

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 19.10.2023 15:11:13
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098afe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

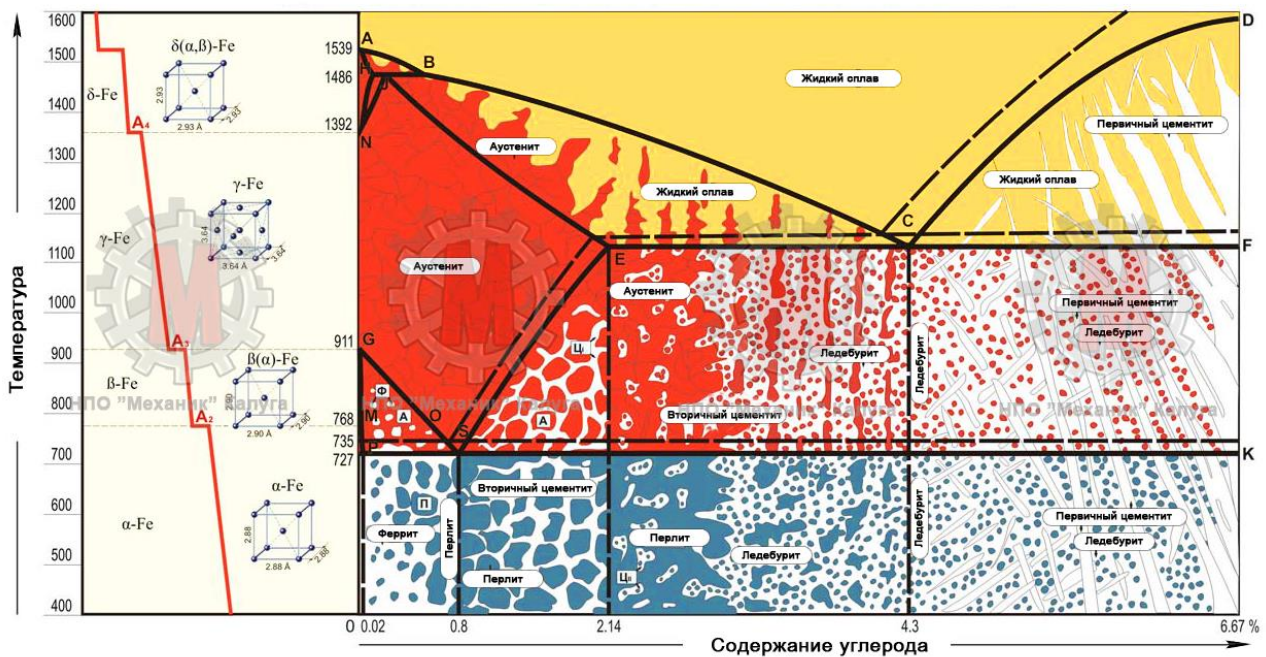
Рязанский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Механико-технологические дисциплины»

А.Е. Посалина

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ЧАСТЬ 1

Методические указания по выполнению практических работ



Рязань
2021

УДК 620.18
ББК 34.22
П61

Посалина, А.Е.

П61 Материаловедение: Методические указания по выполнению практических работ: в 3 частях. Ч 1 / А.Е. Посалина. – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2021. – 34 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических работ, которые содержат индивидуальные варианты по анализу фазовых превращений в двухкомпонентных сплавах, разбору диаграммы состояния «железо – цементит», микроструктуре, а также маркировке и назначению углеродистых и легированных сталей и чугунов.

Методические указания предназначены для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 620.18
ББК 34.22

© Посалина А.Е., 2021
© Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2021

Содержание

Введение	4
1 Практическая работа № 1. Диаграммы двухкомпонентных сплавов	6
2 Практическая работа № 2. Железоуглеродистые сплавы. Превращения в сплавах в соответствии с диаграммой «Fe -Fe ₃ C»	17
3 Практическая работа № 3. Часть 1. Маркировка углеродистых сталей и чугунов	23
4 Практическая работа № 3. Часть 2. Маркировка легированных сталей	26
Библиографический список	29
Приложение А	30
Приложение Б	33

Введение

Методические указания представляют собой сборник заданий для выполнения практических работ по дисциплине «Материаловедение».

Цель проведения практических работ – привить студентам навыки самостоятельной работы с технической литературой.

Для выполнения практических заданий потребуются следующие умения и навыки:

- поиск сведений по определённой теме;
- выбор необходимой и достаточной информации из одного или нескольких источников;
- понимание как текстового, так и графического, и численного представления информации;
- анализ полученной информации;
- обобщение имеющихся данных;
- логическое построение ответа на вопрос, исключение противоречивых утверждений;
- расчёт параметров структуры.

Познавательная ценность, самостоятельность работы студентов и приобретение ими навыков работы с технической литературой, анализа и интерпретации полученной информации, высокий обучающий эффект делают практические работы одной из важных частей изучения дисциплины «Материаловедение».

Темы практических работ соответствуют всем основным разделам дисциплины. Каждое задание выполняется индивидуально.

Перед выполнением практической работы необходимо прочитать теоретический материал и усвоить основные положения. В ходе выполнения работы понадобятся дополнительные сведения из учебной и справочной литературы. Каждый студент оформляет выполненное задание индивидуально.

Проведение практических занятий – это планируемая учебная и учебно-исследовательская работа, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя.

Критерии оценки выполнения практических работ:

- правильность и полнота выполнения задания;
- правильность устных ответов.

Оценка «5» (отлично):

- задание выполнено правильно в полном объеме (допустима 1 ошибка), даны правильные ответы на вопросы.

Оценка «4» (хорошо):

- задание выполнено в полном объеме, допущено не более двух ошибок, даны правильные ответы на вопросы.

- задание выполнено в полном объеме, допущена одна ошибка в ответах на вопросы.

- задание выполнено в полном объеме, допущено 1 ошибка в задании, одна в ответах на вопросы.

Оценка «3» (удовлетворительно):

- задание выполнено в неполном объеме от 70 до 80 %;

- задание выполнено в полном объеме, допущено не более 3 ошибок, в том числе не более 1 ошибки в ответах на вопросы.

Работа возвращается на доработку:

- задание выполнено в объеме менее 70 %;
- допущено более 3 ошибок.

Рекомендуемое время выполнения каждой практической работы – 2 ч.

1 Практическая работа № 1. Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

Цель – изучить диаграммы состояния сплавов, научиться строить кривые охлаждения и определять количественное соотношение структурных составляющих.

Задание – выполнить работу в соответствии с заданием по варианту согласно номеру в журнале.

При выполнении задания необходимо:

- вычертить диаграмму двухкомпонентных сплавов;
- обозначить критические точки, а также линии ликвидуса и солидуса;
- указать температуры критических точек;
- указать структурно-фазовый состав;
- построить кривую охлаждения для заданного сплава;
- определить количественное соотношение структурных составляющих (расчет массы фаз с применением правила отрезков);
- схематично изобразить структуру сплава.

Вариант № 1

Вычертить диаграмму состояния «свинец - олово» (рисунок А5). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 50 % Sn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение структурных составляющих при температуре 200 °С и схематично изобразить структуру.

Вариант № 2

Вычертить диаграмму состояния «цинк - олово» (рисунок А6). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 40 % Zn, построить кривую охлаждения и описать проис-

ходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение структурных составляющих при температуре 250 °С. Схематично изобразить и описать структуру сплава.

Вариант № 3

Вычертить диаграмму состояния системы «медь - серебро» (рисунок А1). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 40 % Ag, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения, определить количественное соотношение структурных составляющих при температуре 900 °С. Зарисовать и описать структуру заданного сплава.

Вариант № 4

Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - медь» (рисунок А2). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 40 % Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения, определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 550 °С. Зарисовать и описать структуру заданного сплава.

Вариант № 5

1. Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - кремний» (рисунок А3). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 70 % Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение структурных составляющих при температуре 1 000 °С. Схематично изобразить и описать структуру заданного сплава.

Вариант № 6

Вычертить диаграмму состояния «свинец - сурьма» (рисунок А4). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 50 % Sb, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение.

Вариант № 7

Вычертить диаграмму состояния системы «медь - серебро» (рисунок А1). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 80 % Ag, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 800 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 8

Вычертить диаграмму состояния «цинк – олово» (рисунок А6). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 80 % Zn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 300 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 9

Вычертить диаграмму состояния системы «медь - серебро» (рисунок А1). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 30 % Ag, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 800 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 10

Вычертить диаграмму состояния «свинец - олово» (рисунок А5). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 10 % Sn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 300 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 11

Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - кремний» (рисунок А3). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 40 % Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 800 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 12

Вычертить диаграмму состояния «свинец - сурьма» (рисунок А4). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 5 % Sb, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение структурных составляющих при комнатной температуре. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 13

Вычертить диаграмму состояния «алюминий - медь» (рисунок А2). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 10 % Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава

определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 600 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 14

Вычертить диаграмму состояния «свинец - олово» (рисунок А5). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 90 % Sn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 15

Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - кремний» (рисунок А3). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 11,7 % Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 16

Вычертить диаграмму состояния системы «олово —цинк» (рисунок А6). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 5 % Zn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 17

Вычертить диаграмму состояния «медь - серебро» (рисунок А1). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 72 % Ag, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Схематично изобразить и описать структуру сплава.

