

**Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И.Менделеева»**

Новомосковский институт (филиал)

Сафонов Б.П., Бегова А.В.

***Материаловедение
и технология конструкционных материалов***

**Учебное пособие для студентов
заочного факультета**

Издание 2-е, переработанное и дополненное

**Новомосковск
2016**

УДК 669.017
ББК 30.3
С 217

Рецензенты:

кандидат технических наук, Трещев С.Г.
(начальник технического отдела ОАО «НИАП»)
доктор химических наук, профессор Медведев Г.И.
(ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт)

Сафонов Б.П., Бегова А.В.

С 217 Материаловедение и технология конструкционных материалов.
Учебное пособие для студентов заочного факультета. Издание 2-е, переработанное и дополненное / ФГБОУ ВО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2016. – 116 с.

В разделе 1 учебного пособия приведены задачи, включённые в контрольную работу студентов заочного факультета, изучающих дисциплины «Материаловедение», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», «Электротехническое и конструкционное материаловедение». Задачи охватывают темы: кристаллическое строение металлических материалов, механические свойства сплавов, теория сплавов, железоуглеродистые сплавы, термическая обработка, сертификация промышленных сплавов. Контрольная работа содержит также вопрос на тему технологических методов переработки материалов в изделия. В каждой задаче указаны номера таблиц раздела 2, содержащих дополнительную информацию, необходимую для решения данной задачи.

В разделе 2 приведены сведения о свойствах материалов их маркировке, применении, термической обработке. В разделе 3 представлены примеры решения задач. Учебное пособие содержит 289 задач по 5 темам, 49 справочных таблиц, 12 примеров решения задач.

Ил.48. Табл. 51 Библиогр. список 8 назв.

УДК 669.017
ББК 30.3

© Б. П. Сафонов, А.В. Бегова

© ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»,
Новомосковский институт (филиал), 2016

Предисловие

В системе общинженерной подготовки специалистов, в формировании у них инженерного мышления материаловедческая и технологическая подготовка занимает одно из центральных мест.

Задачи в данном учебном пособии подобраны таким образом, чтобы при их решении студенту пришлось привлекать дополнительную информацию из других тем курса материаловедения.

Для студентов немеханического профиля знание конструкционных материалов, возможностей и особенностей тех или иных технологических методов их переработки в готовые изделия позволяет успешно выполнять конструкторские работы в рамках курсового и дипломного проектирования.

Свойства металлов и сплавов неразрывно связаны с технологией изготовления деталей. Для инженера, занятого эксплуатацией промышленного оборудования и контрольно-измерительных приборов, знание и понимание внутренней взаимосвязи разделов курса М и ТКМ чрезвычайно важно, поскольку раскрывает причинно-следственную связь формирования потребительских свойств изделий машиностроения.

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с программами учебных дисциплин «Материаловедение», «Материаловедение и технология конструкционных материалов», «Электротехническое и конструкционное материаловедение» для специальностей ЭС, ПТЭ, М, А и СТ.

Учебное пособие снабжено справочными материалами, в которых представлены сведения о строении материалов, их свойствах, маркировке и др. В пособии приведены примеры решения задач.

Учебное пособие предназначено для студентов заочного факультета.

Пожелания по улучшению изложенного в учебном пособии материала просим направлять на кафедру ОХП НИ РХТУ им. Д.И.Менделеева по адресу 301665 г. Новомосковск Тульской области, ул. Дружбы 8 или по электронной почте kafohp@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение – наука, изучающая взаимосвязь между составом, строением и свойствами материалов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов: тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиационных.

Применяемые в технике материалы чрезвычайно разнообразны по своей природе и свойствам, поэтому разнообразны также технологические методы их переработки в изделия: *литье, пластическое деформирование, сварка и резание*. Изложение названных технологических методов переработки материалов в изделия составляет вторую часть курса М и ТКМ – *технологию конструкционных материалов*.

В учебном пособии представлены 7 задач инженерного материаловедения и один теоретический вопрос второй части курса «Технология конструкционных материалов».

Решение каждой задачи следует начинать с проработки рекомендуемой для данной темы задач учебной и справочной литературы.

В задаче №1 подобраны задания на тему атомно-кристаллического строения сплавов, в которых выполняется расчёт состава сплавов или определяется массовая доля компонента в том или ином веществе.

