава (НВ – твердость,  $\rho$  - электросопротивление)

На рис. 4а приведена сама диаграмма состояния «медь – никель». На рис. 4б и 4в соответствующие им закономерности изменений свойств сплавов в зависимости от их состава (диаграммы состав – свойство) [7, с. 76]. По осям ординат этих графиков откладывают свойства сплавов (твердость, электросопротивление, электропроводность и др.), а по осям абсцисс – содержание никеля Ni (%). На рис. 4б показан характер изменения твердости, где при увеличении содержания никеля твердость увеличивается по криволинейному закону. Характер изменения электросопротивления (рис. 4в) тоже криволинейный, то есть при увеличении содержания никеля электросопротивление возрастает, следовательно, электропроводность падает.

**ЗАДАНИЕ 2.** Вычертите диаграмму состояния железо-углерод и опишите структурные превращения с заданным содержанием углерода, согласно варианту, при охлаждении его от жидкого состояния до 20°C.

1. Полученный сплав является сталью или чугуном, ответ обоснуйте.
2. Опишите компоненты и фазы системы железо – углерод.
3. Приведите схему структуры полученного сплава при температуре 20°C и назовите его структурные составляющие.

### *Решение*

Заданное содержание углерода – 1,5 %.

1) Сплавы железа с углеродом, содержащие 0...0,2% углерода, называются *техническим железом*, 0,02...2,14% - *сталями*, 2,14...6,67% углерода – *чугунами* [4, с. 28]. В нашем случае, заданное содержание углерода 1,5 %, следовательно, данный сплав является *сталью*.

2) Имеются две диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов: *метастабильная*, характеризующая превращения в системе железо - цементит (карбид железа) и *стабильная*, характеризующая превращения в системе железо – графит (рис. 5).

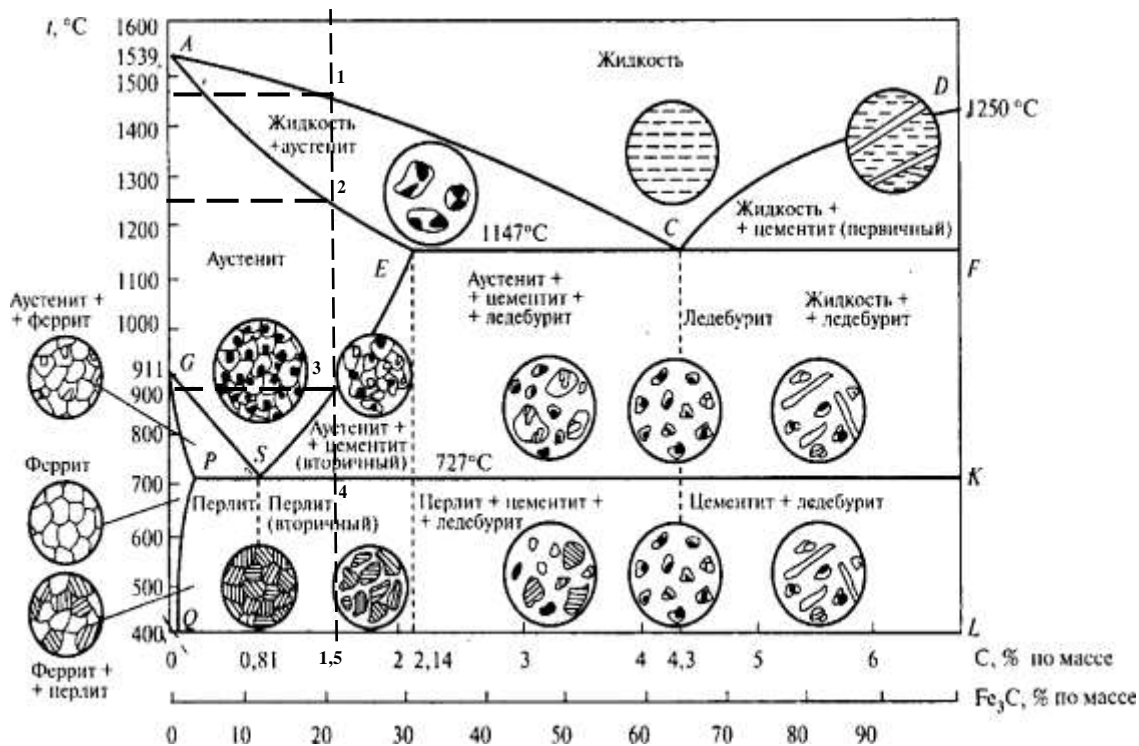


Рис. 5. Диаграмма состояния железо – цементит [4, с. 29]

Элементы, из которых образован сплав, называют *компонентами*. В данной системе две компоненты: *железо* (Fe) и *цементит* (карбид железа, Fe<sub>3</sub>C). Основные фазы приведены на рис. 6.: *аустенит*, *цементит*, *феррит*, *перлит* и *ледебурит*.