Вариант № 18

Вычертить диаграмму состояния «свинец - сурьма» (рисунок А4). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 80 % Sb, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 400 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 19

Вычертить диаграмму состояния «олово - цинк» (рисунок А6). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 8 % Zn, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Схематично изобразить и описать структуру сплава.

Вариант № 20

Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - кремний» (рисунок А3). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 80 % Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 1000 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 21

Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - медь» (рисунок А2). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 20 % Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить количественное соотношение струк-

турных составляющих при температуре 560 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Вариант № 22

Вычертить диаграмму состояния системы «медь - серебро» (рисунок А1). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей. Для сплава, содержащего 60 % Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения, определить количественное соотношение структурных составляющих при температуре 800 °С. Схематично изобразить и описать структуру данного сплава.

Вариант № 23

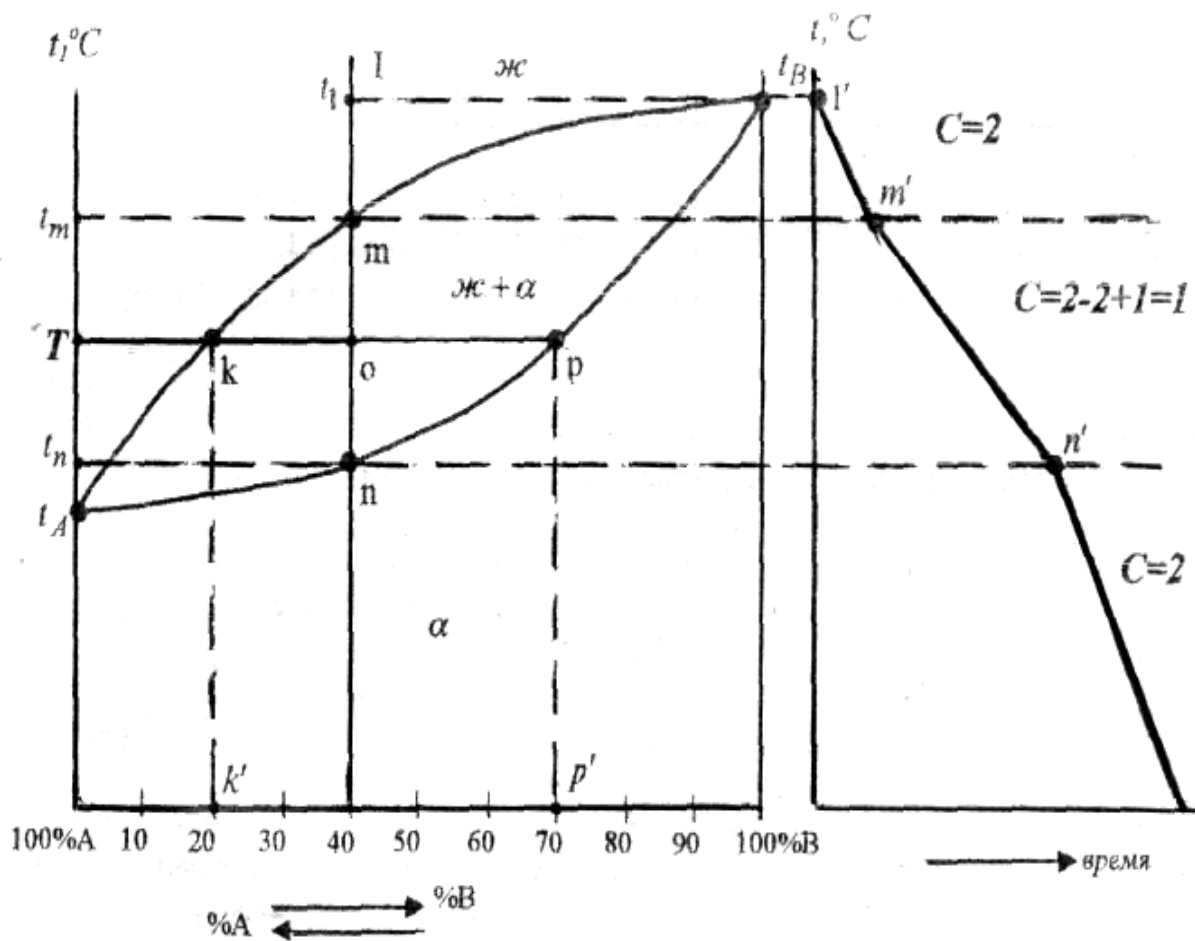
Вычертить диаграмму состояния системы «алюминий - кремний» (рисунок А3). Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 30 % Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить количественное соотношение и состав фаз при температуре 600 °С. Зарисовать и описать структуру сплава.

Пояснение к заданию

Пример выполнения задания по анализу фазовых превращений в двухкомпонентных сплавах рассмотрим применительно к сплаву с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях. Диаграмма состояния для этого случая представлена на рисунке 1а, где в удобной графической форме отображены изменения в состоянии сплавов при изменении их состава и температуры.

Как видно на рисунке 1а, на диаграмме имеются три области, разделенные двумя сходящимися по краям кривыми. Верхняя (выпуклая) кривая представляет собой геометрическое место точек температур начала кристаллизации (или конца плавления) твердой фазы α и называется линией **ликвидус**. Выше

этой линии все сплавы находятся в жидком состоянии (*liquide* – жидкий). Нижняя (вогнутая) кривая – геометрическое место точек температур конца кристаллизации (или начала плавления) твёрдой фазы и называется линией **солидус**. Ниже этой линии все сплавы находятся в твердом состоянии (*solide* – твёрдый). В области между линиями ликвидуса и солидуса часть сплава находится в жидком состоянии, а часть – в твёрдом.



а) б)
Рисунок 1 – Диаграмма состояния системы А-В(а)
и кривая охлаждения сплава состава (б)

Построение *кривой охлаждения* и *количественный анализ* сплава проводится в следующей последовательности:

а) через точку оси абсцисс, соответствующую составу X_1 , проводится вертикаль – *линия сплава*;

б) точки пересечения линий сплава с линиями диаграммы обозначаются цифрами. Это – *критические точки*, указывающие *критические температуры* начала и конца кристаллизации, перекристаллизации (если она имеется) данного сплава;

в) в соответствии с выявленными критическими температурами строится кривая охлаждения сплава в координатах «температура - время»;

г) для проведения количественного анализа состава сплава X_I при температуре T_n надо воспользоваться «*правилом отрезков*»:

- через точку, обозначающую состав X_I при температуре T_n , проводится горизонталь до пересечения с ближайшими линиями диаграммы, при этом точка пересечения с линией ликвидус укажет на *состав жидкой фазы*, а противоположная – на *состав твёрдой фазы*;

- *количество твёрдой фазы* определяется отношением длины отрезка горизонтали, прилегающего к линии ликвидус, ко всей длине горизонтали;

количество жидкой фазы – отношением длины другого малого отрезка ко всей длине той же горизонтали.

Максимальное число фаз – две ($\Phi = 2$): жидкий раствор (Ж), α – твёрдые растворы.

Линии на диаграмме: t_{Amt_B} – ликвидус; t_{Ant_B} – солидус. В диапазоне температур между этими линиями существует смесь фаз: $Ж + \alpha$.

Установить температуры критических точек. Для этого к точке состава (в данном случае – 40 % В + 60 % А) восстанавливают перпендикуляр. Ординаты точек пересечения перпендикуляра с линиями диаграммы определяют эти температуры: в данном случае t_m и t_n .

Построение кривой охлаждения. Если сплав I находится при некоторой температуре t_1 , то сплав будет в жидком состоянии. По правилу фаз, число степеней свободы $C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2$. Это означает возможность изменения двух внешних факторов (температуры и концентрации) без нарушения числа фаз. Это исходное положение обозначим числом 1'. При охлаждении в диапазоне от t_1 до t_m жидкость сохранится, и этот процесс можно характеризовать отрезком

$1' - m'$. При температуре ниже t_m начнётся кристаллизация с образованием кристаллов α -твёрдого раствора. При этом выделяется теплота, что приведёт к замедлению охлаждения и к уменьшению числа степеней свободы. Кривая охлаждения «пойдёт» более полого. $C = K - \Phi + 1 = 2 - 2 + 1 = 1$ – меняется только температура. Этот процесс будет идти до температуры 1_n . При этой температуре кристаллизация завершится, жидкость исчезнет, и сплав будет представлять зёрна α -твёрдого раствора. Кривая охлаждения «пойдёт» более ускоренно, $C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2$. Полученная кривая охлаждения приведена на рисунке 1б.

По диаграмме состояния можно определить химический состав фаз, находящихся в равновесии в двухфазной области диаграммы. Для этого служит *правило коноды* – чтобы определить химический состав фаз, необходимо через заданную температуру провести горизонтальную линию (коноду) до пересечения с линиями диаграммы. Точка пересечения коноды с линией сплава (перпендикуляром) определяет состояние сплава.

Проведем через температуру «Т» коноду «кор». Точка «О» характеризует фазовое состояние ($\mathcal{J} + \alpha$). Проекция точки «к» на оси концентраций «к'» показывает состав жидкой фазы (точка лежит на линии ликвидус). Считается «к'»: 20 % В + 80 % А. Проекция точки «р» – «р'» – показывает состав твёрдой фазы (точка лежит на линии солидус). Считается «р'»: 70 % В + 30 % А.

Обозначая q – массу всего сплава в процентах, т. е. $q = 100\%$; $q_{жс}$ – масса в процентах жидкости; q_{α} – масса в процентах α -твёрдого раствора.