Задача №2 посвящена определению механических свойств сталей группы прочности (σ_T , σ_B) и пластичности (δ , ψ). Прочность – способность материала сопротивляться разрушению или необратимому изменению формы образца под нагрузкой. Пластичность – способность материала деформироваться, не разрушаясь. Часть вариантов в задаче предусматривает определение твёрдости сплавов по Бринеллю и Роквеллу, рассматривается также косвенная оценка свойств твёрдость $\leftrightarrow$ предел прочности по соответствующим уравнениям регрессии. Твёрдость – способность материала сопротивляться местной пластической деформации при внедрении индентора (тело специальной формы из твёрдого материала). Часть вариантов предусматривает определение ударной вязкости KCU и порога хладноломкости стали $t_{хл}$ по упрощённой методике. Ударная вязкость (KCU, KCV) численно равна отношению работы, затраченной на разрушения призматического образца с односторонним поперечным надрезом при испытании на ударный изгиб, условно отнесённой к сечению образца в месте надреза. Порог хладноломкости $t_{хл}$ – температура перехода вязкого разрушения металла в хрупкое.

Задача №3 посвящена определению критических точек двойных сплавов и структурно-фазовому анализу сплава по диаграмме состояния. Критическая точка – температура, при которой в сплаве происходят фазовые превращения. В зависимости от вида превращения различают следующие критические толчки: ликвидус, солидус, сольвус. Ликвидус – температура начала кристаллизации при охлаждении жидкого сплава или температура окончания расплавления при нагревании твёрдого сплава. Сольдус – температура окончания кри-

сталлизации при охлаждении жидкого сплава или температура начала расплавления при нагревании твёрдого сплава. Сольвус – температура выделения вторичной фазы при охлаждении жидкого сплава или температура растворения фазы, при нагревании твёрдого сплава. Критические точки определяются при анализе кривых охлаждения или термокинетических диаграмм кристаллизации (ТКДК) сплава. *Кривая охлаждения* – зависимость температуры жидкого сплава от времени. *ТКДК* сплава – зависимость скорости охлаждения жидкого сплава от времени при охлаждении в условиях кристаллизации.

Структурный анализ сплава предполагает определение количества эвтектики в сплаве по *правилу треугольника*. Схема микроструктуры сплавов строится по шаблону, для которого ближайшее к исследуемому сплаву количество эвтектики. *Фазовый анализ* предполагает определение состава фаз и их относительного количества для сплава заданного состава при заданной температуре. Состав фаз сплава определяется по *правилу концентраций*. Относительное количество фаз в сплаве – *по правилу отрезков*.

В задаче №4 определяются критические точки железоуглеродистых сплавов (стали и чугуны), а также количество углерода в сталях. По правилу Н.С. оцениваются значения механических свойств доэвтектоидной стали.

Задача №5 посвящена разработке технологии термической обработки изделий из сталей и цветных сплавов. В задаче предлагается: решить прямую и обратную задачи закаливаемости стали; определить критический диаметр изделия из легированной стали по номограмме М.Е. Блантера.

В задачах №6 и №7 предлагается проанализировать 17 сплавов с точки зрения химического состава, принадлежности к определённой технологической группе, функционального назначения и возможности термического упрочнения.

Многие задачи предполагают получение числового ответа (число и соответствующая размерность), в ряде задач предполагается использовать графоаналитическое решение.

**Контрольная работа по курсу М и ТКМ для студентов
заочного факультета специальностей М, ЭС, ПТЭ, А и СТ**

1. Задачи контрольной работы

Контрольная работа включает в себя 7 задач и 1 теоретический вопрос.

Варианты заданий контрольной работы выбираются студентом по шифру зачетной книжки. При этом по двум последним цифрам шифра определяют вариант задания (табл. 1), а затем выбирают номера вопросов теоретической части и задач контрольной работы (табл.2).

Таблица 1.

Варианты заданий контрольной работы

$\begin{matrix} \text{б} \\ \text{а} \end{matrix}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	11	2	12	3	13	4	14	5	15
1	2	12	3	13	4	14	5	15	6	16
2	3	13	4	14	5	15	6	16	7	17
3	4	14	5	15	6	16	7	17	8	18
4	5	15	6	16	7	17	8	18	9	19
5	6	16	7	17	8	18	9	19	10	20
6	7	17	8	18	9	19	10	20	1	11
7	8	18	9	19	10	20	1	11	2	12
8	9	19	10	20	1	11	2	12	3	13
9	10	20	1	11	2	12	3	13	4	14
Примечание: а, б – последняя и предпоследняя цифра зачетной книжки										

Таблица 2.