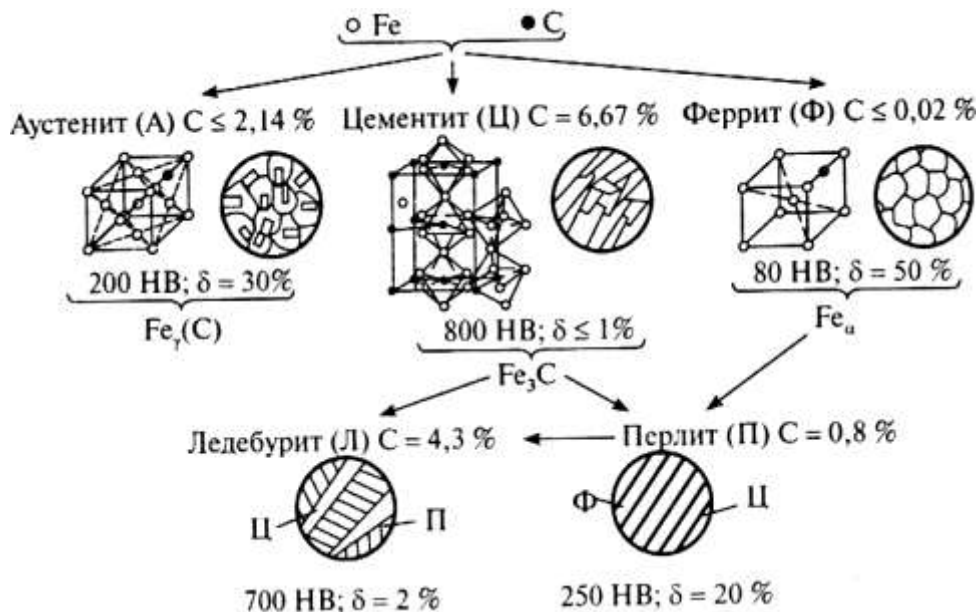


Рис. 6. Основные фазы и структурные составляющие в сплавах на основе железа в равновесном состоянии [4, с. 27]

Описание компонентов и фаз в примере не приведено, так как студент самостоятельно должен дать подробное описание каждого элемента с указанием физико-механических свойств [1 - 7].

3) На рис. 5 отметим на горизонтальной оси заданное процентное содержание углерода (1,5 %) и проведем вертикальную линию (штрих-пунктирная). Сталь с содержанием 1,5 % относится к заэвтектоидным сталям.

Сплав выше точки 1 (температура  $1450^{\circ}\text{C}$ ) находится в жидком состоянии. В точке 1 из жидкости начинают выделяться кристаллы аустенита. По мере понижения температуры кристаллов аустенита становится больше, и в точке 2 процесс кристаллизации аустенита заканчивается. От точки 2 ( $1250^{\circ}\text{C}$ ) до точки 3 ( $900^{\circ}\text{C}$ ) не происходит никаких превращений, идет процесс охлаждения аустенита. В точке 3 и ниже начинает протекать полиморфное превращение, в результате из перенасыщенного углеродом аустенита выделяется *вторичный цементит*, получивший свое название, так как он образуется из твердой фазы. К моменту достижения температуры  $727^{\circ}\text{C}$  (точка 4) содержание углерода в аустените составляет 0,8% и он распадается на механическую смесь – перлит. Ниже точки 4 образуется сплав, который представляет собой сплав перлита (темные участки) и цементита (светлые участки в виде сетки или игл) (рис. 7).

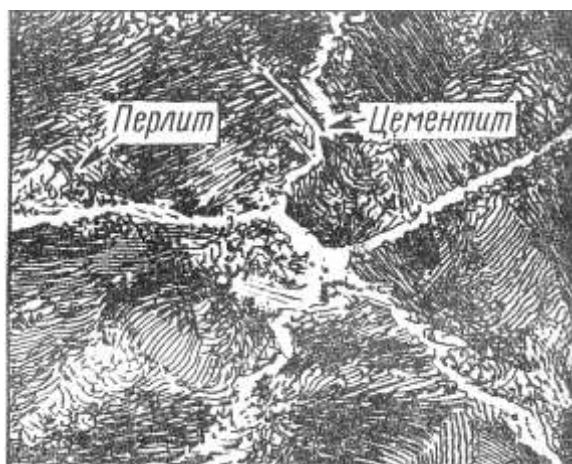


Рис. 7. Структура заэвтектоидной стали [7, с. 95]

**ЗАДАНИЕ 4.** Опишите процесс, заданный согласно варианту, по следующей схеме:

- 1) к какому типу обработки относится данный процесс;
- 2) назначение и классификация процесса, режимы и схемы заданного процесса.