Согласно правилу отрезков запишем соотношения

$$\frac{q_{\alpha}}{q} = \frac{ok}{pk},$$

$$\frac{q_{жс}}{q} = \frac{po}{pk},$$

$$q_{жс} = q \cdot \frac{po}{pk},$$

$$q_{жс} = 100 \cdot \frac{70 - 40}{70 - 20} = 100 \cdot \frac{30}{50} = 60\%,$$

$$q_{\alpha} = q \cdot \frac{p_o}{p_k},$$

$$q_{\alpha} = 100 \cdot \frac{40 - 20}{70 - 20} = 100 \cdot \frac{20}{50} = 40\% .$$

Схематическое изображение структуры представлено на рисунке 2.

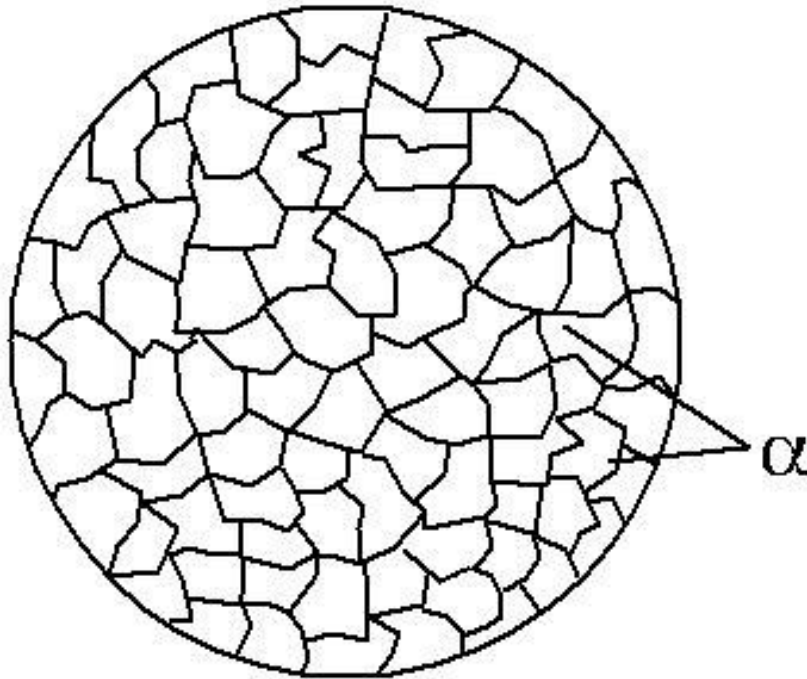


Рисунок 2 – Микроструктуры сплава

2 Практическая работа № 2. Железоуглеродистые сплавы. Превращения в сплавах в соответствии с диаграммой «Fe - Fe₃C»

Цель – изучить диаграмму «Железо-цементит» и её структурные составляющие. Научиться строить кривую охлаждения с определением химического состава фаз и их массы.

Задание – выполнить работу в соответствии с заданием по варианту согласно номеру в журнале (таблица 1).

Для выполнения задания необходимо:

- вычертить диаграмму состояния «железо-цементит» строго в масштабе (рисунок Б1);
- указать структурные составляющие и фазы во всех областях диаграммы;
- описать превращения и построить кривую охлаждения с применением правила фаз для сплава, содержащего $C\%$ углерода (таблица 1), объяснить физическую природу хода этой кривой.

Для заданного сплава:

- указать его название и определить химический состав фаз и их массу в процентах при температуре $t, ^\circ\text{C}$ (таблица 1);
- определить микроструктуру этого сплава при комнатной температуре и изобразить её схематически.

Таблица 1 – Варианты к заданию

Номер Варианта	Параметры задачи		Номер Варианта	Параметры задачи	
	$C, \%$	$t, ^\circ\text{C}$		$C, \%$	$t, ^\circ\text{C}$
1	0,095	760	38	2,00	740
2	0,12	1510	39	2,05	1200
3	0,16	800	40	2,10	1300
4	0,20	740	41	2,15	900
5	0,25	700	42	2,20	728
6	0,30	800	43	2,25	1300
7	0,35	750	44	2,30	950

Продолжение таблицы 1

8	0,45	600	45	2,35	1200
9	0,55	1480	46	2,40	1150
10	0,6	710	47	2,45	1000
11	0,65	750	48	2,50	900
12	0,7	600	49	2,55	1050
13	0,75	1460	50	2,60	650
14	0,8	650	51	2,65	950
15	0,85	1400	52	2,70	1250
16	0,9	700	53	2,75	1000
17	0,95	730	54	2,80	1200
18	1,00	800	55	2,85	900
19	1,05	1400	56	2,90	700
20	1,10	700	57	3,00	600
21	1,15	1350	58	3,05	1150
22	1,20	750	59	3,10	1000
23	1,25	650	60	3,15	900
24	1,30	800	61	3,20	800
25	1,35	1300	62	3,25	1150
26	1,40	750	63	3,30	850
27	1,45	1300	64	3,35	1100
28	1,50	850	65	3,40	1000
29	1,55	600	66	3,45	950
30	1,60	800	67	3,50	900
31	1,65	1300	68	3,55	600
32	1,70	700	69	3,60	700
33	1,75	850	70	3,65	800
34	1,80	1300	71	3,70	1150
35	1,85	700	72	3,75	1100
36	1,90	900	73	3,80	1000
37	1,95	1250	74	3,85	600

Пояснение к заданию

Исходная информация оформляется в виде таблицы 2 в зависимости от номера варианта.

Таблица 2 – Оформление исходных данных

Номер варианта	Содержание углерода, %	Температура, °С
	5,5	950

Диаграмма состояния «железо-цементит» с указанием всех фаз и структурных составляющих приведена на рисунке 3.

Проанализируем процессы, происходящие в заданном железоуглеродистом сплаве при охлаждении, и построим кривую охлаждения в координатах «температура - время». Провести на диаграмме вертикальную линию, соответствующую концентрации заданного сплава 5,5 % С. Точки пересечения вертикали с линиями диаграммы являются критическими для данного сплава. Температуры критических точек равны 1 220 °С; 1 147 °С; 727 °С. Рассматриваемый сплав относится к заэвтектическим белым чугунам.

При построении кривой охлаждения использовать уравнение правила фаз Гиббса (математическим выражением условия равновесия системы)

$$C = K - \Phi + 1, \quad (1)$$

где C – число степеней свободы (переменных факторов);

K – число компонентов, т. е. веществ, образующих систему;

Φ – число фаз, существующих при определённых условиях.

В температурном диапазоне 1-2 сплав находится в однофазном жидком состоянии и охлаждается с определённой скоростью. Число степеней свободы $C = 2 - 1 + 1 = 2$, что допускает изменение двух факторов (температуры и концентрации) без нарушения фазового состояния.

При температуре ниже 220 °С из жидкого раствора кристаллизуется цементит первичный, и выделяющаяся при этом теплота кристаллизации уменьшает скорость охлаждения, что отражается на угле наклона кривой охлаждения. Участок кривой охлаждения 2-3 становится более пологим. Число степеней свободы $C = 2 - 2 + 1 = 1$, что допускает возможность изменения только одного фактора – температуры. При этом содержание углерода в жидкости при охлаждении в температурном диапазоне 2-3 будет изменяться по линии CD и при достижении 1 147 °С составит 4,3 %.