Номера вопросов теоретической части и задач контрольной работы

вар	Задачи							Теоретический вопрос
	1	2	3	4	5	6	7	8
1 – направление подготовки 140400 (ЭС)								
1.01	1.2	2.1	3.4	4.1	5.6	6.21.	7.30	8.5
1.02	1.3	2.2	3.5	4.3	5.7	6.22.	7.31	8.6
1.03	1.4	2.3	3.6	4.3	5.8	6.23	7.32	8.7
1.04	1.5	2.4	3.7	4.4	5.9	6.24	7.33	8.8
1.05	1.6	2.5	3.8	4.5	5.10	6.25	7.34	8.9
1.06	1.7	2.6	3.9	4.21	5.1	6.26	7.35	8.10
1.07	1.8	2.7	3.10	4.22	5.2	6.27	7.36	8.11
1.08	1.9	2.8	3.11	4.23	5.53	6.28	7.37	8.12
1.09	1.10	2.9	3.12	4.24	5.52	6.29	7.38	8.13
1.10	1.11	2.10	3.13	4.25	5.51	6.30	7.39	8.14
1.11	1.12	2.11	3.14	4.46	5.50	6.31	7.1	8.15

вар	Задачи							Теоретический вопрос
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.12	1.13	2.12	3.15	4.47	5.49	6.32	7.2	8.20
1.13	1.14	2.13	3.16	4.48	5.48	6.33	7.3	8.21
1.14	1.15	2.14	3.17	4.49	5.47	6.34	7.4	8.22
1.15	1.16	2.15	3.18	4.50	5.46	6.35	7.5	8.23
1.16	1.17	2.16	3.19	4.71	5.45	6.36	7.6	8.24
1.17	1.18	2.17	3.20	4.72	5.44	6.37	7.7	8.25
1.18	1.19	2.18	3.21	4.73	5.43	6.38	7.8	8.26
1.19	1.20	2.19	3.22	4.74	5.42	6.39	7.9	8.27
1.20	1.21	2.20	3.23	4.75	5.41	6.40	7.10	8.28
2 – направление подготовки 140100 (ПТЭ)								
2.01	1.4	2.21	3.24	4.6	5.1	6.1.	7.21	8.10
2.02	1.5	2.22	3.25	4.7	5.2	6.2.	7.22	8.11
2.03	1.6	2.23	3.26	4.8	5.3	6.3.	7.23	8.12
2.04	1.7	2.24	3.27	4.9	5.4	6.4.	7.24	8.13
2.05	1.8	2.25	3.28	4.10	5.5	6.5.	7.25	8.14
2.06	1.9	2.26	3.29	4.26	5.16	6.6.	7.26	8.15
2.07	1.10	2.27	3.30	4.27	5.17	6.7.	7.27	8.16
2.08	1.11	2.28	3.1	4.28	5.18	6.8.	7.28	8.17
2.09	1.12	2.29	3.2	4.29	5.19	6.9.	7.29	8.18
2.10	1.13	2.30	3.3	4.30	5.20	6.10	7.30	8.19
2.11	1.14	2.31	3.4	4.51	5.30	6.11	7.31	8.1
2.12	1.15	2.32	3.5	4.52	5.31	6.12	7.32	8.2
2.13	1.16	2.33	3.31	4.53	5.32	6.13	7.33	8.3
2.14	1.17	2.34	3.32	4.54	5.33	6.14	7.34	8.4
2.15	1.18	2.35	3.33	4.55	5.34	6.15	7.35	8.5
2.16	1.19	2.36	3.34	4.76	5.35	6.16	7.36	8.6
2.17	1.20	2.37	3.35	4.77	5.36	6.17	7.37	8.7
2.18	1.21	2.38	3.36	4.78	5.37	6.18	7.38	8.8
2.19	1.22	2.39	3.37	4.1	5.38	6.19	7.39	8.9
2.20	1.23	2.40	3.38	4.2	5.39	6.20	7.40	8.10
3 – направление подготовки 241000 (М)								
3.01	1.10	2.41	3.39	4.11	5.16	6.5.	7.1	8.11
3.02	1.11	2.42	3.40	4.12	5.17	6.6.	7.2	8.12
3.03	1.12	2.43	3.41	4.13	5.18	6.7.	7.3	8.13
3.04	1.13	2.44	3.42	4.14	5.19	6.8.	7.4	8.13
3.05	1.14	2.45	3.43	4.15	5.20	6.9.	7.5	8.14
3.06	1.15	2.46	3.44	4.31	5.3	6.10	7.6	8.15
3.07	1.16	2.47	3.45	4.32	5.4	6.11	7.7	8.16