*Решение.*

Задан процесс – превращение стали при термической обработке.

- 1) Данный процесс относится к термической обработке стали.
- 2) Возможность упрочнения сталей путем термической обработки обусловлена наличием аллотропических превращений в твердом состоянии. Охлаждая аустенит с различными скоростями и вызывая тем самым различную степень переохлаждения, можно получить продукты распада аустенита, которые отличаются по строению и свойствам [7, с. 103].

Наглядное представление о превращениях переохлажденного аустенита можно получить из диаграммы его изотермического превращения (рис. 8). Кривая 1 соответствует началу распада аустенита при различных степенях охлаждения. Кривая 2 показывает окончание процесса распада аустенита на ферритоцементитную смесь.

Малая скорость охлаждения  $v_1$  приводит к образованию грубой смеси феррита и цементита, *перлита (П)* с твердостью HRC10. *Сорбит (первая закалочная структура)* получается при скорости охлаждения  $v_2$  и представляет собой смесь феррита и цементита; отличается более тонкодисперсным строением, твердость HRC20. *Троостит (вторая закалочная структура)* получается при скорости охлаждения  $v_3$  в результате распада переохлажденного аустенита при  $500...550^{\circ}\text{C}$ , обладает значительной упругостью; представляет собой тонкодисперсную смесь феррита и цементита, твердость HRC30. Превращение стали из аустенита в *мартенсит* происходит при очень быстром охлаждении ( $v_5 > v_{кр}$ ). Для мартенсита характерна игольчатая структура,

он тверд и хрупок, твердость HRC62...66. При скорости  $v_4$  структура стали состоит из троостита и мартенсита [7, с. 103-104].

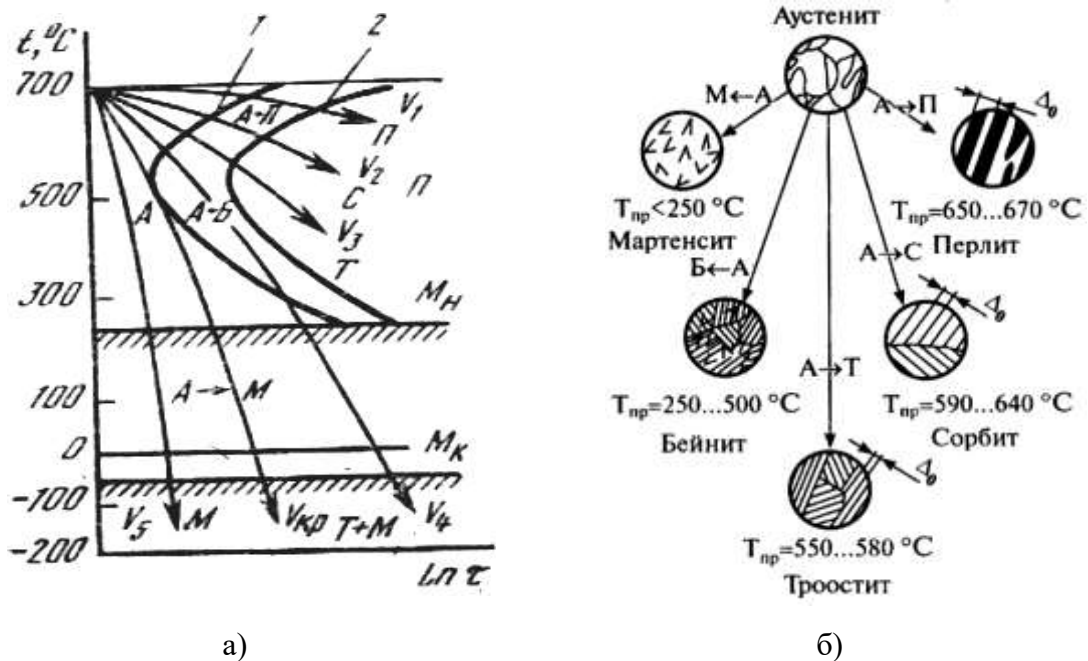


Рис. 8. Диаграмма изотермического превращения аустенита (а) [7, с. 103] и графическое изображение получаемых структур (б) [4, с. 40]

**ЗАДАНИЕ 5.** Опишите заданный тип стали.

*Решение.*

Заданы сплавы высокого электросопротивления.