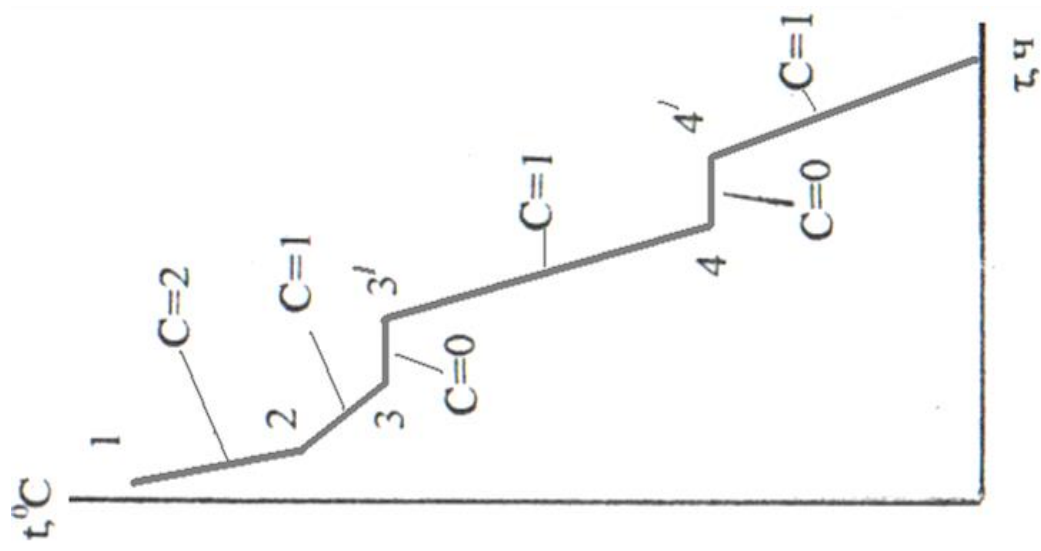
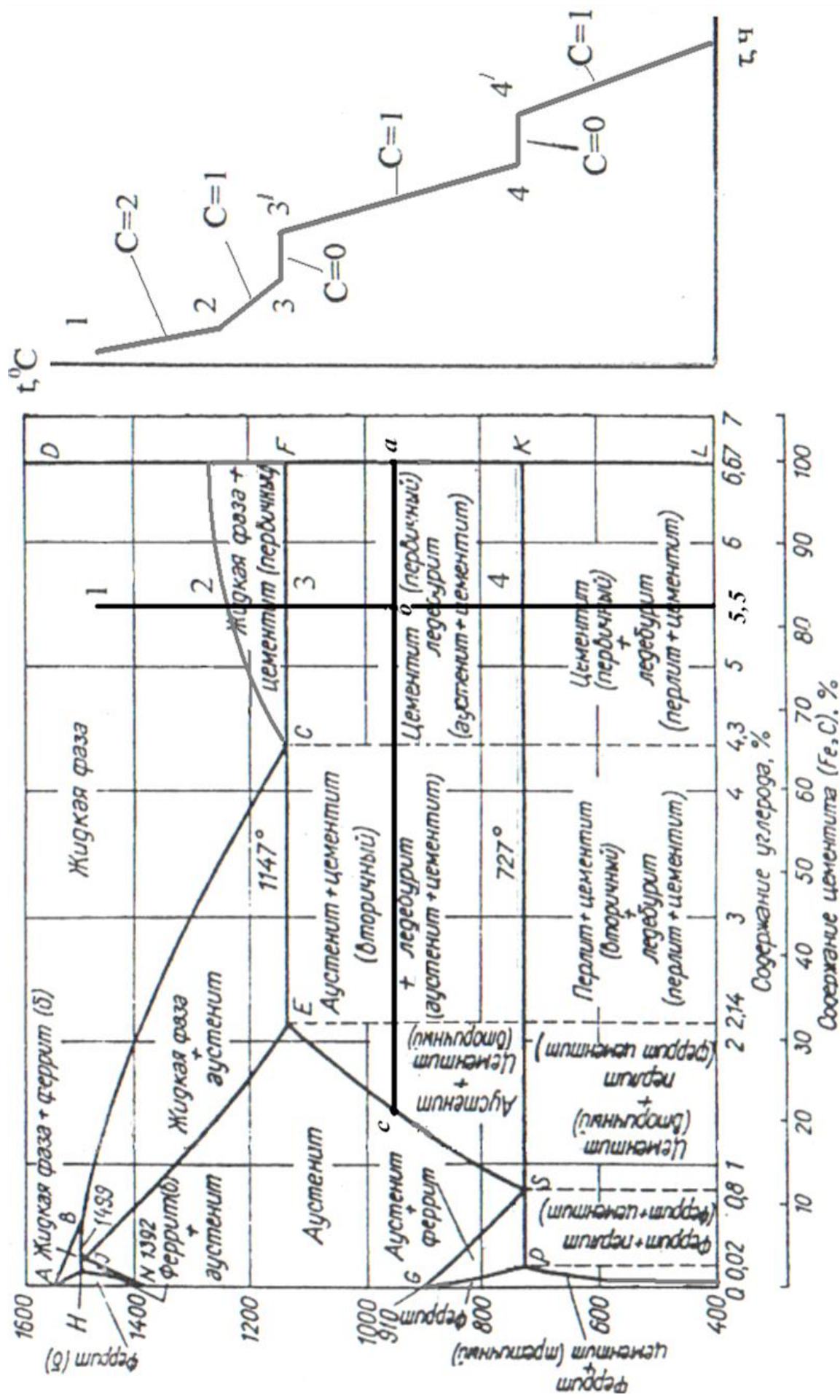


Рисунок 3 – Диаграмма Fe - Fe₃C

При температуре 1 147 °С сплав претерпевает эвтектическое превращение. Жидкость с 4,3 % С превращается в эвтектическую механическую смесь цементита и аустенита – ледебурит. Поскольку при этом в сплаве существуют три фазы (жидкость, цементит и аустенит), то число степеней свободы $C = 2 - 3 + 1 = 0$, что не допускает изменения температуры и концентрации. На кривой охлаждения появляется горизонтальный участок, соответствующий эвтектическому превращению.

При охлаждении в температурном диапазоне 3-4 до температуры 727 °С (точка 4) из аустенита, входящего в состав ледебурита, выделяется цементит вторичный, и содержание углерода в аустените уменьшается по линии ES от 2,14 % С до 0,8 % С. Число степеней свободы $C = 2 - 2 + 1 = 1$, и процесс охлаждения проходит без изменения числа фаз.

При температуре 727 °С в сплаве происходит эвтектоидное превращение, аустенит с содержанием 0,8 % С превращается в эвтектоидную механическую смесь феррита и цементита - перлит. Число степеней свободы $C = 2 - 3 + 1 = 0$, и превращение происходит при постоянной температуре.

При охлаждении сплава от 727 °С до комнатной температуры из феррита, входящего в состав перлита, будет выделяться цементит третичный. Число степеней свободы $C = 2 - 2 + 1 = 1$, и процесс охлаждения проходит без изменения числа фаз.

Для определения химического состава фаз и их массы (в процентах по отношению к массе сплава) необходимо провести коноду при заданной температуре 950 °С (точка *б* на рисунке А1). Тогда точки пересечения коноды с линиями диаграммы (*с* и *а* на рисунке А1) при проектировании их на ось концентрации покажут химический состав соответствующих фаз. Количество углерода в аустените 0,9 %, количество углерода в цементите – 6,67 %.

Масса аустенита составит

$$q_A = q \cdot \frac{ab}{ac},$$

$$q_A = 100 \cdot \frac{6,67 - 5,50}{6,67 - 0,9} = 20\%;$$

Масса цементита составит

$$q_{ц} = q \cdot \frac{бс}{ас},$$

$$q_{ц} = 100 \cdot \frac{5,50 - 0,9}{6,67 - 0,9} = 80\%;$$

Сплав, содержащий 5,5 % С, называется заэвтекктическим белым чугуном. При комнатной температуре структура рассматриваемого сплава будет состоять из ледебурита и цементита первичного. Схематическое изображение структуры представлено на рисунке 4.

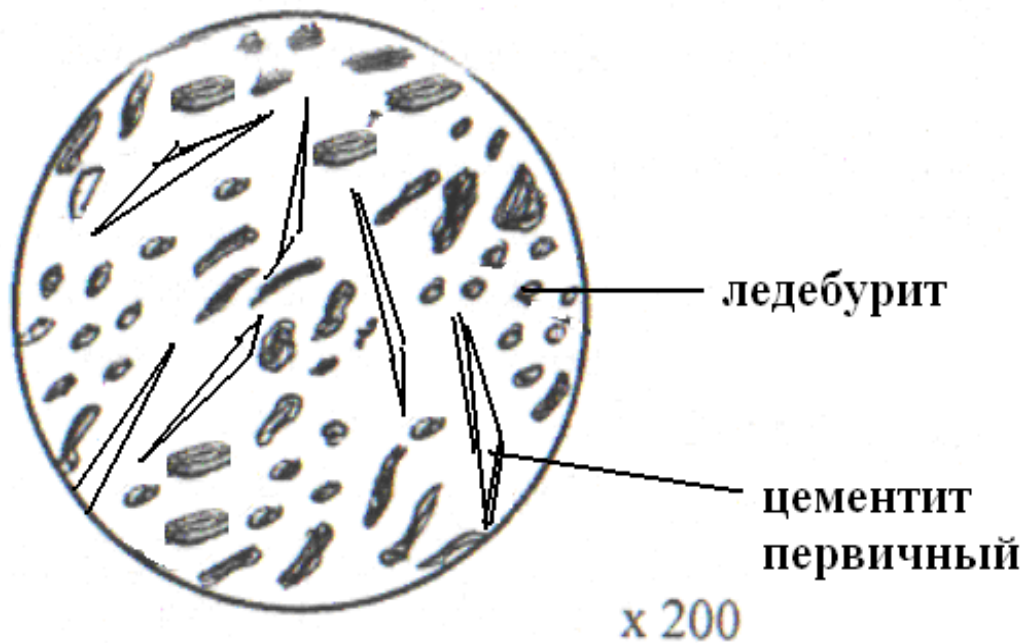


Рисунок 4 – Схема структуры заданного сплава при комнатной температуре

3 Практическая работа № 3. Часть 1. Маркировка углеродистых сталей и чугунов

Цель – изучить маркировку углеродистых сталей и чугунов, научиться определять состав стали и механические свойства чугуна.

Задание – выполнить работу в соответствии с заданием по варианту согласно номеру в журнале (таблица 3).