вар	Задачи							Теоретический вопрос
	1	2	3	4	5	6	7	8
3.08	1.17	2.48	3.13	4.33	5.5	6.12	7.8	8.17
3.09	1.18	2.49	3.12	4.34	5.6	6.13	7.9	8.18
3.10	1.19	2.50	3.11	4.35	5.7	6.14	7.10	8.19
3.11	1.20	2.51	3.10	4.56	5.8	6.15	7.11	8.20
3.12	1.21	2.52	3.9	4.57	5.9	6.16	7.12	8.21
3.13	1.22	2.53	3.8	4.56	5.10	6.17	7.13	8.22
3.14	1.23	2.54	3.7	4.59	5.21	6.18	7.14	8.23
3.15	1.24	2.55	3.6	4.60	5.22	6.19	7.15	8.24
3.16	1.25	2.56	3.5	4.3	5.23	6.20	7.16	8.25
3.17	1.1	2.57	3.4	4.4	5.24	6.21.	7.17	8.26
3.18	1.2	2.58	3.3	4.5	5.25	6.22.	7.18	8.27
3.19	1.3	2.59	3.2	4.6	5.26	6.23	7.19	8.28
3.20	1.4	2.60	3.1	4.7	5.6	6.24	7.20	8.29
4 – направление подготовки 220700 (А)								
4.01	1.6	2.61	3.46	4.1	5.7	6.10	7.10	8.1
4.02	1.7	2.62	3.47	4.2	5.8	6.11	7.9	8.2
4.03	1.8	2.63	3.48	4.3	5.9	6.12	7.8	8.3
4.04	1.9	2.64	3.49	4.4	5.10	6.13	7.7	8.4
3.05	1.10	2.65	3.50	4.5	5.11	6.14	7.6	8.5
4.06	1.11	2.66	3.51	4.6	5.12	6.15	7.5	8.6
4.07	1.12	2.1	3.52	4.7	5.13	6.16	7.4	8.7
4.08	1.13	2.2	3.53	4.8	5.14	6.17	7.3	8.8
4.09	1.14	2.3	3.54	4.9	5.15	6.18	7.2	8.9
4.10	1.15	2.4	3.55	4.10	5.21	6.19	7.1	8.10
4.11	1.16	2.5	3.1	4.36	5.22	6.20	7.21	8.11
4.12	1.17	2.6	3.2	4.37	5.23	6.21.	7.22	8.12
4.13	1.18	2.7	3.3	4.38	5.24	6.22.	7.23	8.13
4.14	1.19	2.8	3.4	4.39	5.25	6.23	7.24	8.14
4.15	1.20	2.9	3.5	4.40	5.26	6.24	7.25	8.15
4.16	1.21	2.10	3.6	4.61	5.27	6.25	7.26	8.16
4.17	1.22	2.11	3.7	4.62	5.28	6.26	7.27	8.17
4.18	1.23	2.12	3.8	4.63	5.29	6.27	7.28	8.18
4.19	1.1	2.13	3.9	4.64	5.30	6.28	7.29	8.19
4.20	1.2	2.14	3.10	4.65	5.31	6.29	7.30	8.20
5 – направление подготовки 221700 (СТ)								
5.01	1.7	2.15	3.56	4.16	5.11	6.30	7.20	8.30
5.02	1.8	2.16	3.57	4.17	5.12	6.31	7.19	8.31
5.03	1.9	2.17	3.58	4.18	5.13	6.32	7.18	8.15