Данные сплавы применяются для изготовления электронагревателей и элементов сопротивления (резисторов, реостатов). Основные требования к ним: высокая жаростойкость, высокое электросопротивление и достаточная прочность для сохранения формы при нагревании. Чаще всего используются железохромоалюминиевые сплавы, например, Х13Ю4 (фехраль), ОХ23Ю5 (хромель) и никелевые сплавы, например, Х20Н80 (нихром).

Например, рассмотрим сплав Х20Н80 – это хромоникелевый сплав. Его химический состав: хром – 20-25 %, никель – 75-80 %. Его характеристики: удельное сопротивление –  $1,02-1,12 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2 / \text{м}$ , допустимая температура –  $1000-1100^\circ\text{C}$ .

X13Ю4 – это железохромоалюминиевый сплав, содержащий 13% хрома и 4% алюминия. Сплав сочетает жаростойкость с высоким удельным электрическим сопротивлением; температура плавления - 1470 °С, плотность - . 7,3 г/см<sup>3</sup>. Он уступает по жаростойкости *хромалю*, но дешевле его и обладает более высокой технологической пластичностью при горячей и холодной деформации.

**ЗАДАНИЕ 6.** Расшифруйте следующие обозначения сталей и укажите, к какому типу стали они относятся.

*Решение.* Задан сплав – сталь 20Х20Н14С2.

Тип – жаропрочная аустенитоферритного класса. Назначение – печные конвейеры, ящики для цементации и другие детали термических печей. Расшифруем обозначение: 20 – содержание углерода 0,2%; Х20 - содержание хрома 20%; Н14 – содержание никеля 14%; С2 – содержание кремния 2%. Приведем химический состав и механические свойства данного сплава ниже.

Химический состав сплава 20Х20Н14С2, %

С	Мn	Si	Cr	Ni	S	P	Cu	Ti
Не более					Не более			
0,20	1,5	2,0-3,0	19,0-22,0	12,0-15,0	0,025	0,035	0,3	0,2

Механические свойства

ГОСТ	Состояние поставки, режимы термообработки	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\psi$
			МПа		%	
			Не менее			
5949-75	Прутки. Закалка 1000-1150 <sup>0</sup> С, воздух или вода.	60	295	590	35	55
5582-75	Листы горячекатаные или холоднокатаные. Закалка 100-1080 <sup>0</sup> С, воздух или вода.	До 3,9	-	590	40	-

где  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести,  $\sigma_B$  – временное сопротивление разрыву,  $\delta_5$  и  $\psi$  – относительное удлинение и сужение соответственно.



## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная литература*

1. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов: учебник. / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. – 2-е изд., испр. – М.: Изд-во «Оникс», 2008 - 624 с.: ил.
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. / под ред. В.Б. Арзамасова, А.А. Черепахина. – М.: Академия, 2007. – 448 с.: ил. – (Высш. проф. образование)
3. Солнцев Ю.П. Материаловедение: учебник. / Ю.П. Солнцев, С.А. Волотжанина. – 2-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 496 с: ил. – (Среднее проф. образование)
4. Технология конструкционных материалов: учебник / под ред. О.С. Комарова. – Мн.: Новое знание, 2005. – 560 с.: ил.
5. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 2007. – 535 с.: ил.
6. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / под ред. В.С. Чередниченко. – 2-е изд., перераб. – М.: Омега – Л., 2006. – 752 с.: ил.

### *Дополнительная литература*

7. Дриц М.Е., Москалев М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учеб. для вузов. – М.: Высш. школа, 1990. – 447 с.: ил.
8. Белоруссов Н.И. Электротехнические кабели, провода и шнуры: справочник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 536 с.: ил.
9. Справочник по электротехническим материалам. / под ред. Ю.В. Корицкого. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - Т.1 – 368 с.: ил.
10. Справочник по электротехническим материалам. / под ред. Ю.В. Корицкого. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - Т.2 – 464 с.: ил.