Таблица 3 – Варианты к заданию

Номер варианта	Марка сплава				
	Ст2кп	10	15Л-1	СЧ30	ЧХ9
2	Ст3кп	10кп	20Л-11	СЧ35	АЧВ-1
3	Ст1кп	35	25Л-1	КЧ30-6	ЧХ22
4	Ст2кп	10пс	30Л-111	ВЧ60	ЧХ32
5	Ст3пс	0,5кп	35Л-11	ВЧ70	ЧХ1
6	Ст1пс	0,8	40Л-1	ВЧ80	ЧХ2
7	Ст3сп	15кп	45Л-11	КЧ33-8	АЧВ-2
8	Ст4кп	65	50Л-111	ВЧ35	ЧХ16
9	Ст2пс	25	55Л-11	ВЧ45	ЧХ28
10	Ст1пс	45	А40Г	ВЧ40	ЧС5
11	Ст1кп	15пс	АС14	ВЧ50	ЧЮХШ
12	Ст2сп	У7	А35Е	ЧВГ300-3	АЧК-2
13	Ст1сп	У11	А12Е	КЧ35-10	ЧС13
14	Ст3пс	У13	А30	СЧ15	ЧЮ6С5
15	Ст1пс	У8А	А20	КЧ63-2	АЧС-6
16	Ст1кп	0,8кп	15Л-11	ВЧ35	ЧЮ30
17	Ст5пс	20	20Л-111	ВЧ100	ЧЮ22Ш
18	Ст6сп	30	25Л-11	СЧ10	ЧН15Д7
19	Ст4пс	50	30Л-11	КЧ37-12	АЧС-1
20	Ст5сп	У9	35Л-1	СЧ25	ЧС15
21	Ст3сп	20	40Л-11	КЧ35-10	ЧХ22
22	Ст5пс	10	45Л-1	ВЧ40	ЧХ32
23	Ст6сп	0,5пс	50Л-11	СЧ30	АЧС-2
24	Ст5сп	50	55Л-111	КЧ 45-7	ЧХ1
25	Ст6сп	15пс	А40Г	ВЧ45	ЧХ2
26	Ст4кп	60	АС14	СЧ10	ЧЮХШ
27	Ст4сп	У9А	А35Е	КЧ50-5	АЧС-3

Продолжение таблицы 3

28	Ст1пс	10	A12E	СЧ35	ЧЮ30
29	Ст1сп	10кп	A30	ВЧ50	ЧЮ22Ш
30	Ст3кп	35	A20	КЧ55-4	ЧН15Д7
31	Ст0	10пс	15Л-111	КЧ65-3	АЧК-1
32	Ст4сп	0,5кп	20Л-1	ЧВГ350-2	ЧХ16
32	Ст2кп	0,8	25Л-111	СЧ20	ЧХ28
33	Ст3кп	15кп	30Л-1	ВЧ70	ЧС5
34	Ст1кп	60	35Л-1	КЧ60-3	ЧЮХШ
35	Ст2кп	25	40Л-111	ВЧ60	ЧС15
36	Ст3пс	45	45Л-1	ВЧ100	АЧС-4
37	Ст1пс	15пс	50Л-11	СЧ25	ЧХ22
38	Ст3сп	У7	55Л-1	ВЧ80	ЧХ32
39	Ст4кп	У11	A40Г	КЧ70-2	ЧХ1
40	Ст2пс	У13	АС14	ВЧ35	ЧХ2
41	Ст1пс	У8А	A35E	СЧ35	АЧС-5
42	Ст1кп	0,8кп	A12E	КЧ80-1,5	ЧН15Д3Ш
43	Ст2сп	20	A30	ВЧ50	ЧН19Х3Ш
44	Ст1сп	10	A20	ЧВГ400-1,5	ЧН11Г7Ш
45	Ст3пс	10кп	15Л-11	КЧ35-10	ЧХ9
46	Ст1пс	35	20Л-111	КЧ30-6	АЧВ-1
47	Ст1кп	10пс	25Л-11	СЧ20	ЧХ22
48	Ст5пс	0,5кп	30Л-11	ВЧ70	ЧХ32
49	Ст6сп	0,8	35Л-1	КЧ60-3	ЧХ1
50	Ст4пс	15кп	40Л-11	ВЧ60	ЧХ2

При выполнении задания необходимо:

а) для марок сталей – указать состав стали, исходя из марочного обозначения (без использования справочной литературы), ее качество, структурный класс в равновесном состоянии, общее назначение;

б) для марок чугунов – указать вид чугуна, его механические свойства, форму графита, для легированного чугуна указать легирующие элементы и их количество.

Пояснение к заданию

Исходная информация оформляется в виде таблицы 4 в зависимости от номера варианта.

Таблица 4 – Оформление исходных данных

Номер варианта	Марка стали				
	Ст5сп	У13	30Л-11	КЧ65-3	ЧН15Д7

Ст5сп – сталь обыкновенного качества, раскислена марганцем, кремнием и алюминием. Содержание углерода от 0,28 до 0,37 %, серы – не более 0,05 %, фосфора – не более 0,04 %. Доэвтектоидная, структура стали в равновесном состоянии состоит из феррита и перлита, конструкционная сталь.

У13 – качественная сталь, раскислена марганцем, кремнием и алюминием. Содержание углерода 1,3 %, серы – не более 0,04 %, фосфора – не более 0,035 %. Заэвтектоидная сталь, структура в равновесном состоянии состоит из перлита и цементита, инструментальная сталь.

30Л-11 – сталь для отливок ответственного назначения. Содержание углерода – 0,3 %. Доэвтектоидная, структура стали в равновесном состоянии состоит из феррита и перлита.

КЧ65-3 – ковкий чугун с перлитной металлической основой; $\sigma_b \geq 650$ МПа, $\delta \geq 3$ %.

ЧН15Д7 – легированный жаростойкий чугун. Содержание никеля – 15 % , меди – 7 %.

4 Практическая работа № 3. Часть 2. Маркировка легированных сталей

Цель – научить определять химический состав легированной стали без использования справочной литературы, а также изучить основное назначение различных марок сталей.

Задание – выполнить работу в соответствии с заданием по варианту согласно номеру в журнале (таблица 5).

Для каждой из пяти марок сталей, заданных в индивидуальном задании, указать:

- структурный класс стали в отожженном состоянии;
- химический состав, исходя из марочного обозначения;
- назначение.

Таблица 5 – Варианты к заданию

Номер варианта	Марка сплава				
	1	09Г2	30ХГС	55ХГР	ХВГ
2	08Г2С	30ХГ2С	50ХФА	ХВСГ	12Х13
3	12ГС	30ХГСА	60С2	В1	30Х13Л
4	14Г2	25ХГТ	60С2Н2А	ХВ4	08Х13
5	10Г2С1	40ХГТ	55С2	Х12	20Х13
6	10ХСНД	25ХГМ	60С2А	Х12ВМ	12Х17
7	15ХСНД	50ХГМ	55Г2А	Х6ВФ	08Х17Т
8	16ГС	38ХНМ	60Г	Х12Ф1	95Х18
9	17ГС	40ХНМА	65Г	Х12М	08Х18Т1
10	17Г1С	38ХС	70С3А	5ХГМ	15Х25Т
11	25Г2С	38ХМА	60С2ХФА	5ХНМ	15Х28
12	10Г2БД	50ХНВ	60С2ХА	4ХМФС	25Х13Н2
13	15Г2СФД	40ХФА	65ХГ2С	4Х5МФС	20Х23Н13
14	14Г2АФ	50ХНТ	75ХГ2С	3Х3М3Ф	10Х23Н18
15	20ХГ2Ц	30Г2НА	65Х	3Х2В8Ф	20Х25Н20С2
16	14ХГС	25ХГ2СА	70ХГ2	3Х2Н2МВФ	20Х12ВНМФ
17	16Г2АФ	25Х2ГН2А	65	4ХВ2С	08Х17Н13М2Т

Продолжение таблицы 5

18	10ХНДП	15Х2ГН2ТА	70	5ХВ2С	10Х14Г14Н4Т
19	10Г2	35СХ8М	60С2ВА	6ХВ2С	40Х9С2
20	12Г2А	30ХГ2СН2А	ШХ4	4Х2НМФ	40Х10С2М
21	20ГНМФЛ	35ХГСЮД	ШХ15	4Х8В2	08Х18Т1
22	40ГСЛ-П	38ХМЮА	ШХ6	Р18К5Ф2	37Х12Н8Г8МФБ
23	20ХМЛ	38ХЮА	ШХ9	Р6М3	13Х11Н2В2МФ
24	20ХГСФЛ	30Х	ШХ15СГ	Р6М5Ф3	10Х17Н13М2Т
25	30ГСЛ	35Х	11ОГ13Л	Р18	31Х19Н9МБВТ
26	30ХГФРЛ	45Х	11ОГ13Т2ЮЛ	Р12Ф3	08Х18Г8Н2Т
27	25ХФЛ	50Х	55ХР	Р9	20Х20Н14С2
28	25Х2Г3ФЛ	35ХН	50ХФА	Р6М5К5	12Х25Н16Г7АР
29	35ХМЛ	45ХН	60С2	Р9Ф5	06ХН28МДТ
30	32Х06Л	30ХН	60С2Н2А	Р9М4К8	20Х13
31	45ГЛ	40ХН	55С2	ХВ4	12Х17
32	25ГСЛ	50ХН	60С2А	Х12	08Х17Т
33	35ХН2МЛ	30ХГ2	60Г	90Х2АФШ	08Х18Т1
34	50ГФЛ	35ХГ2	65Г	9ХВГ	08Х21Н9
35	15ГНЛ	40ХГ2	70С3А	ХВГ	10Х19Н9Т
36	25ХГ2ТЛ	45ХГ2	60С2ХФА	90Х2МФА	17Х18Н9
37	35ХС2ВФЛ	30ХГС	60С2ХА	90ХГ3СА	03Х14Н14
38	25ХГФЛ	30ХГ2С	65ХГ2С	90ХС2ФА	10Х14АГ15
39	20ХГТЛ	30ХГСА	75ХГ2С	90ХС	12ХМФ
40	18Х2Н4ВА	25ХГТ	65Х	90ХФ	15ХМФ
41	20Х2Н4А	40ХГТ	70ХГ2	Р9К5	40Х13
42	18Х2НМА	25ХГМ	65	13ОХФ	12Х13
43	12ХН3А	50ХГМ	70	9ХС	30Х13Л

Пояснение к заданию

Исходная информация оформляется в виде таблицы 6 в зависимости от номера варианта.