вар	Задачи							Теоретический вопрос
	1	2	3	4	5	6	7	8
5.04	1.10	2.18	3.59	4.19	5.14	6.33	7.17	8.16
5.05	1.11	2.19	3.60	4.20	5.15	6.34	7.16	8.17
5.06	1.12	2.20	3.7	4.41	5.31	6.35	7.15	8.18
5.07	1.13	2.21	3.6	4.42	5.32	6.36	7.14	8.19
5.08	1.14	2.22	3.5	4.43	5.33	6.37	7.13	8.20
5.09	1.15	2.23	3.4	4.45	5.34	6.38	7.12	8.21
5.10	1.16	2.24	3.3	4.44	5.35	6.39	7.11	8.22
5.11	1.17	2.25	3.2	4.66	5.36	6.40	7.10	8.23
5.12	1.18	2.26	3.1	4.67	5.37	6.1.	7.9	8.24
5.13	1.19	2.27	3.61	4.68	5.38	6.2.	7.8	8.25
5.14	1.20	2.28	3.62	4.69	5.39	6.3.	7.7	8.26
5.15	1.21	2.29	3.63	4.70	5.40	6.4.	7.6	8.27
5.16	1.22	2.30	3.64	4.8	5.1	6.5.	7.5	8.28
5.17	1.23	2.31	3.65	4.9	5.2	6.6.	7.4	8.29
5.18	1.24	2.32	3.66	4.10	5.3	6.7.	7.3	8.1
5.19	1.25	2.33	3.67	4.11	5.4	6.8.	7.2	8.2
5.20	1.26	2.34	3.1	4.12	5.5	6.9.	7.1	8.3

Контрольная работа выполняется с использованием персонального компьютера и стандартных офисных программ на листах бумаги формата А4 (поля: левое 3 см; верхнее, нижнее по 2 см; правое 1,5 см), текст набирается только с одной стороны листа. Образец титульного листа представлен в приложении П1. При невозможности выполнения контрольной работы с использованием компьютера разрешается выполнить контрольную работу в тетради.

В начале контрольной работы приводится сводка №№ решаемых задач и теоретического вопроса, выбранных в соответствии с вариантом задания.

Вар.	№№ задач и теоретического вопроса							
	1	2	3	4	5	6	7	8
х.хх	1.хх	2.хх	3.хх	4.хх	5.хх	6.хх	7.хх	8.хх

Решение задач и ответ на теоретический вопрос должны содержать необходимые пояснения, схемы и расчеты. Текстовая часть работы выполняется с соблюдением норм русского языка. При выполнении контрольной работы необходимо использовать не только данное учебное пособие, но и другую учебную и справочную литературу, приведенную в списке рекомендуемой литературы. ***В конце контрольной работы приводится список использованной литературы.*** Материалы из Интернета допускается использовать лишь в случае, если аналогичная информация отсутствует в рекомендуемой литературе.

Задача №1.**Тема: Кристаллизация, состав сплавов**

- 1.1. Рудой при производстве циркония является минерал циркон (ZrSiO_4). Определите массовую долю циркония в цирконе. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.2. Ферритные чугуны содержат углерод в свободном виде (графит). Определите объемную долю включений графита в ферритном чугуне, если массовая доля основных компонентов составляет: $x_{\text{Fe}}=96,7\%$, $x_{\text{Gr}}=3,3\%$. При решении используйте данные таблиц 3, 4, 5.
- 1.3. Бронзографиты представляют собой антифрикционный пористый композиционный материал для работы в условиях граничного трения. Определите объемную долю графита в бронзографите БрОГр10-3, если массовая доля основных компонентов составляет: $x_{\text{Cu}}=87\%$, $x_{\text{Sn}}=10\%$, $x_{\text{Gr}}=3\%$. При решении используйте данные таблиц 3, 4, 5.
- 1.4. Апатитовые руды содержат до 20% фосфорного ангидрида P_2O_5 . Определите массовую долю фосфора в апатитовой руде. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.5. Железная руда содержит железо в виде окислов FeO (вюстит), Fe_3O_4 (магнетит) и Fe_2O_3 (гематит). Сравните массовую долю железа в его окислах. Какой из компонентов железной руды наиболее богат железом? При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.6. Медные руды состоят из соединений меди с кислородом и серой. Сравните массовую долю меди в соединениях меди CuO и CuS . При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.7. Бокситы являются сырьём для получения алюминия и содержат до 70% корунда Al_2O_3 . Определите массовую долю алюминия в бокситах. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.8. Цементит Fe_3C является фазой заэвтектидных сталей и чугунов. Определите массовую долю железа в цементите. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.9. Упрочняющей фазой вольфрамо-кобальтовых твердых сплавов является карбид вольфрама WC . Определите массовую долю углерода в сплавах ВК 20 и ВК 3, если массовая доля компонентов сплавов составляет: ВК 20 $\rightarrow$ $\text{Co} = 20\%$, $\text{WC} = 80\%$; ВК 3 $\rightarrow$ $\text{Co} = 3\%$, $\text{WC} = 97\%$. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.10. Упрочняющими фазами вольфрамо-титано-кобальтовых твердых сплавов являются карбиды вольфрама WC и титана TiC . Определите массовую долю углерода в сплаве Т15К6, если массовая доля компонентов сплава составляет: $\text{Co} = 6\%$, $\text{TiC} = 15\%$, $\text{WC} = 79\%$. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.11. Сырьём для получения магнезита служат минералы брусит Mg(OH)_2 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$ и др. Определите содержа-