11. Справочник по электротехническим материалам. / под ред. Ю.В. Корицкого. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - Т.3 – 728 с.: ил.
12. Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы. / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. - Т.1 – 440 с.: ил.
13. Готман П.Е. Электротехнические материалы: справочник. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1969. – 544 с.
14. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., доп. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 480 с.
15. Марочник сталей и сплавов / В.Г.Сорокин – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.: ил.
16. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С.Зубченко – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.: ил.
17. Машиностроительные стали: справочник. / В.Н. Журавлев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.: ил.
18. <http://sermir.narod.ru/train.htm>

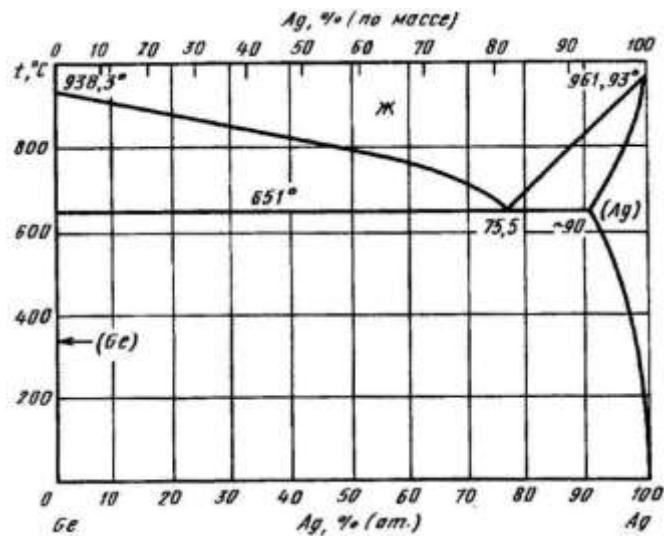


Рис. 1. Диаграмма состояния германий – серебро (Ge – Ag)

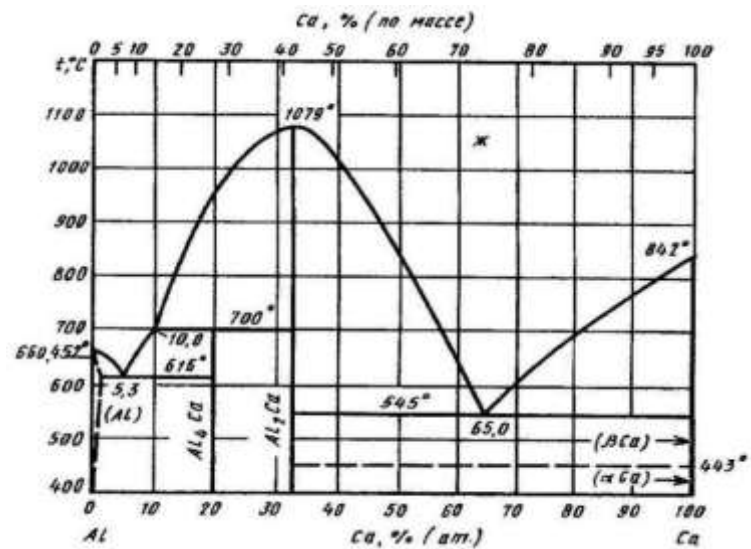


Рис. 2. Диаграмма состояния алюминий – кальций (Al – Ca)

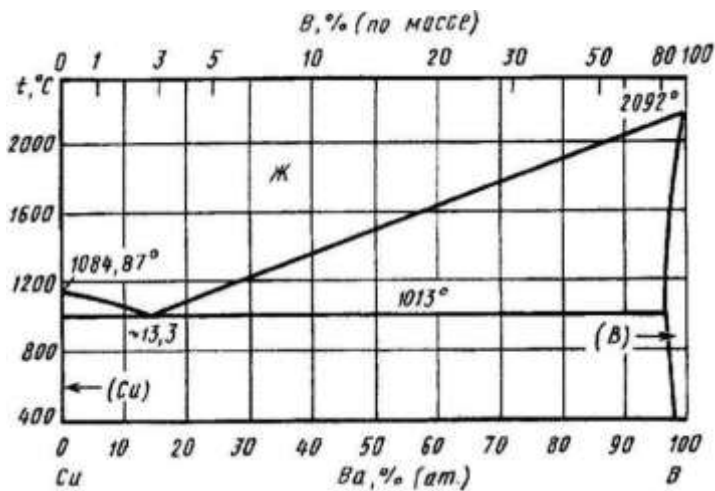


Рис. 3. Диаграмма состояния медь – бор (Cu – B)

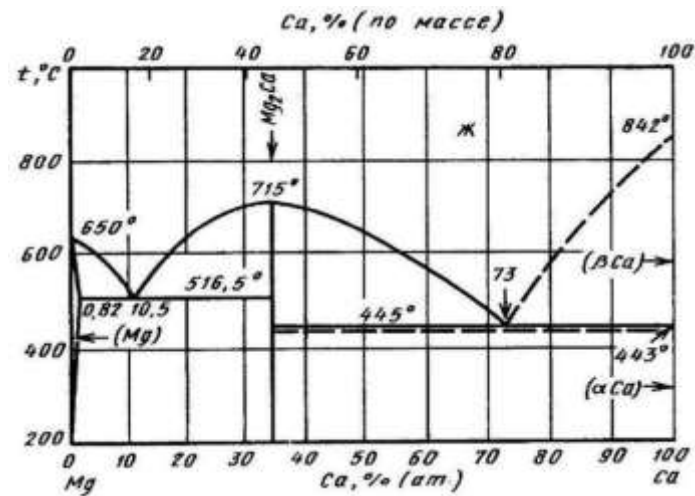


Рис. 4. Диаграмма состояния магний – кальций (Mg - Ca)