Таблица 6 – Оформление исходных данных

Номер варианта	Марка стали				
	18Х2Н4ВА	38ХМЮА	ШХ15СГ	Р9М4К8	20Х25Н20С2

18Х2Н4ВА – доэвтектоидная сталь.

Химический состав – 0,18 % углерода, 2 % хрома, 4 % никеля, до 1 % вольфрама, серы и фосфора не более 0,025 %.

Назначение – конструкционная сталь, применяется в цементованном и улучшенном состоянии для изготовления ответственных деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, вязкости и износостойкости, а также для деталей, подвергающихся вибрационным и динамическим нагрузкам.

38ХМЮА – доэвтектоидная сталь.

Химический состав – 0,38 % углерода, до 1 % хрома, молибдена, алюминия, серы – не более 0,04 %, фосфора – не более 0,035 %.

Назначение – конструкционная сталь, нитраллой, применяется для изготовления ответственных деталей, работающих в условиях повышенного изнашивания, под действием знакопеременных нагрузок, а также в коррозионной среде при повышенных температурах от 300 до 400 °С.

ШХ15СГ – заэвтектоидная сталь.

Химический состав – 1 % углерода, 1,5 % хрома, до 1 % кремния и марганца, серы не более 0,02 %, фосфора не более 0,027 %.

Назначение – крупногабаритные кольца шарико- и роликоподшипников со стенками толщиной более 20-30 мм; шарики диаметром более 50 мм; ролики диаметром более 35 мм.

Р9М4К8 – сталь ледебуритного класса.

Химический состав – 1 % углерода, 9 % вольфрама, 4 % молибдена, 8 % кобальта, до 4 % хрома, до 2 % ванадия, кремния и марганца не более 0,5 %, серы и фосфора не более 0,03 %.

Назначение – быстрорежущая сталь для изготовления инструмента для обработки высокопрочных нержавеющей и жаропрочных сталей в условиях повышенного разогрева режущей кромки.

20Х25Н20С2 – доэвтектоидная сталь.

Химический состав – 0,2 % углерода, 25 % хрома, 20 % никеля, 2 % кремния, серы не более 0,02 %, фосфора не более 0,035 %.

Назначение – жаростойкая сталь аустенитного класса для изготовления деталей, работающих при температуре до 1 100 °С в воздушной и углеводородной атмосферах.

Библиографический список

- 1 ГОСТ 2.701–2008. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Взамен ГОСТ 2.701–84; введ. 2009-07-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 14 с.
- 2 Гуляев, А.П. Металловедение: учебник / А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1996. – 541 с.
- 3 Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебное пособие / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
- 4 Лахтин, Ю.М. Материаловедение: учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Альянс, 2019. – 528 с.
- 5 Материаловедение и технология металлов: учебник для студентов машиностроительных специальностей ВУЗов / под ред. Г.П. Фетисова. – М: Высшая школа, 2001. – 640 с.
- 6 Арзамасов, В.Б. Материаловедение: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным направлениям / В.Б. Арзамасов, А.А. Черепяхин. – М.: Академия, 2013. – 172 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(информационное)

Диаграммы состояния двухкомпонентных сплавов

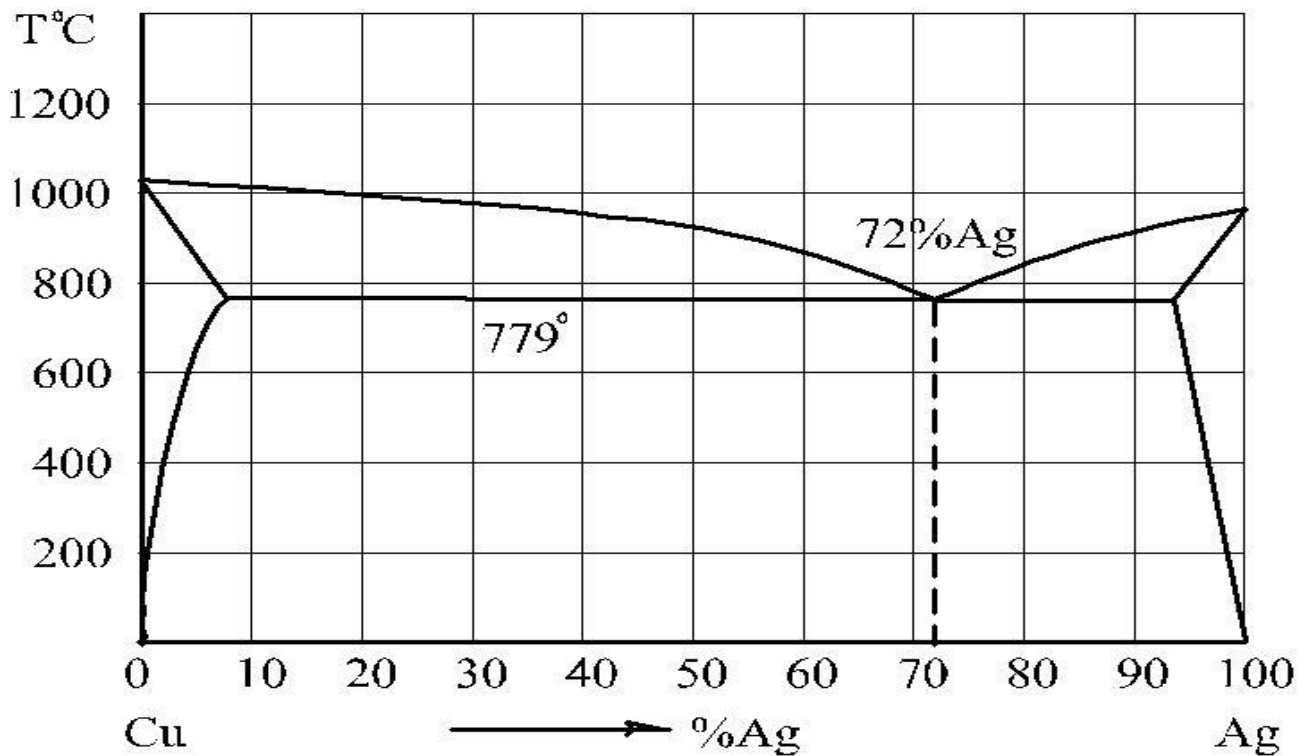


Рисунок А1 – Диаграмма состояния системы «медь - серебро»

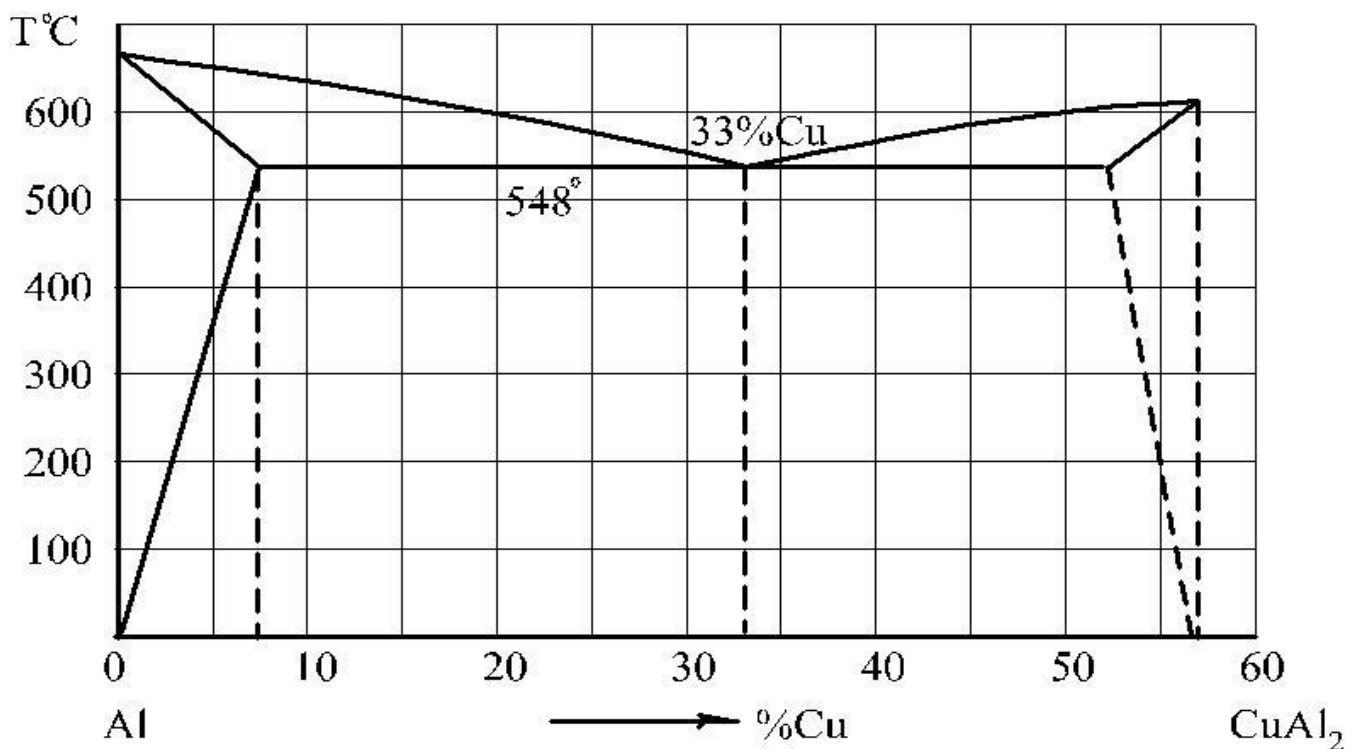


Рисунок А 2 – Диаграмма состояния системы «алюминий - медь»