- ние магния: в брусите. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.12. Сырьём для получения магния служат минералы брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$, магнезит MgCO_3 , доломит $\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$ и др. Определите содержание магния: в магнезите. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.13. Рудами при производстве цинка являются цинковая обманка (ZnS) и смитсонит (ZnCO_3). Определите массовую долю цинка в минералах: в цинковой обманке. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.14. Рудами при производстве цинка являются цинковая обманка (ZnS) и смитсонит (ZnCO_3). Определите массовую долю цинка в минералах: в смитсоните. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.15. При производстве титана в качестве руды используются минералы: ильменит (FeTiO_3), рутил (TiO_2) и титанит (CaTiSiO_5). Определите массовую долю титана в минералах: в ильмените. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.16. Применяемый для легирования стали феррохром получают в дуговых электропечах непосредственно из хромита (FeCrO_4). Определите массовую долю хрома в хромите. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.17. Сырьём для получения феррохрома служат хромовые руды с содержанием окиси хрома (Cr_2O_3) порядка 55%. Определите массовую долю хрома в хромовых рудах. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.18. Ниобий получают восстановлением из пятиокиси ниобия (Nb_2O_5). Определите массовую долю ниобия в Nb_2O_5 . При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.19. Двуокись кремния SiO_2 в природе встречается в виде кварца, одного из самых распространенных минералов земной коры. Кварц служит сырьём для получения ферросилиция. Определите массовую долю кремния в кварце. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.20. При производстве титана в качестве руды используются минералы: ильменит (FeTiO_3), рутил (TiO_2) и титанит (CaTiSiO_5). Определите массовую долю титана в минералах: в рутиле. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.21. При производстве титана в качестве руды используются минералы: ильменит (FeTiO_3), рутил (TiO_2) и титанит (CaTiSiO_5). Определите массовую долю титана в минералах: в титаните. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.22. Главным минералом молибденовых руд является молибденит (молибденовый блеск), являющийся сульфидом молибдена MoS_2 . Определите массовую долю молибдена в молибдените. При решении используйте данные таблицы 3.
 - 1.23. Основными минералами вольфрамовых руд являются вольфрамит ($\text{FeMn})\text{WO}_4$ и шеелит CaWO_4 . Определите массовую долю вольфрама: в вольфрамите. При решении используйте данные таблицы 3.

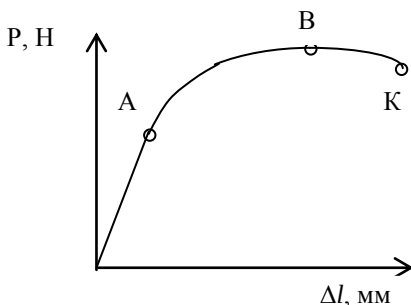
- 1.24. Основными минералами вольфрамовых руд являются вольфрамит $(\text{FeMn})\text{WO}_4$ и шеелит CaWO_4 . Определите массовую долю вольфрама: в шеелите. При решении используйте данные таблицы 3.
- 1.25. Главным минералом ванадиевых руд является ванадит, содержащий 19% пятиоксида ванадия V_2O_5 . Определите массовую долю ванадия в ванадите. При решении используйте данные таблицы 3.

Задача №2.

Тема: Пластическая деформация, механические свойства сплавов

- 2.1. Два сплава имеют равную прочность на различную пластичность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация». При решении используйте данные таблицы 6.
- 2.2. Два сплава имеют равную пластичность на различную прочность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация». При решении используйте данные таблицы 6.