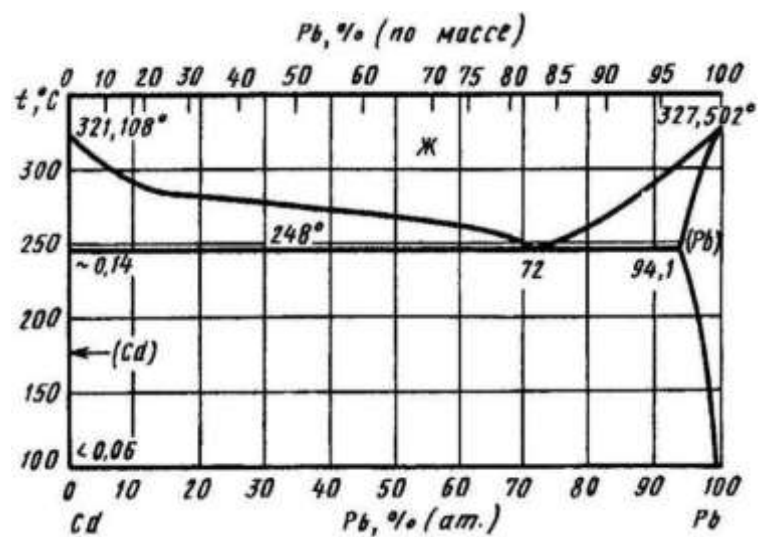


Рис. 5. Диаграмма состояния кадмий – свинец (Cd – Pb)

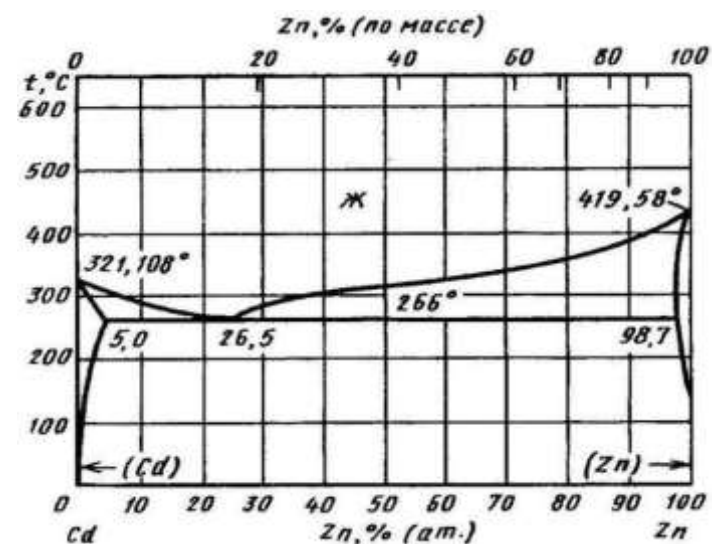


Рис. 6. Диаграмма состояния кадмий – цинк (Cd – Zn)

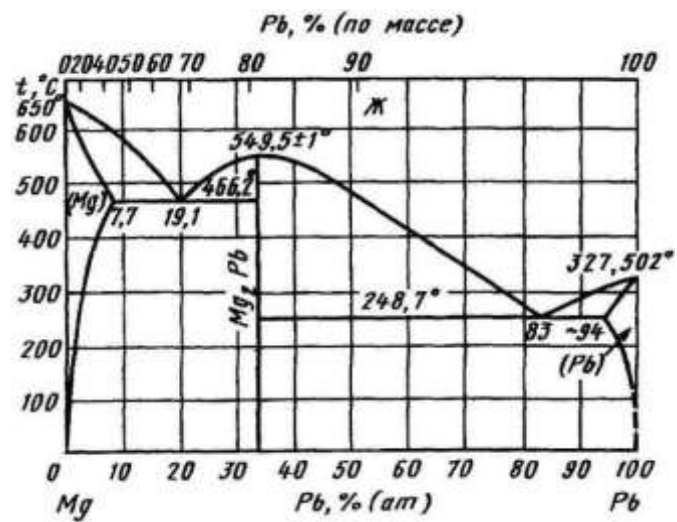


Рис. 7. Диаграмма состояния магний – свинец (Mg – Pb)