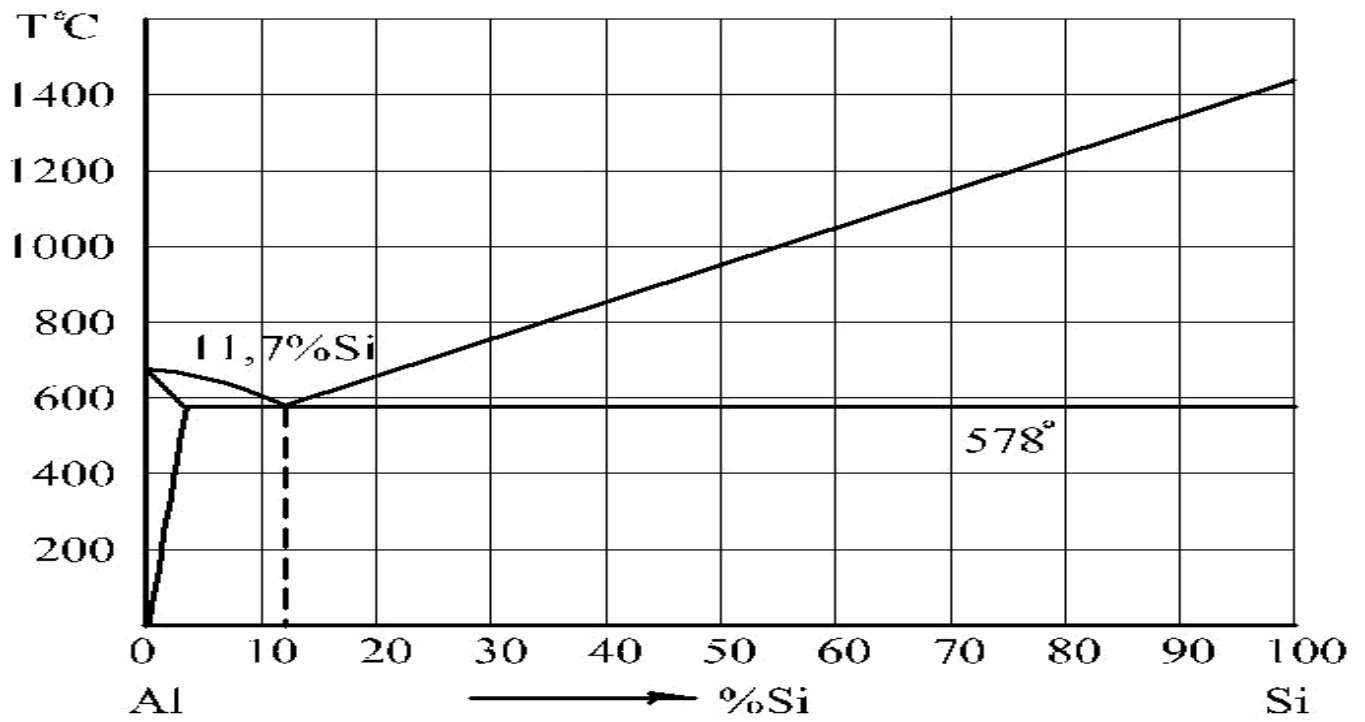


Рисунок А3 – Диаграмма состояния системы «алюминий - кремний»

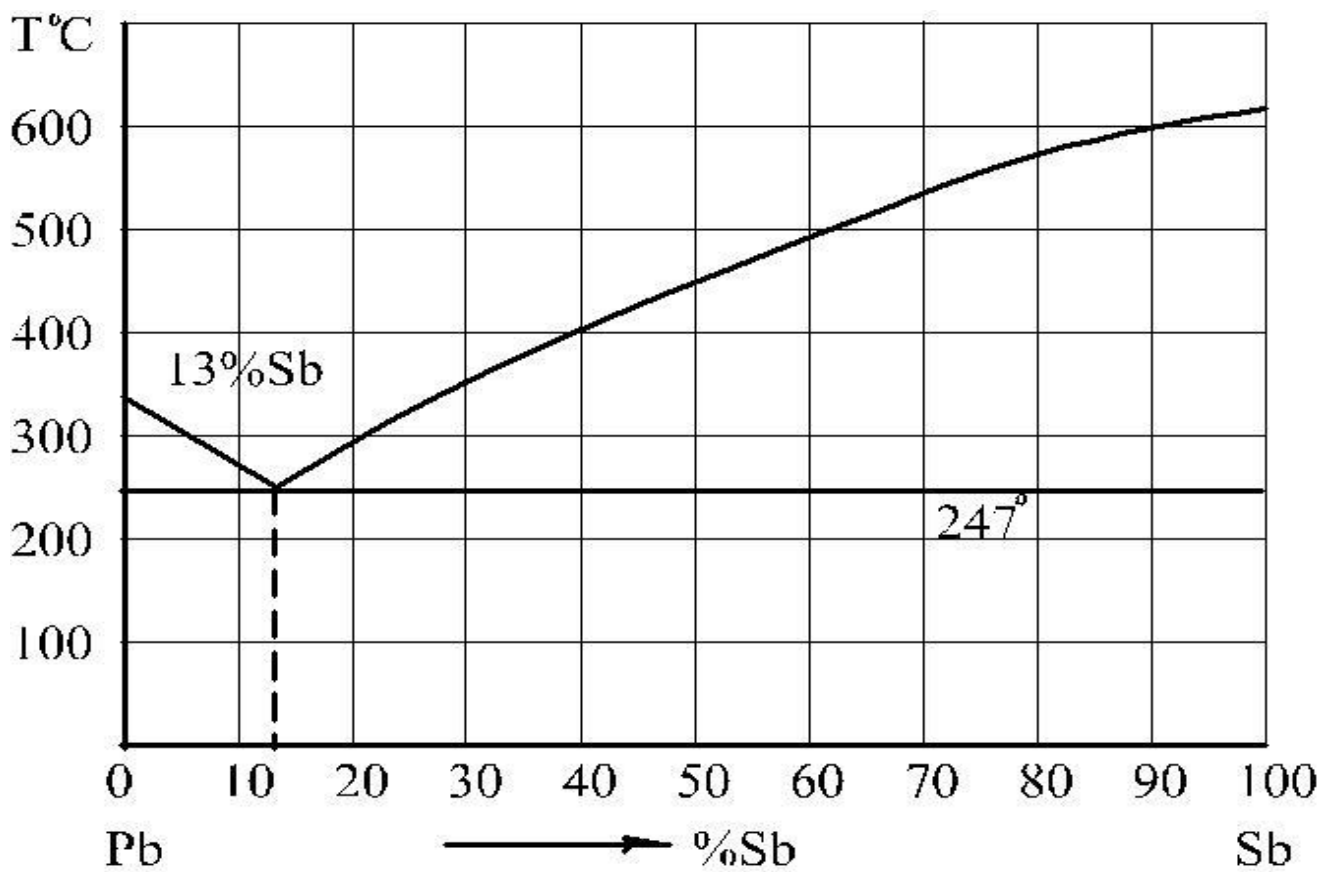


Рисунок А4 – Диаграмма состояния системы «свинец - сурьма»