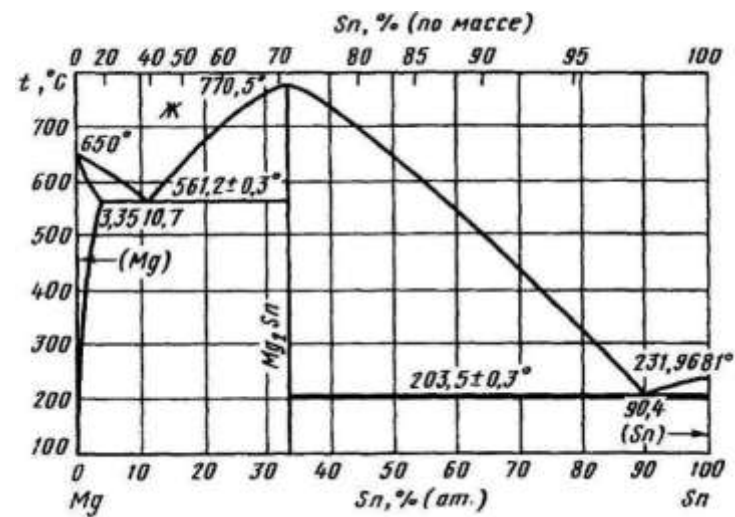


Рис. 8. Диаграмма состояния магний – олово (Mg – Sn)

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ

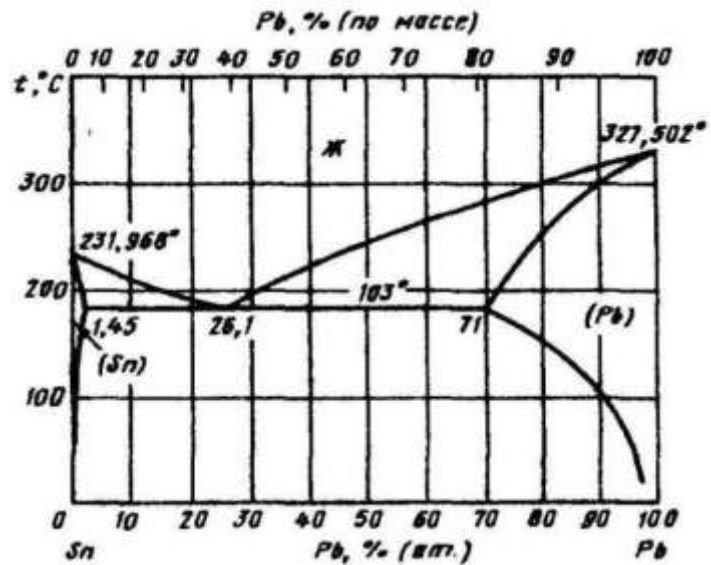


Рис. 9. Диаграмма состояния олово – свинец (Sn – Pb)

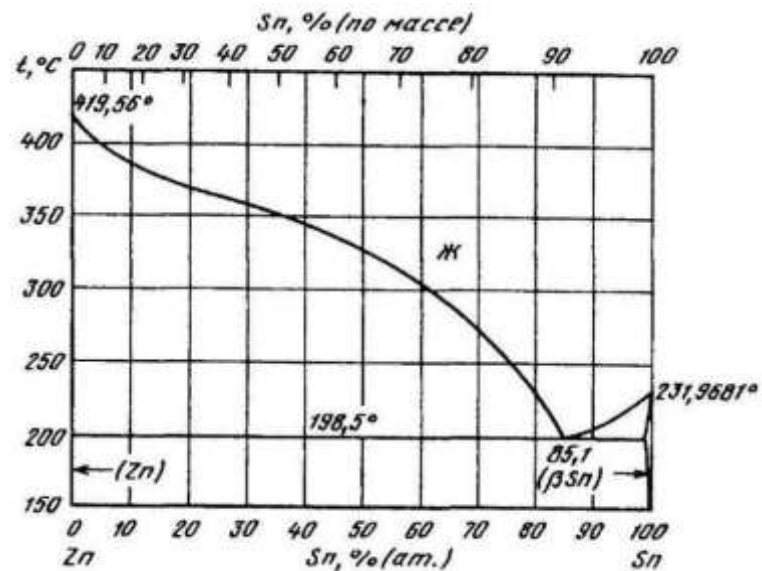


Рис. 10. Диаграмма состояния цинк – олово (Zn – Sn)

Структура металлов и сравнение параметров кристаллических решеток [1, с.28]