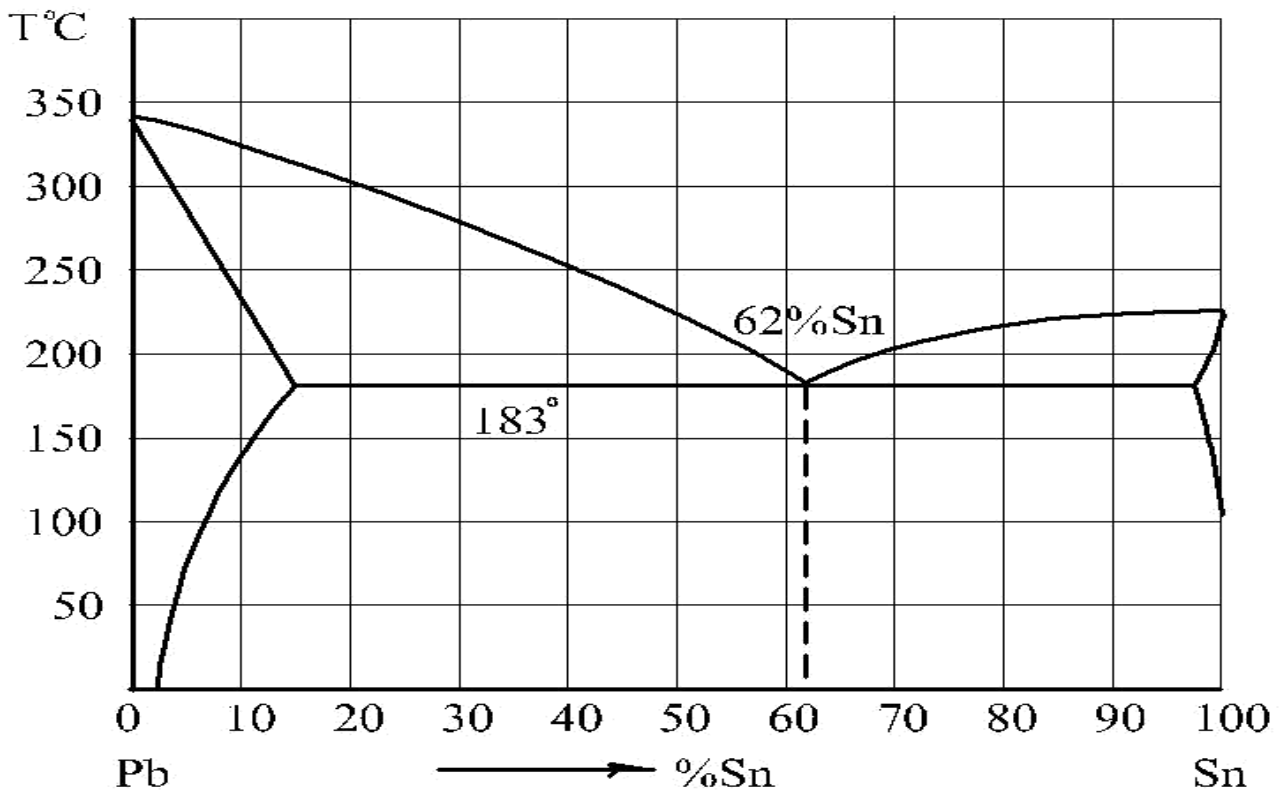


Рисунок А5 – Диаграмма состояния системы «свинец - олово»

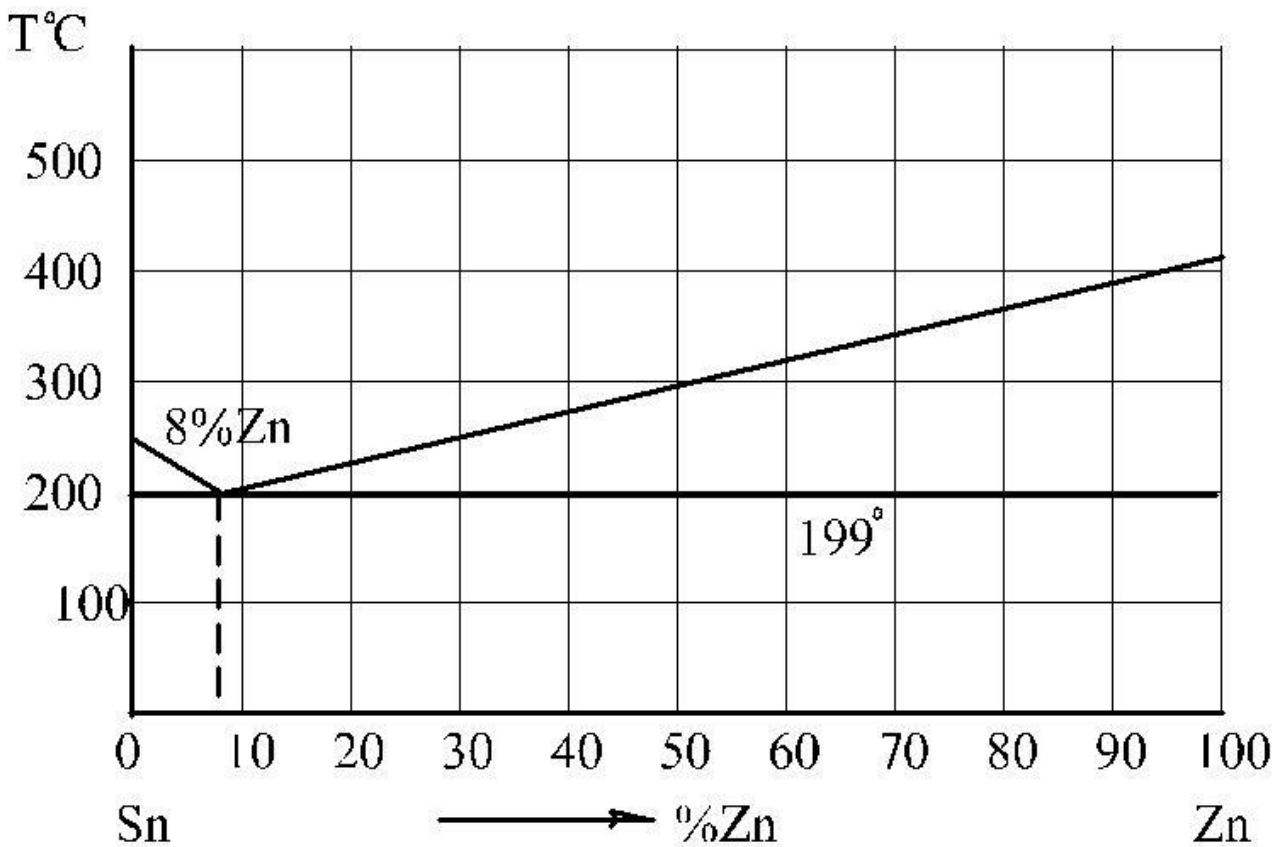


Рисунок А6 – Диаграмма состояния системы «олово - цинк»

Приложение Б
(информационное)

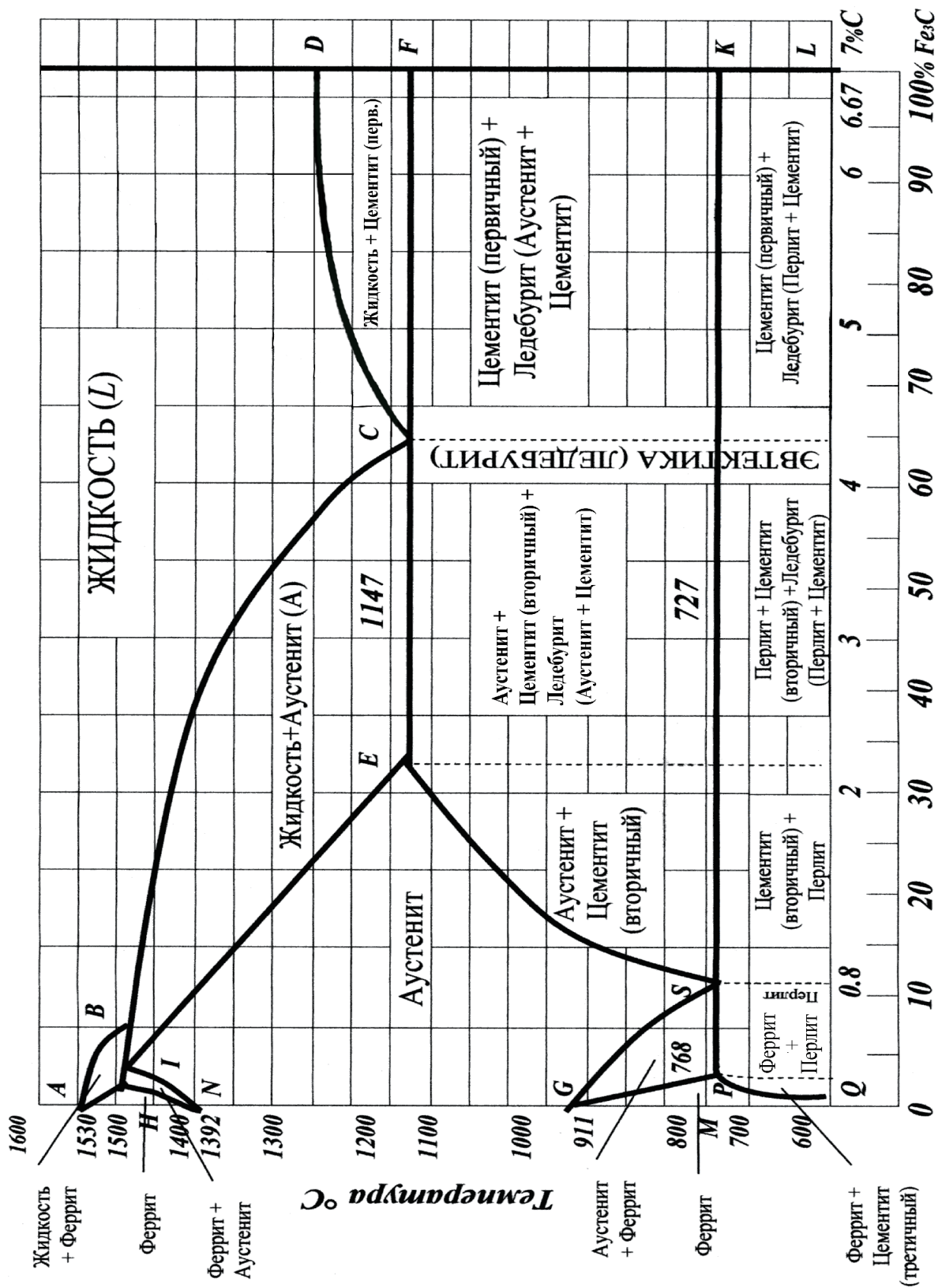


Рисунок Б1 – Диаграмма «железо - цементит»

Учебное издание

Посалина Анастасия Евгеньевна

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Часть 1

Методические указания по выполнению практических работ

Подписано в печать _____ Тираж _____ экз.
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53