Таблица 1

Структура	КЧ	Базис	КК	Металлы	Примечание
ОЦК	8	1	0,68	Ta, W, Cr, Mo, V, Nb, Na, K, Li	Хрупкие, тугоплавкие
ГЦК	12	4	0,74	Al, Cu, Pb, Ag, Ni, Au, Pt, Co	Пластичные
ГПУ	12	4	0,74	Zn, Mg, Cd, Ti, Re, Hf, Be, Os	-

где КЧ – координационное число, КК – коэффициент компактности

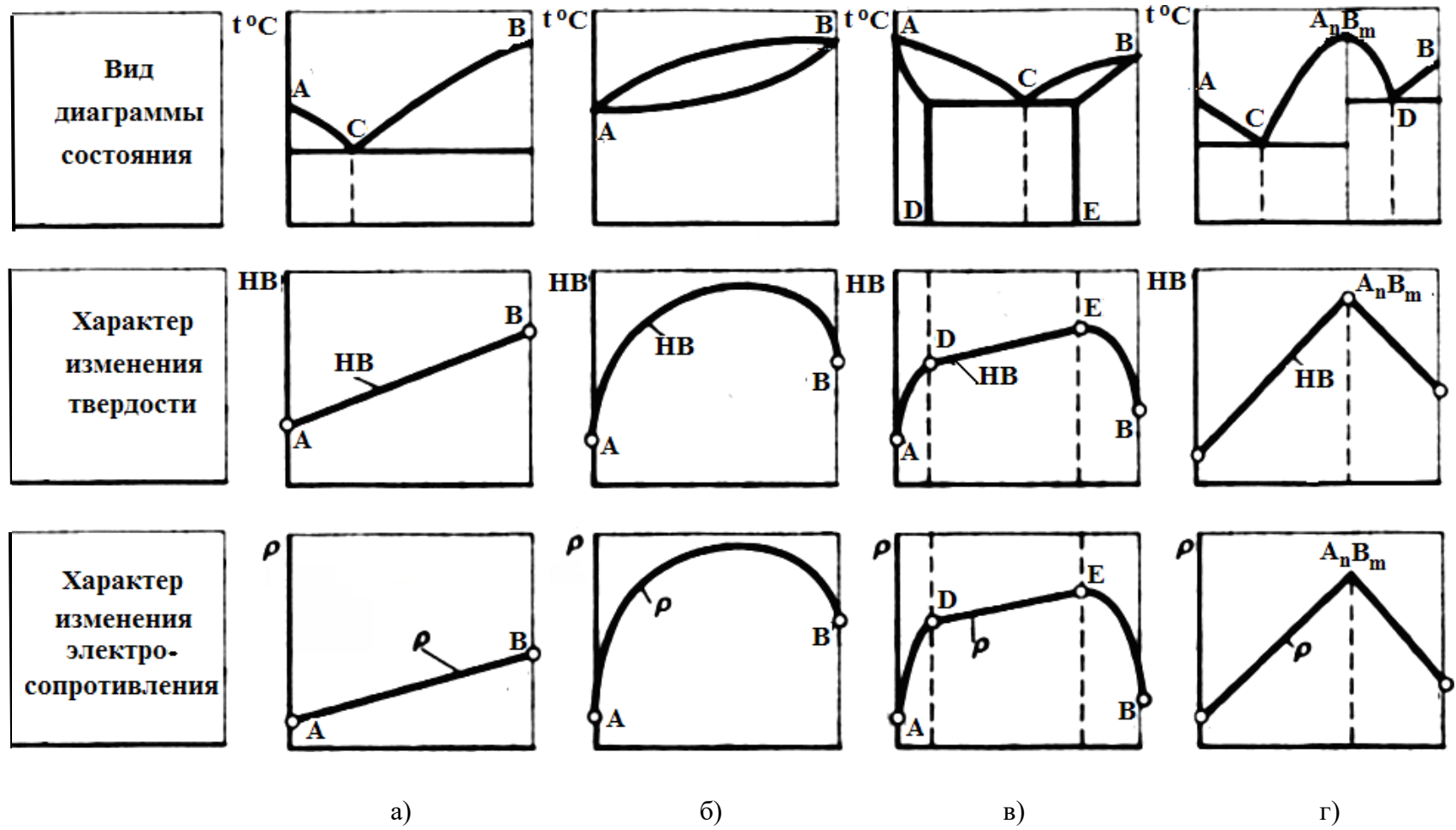


Рис. 11. Связь свойств сплава (твердости и электросопротивления) с типом диаграмм состояния (правило Курнакова):

а - диаграмма I-го рода; б - диаграмма II-го рода; в - диаграмма III-го рода; г - диаграмма IV-го рода