2.3.-
2.6.



На рисунке показана диаграмма растяжения стального образца. Диаметр рабочей части d_0 . Усилия на образце в точках А и В диаграммы растяжения P_A , P_B , соответственно. Определите предел прочности и предел текучести металла образца. При решении используйте данные таблицы 6.

№ задачи	d_0 , мм	P_A , Н	P_B , Н
2.3.	5	4800	8100
2.4.	6	7000	12000
2.5.	8	13000	21000
2.6.	10	20000	33000

- 2.7.-
2.10. На рисунке к задаче № 2.3 показана диаграмма растяжения стального образца. Диаметр рабочей части d_0 . Усилие на образце в точке К диаграммы растяжения равно P_K . Относительное сужение металла образца ψ . Определите истинное сопротивление разрыву металла образца.

При решении используйте данные таблицы 6.

№ задачи	d_0 , мм	P_K , Н	ψ , %
2.7.	5	8100	51
2.8.	6	13500	46
2.9.	8	26000	40
2.10.	10	44000	34

- 2.11.- 2.14.** Проводилось испытание образцов на растяжение. Длина рабочей части образца до и после испытания l_0 , l_K , соответственно. Определите относительное удлинение металла образца. При решении используйте данные таблицы 6.

№ задачи	l_0 , мм	l_K , мм
2.11.	25	31,3
2.12.	30	37,5
2.13.	40	50
2.14.	50	62,5

- 2.15.- 2.18.** Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания d_0 , d_K , соответственно. Определите относительное сужение металла образца. При решении используйте данные таблицы 6.

№ задачи	d_0 , мм	d_K , мм
2.15.	5	3,4
2.16.	6	4,0
2.17.	8	5,4
2.18.	10	6,7

- 2.19.- 2.21.** Проводится определение твердости по Бринеллю образцов толщиной **s** из отожженной стали. Выберите оборудование и условия испытания (диаметр индентора и нагрузку) для данных образцов. **№ 2.19)** **s** = 9 мм; **№ 2.20)** **s** = 2,5 мм; **№ 2.21)** **s** = 1,5 мм. При решении используйте данные таблицы 6.
- 2.22.- 2.24.** Проводится определение твердости по Роквеллу образцов. Выберите оборудование и условия испытания (вид индентора, суммарная нагрузка) для определения твердости данных образцов. **№ 2.22)** цветной сплав – дуралюмин; **№ 2.23)** закаленная сталь; **№ 2.24)** твердосплавная пластина для армирования режущего инструмента. При решении используйте данные таблицы 6.
- 2.25.- 2.27.** Проводится определение твердости по Бринеллю образцов толщиной **s** из алюминиевого антифрикционного сплава. Выберите оборудование и условия испытания (диаметр индентора и нагрузку) данных образцов. **№2.25)** **s** = 9 мм; **№2.26)** **s** = 4 мм; **№2.27)** **s** = 1,5 мм. При решении используйте данные таблицы 6.

- 2.28.-** Как определить твердость образцов толщиной **s** из чугуна (оборудование, условия испытания)? **№ 2.28)** **s** = 10 мм; **№2.29)** **s** = 2,5 мм; **№2.30)** **s** = 1,5 мм. При решении используйте данные таблицы 6.
- 2.31.-** Определяли твердость четырех материалов. При этом использовали методы Бринелля и Роквелла. Расположите материалы в ряд по убыванию твердости: **№ 2.31)** 1 – HB 300, 2 – HRA 60, 3 – HRC 30, 4 – HRB 60; **№2.32)** 1 – HB 400, 2 – HRA 70, 3 – HRC 40, 4 – HRB 80; **№2.33)** 1 – HB 450, 2 – HRA 80, 3 – HRC 60, 4 – HRB 100. При решении используйте данные таблицы 7.
- 2.34.** Ударная вязкость сплава А определена на образцах с U-образным надрезом (образец типа 1 по ГОСТ 9454). Ударная вязкость сплава Б определена на образцах с V-образным надрезом (образец типа 11 по ГОСТ 9454). Установлено, что ударная вязкость сплавов А и Б близка друг другу. Что можно сказать о надежности сплавов? При решении используйте данные таблицы 6.
- 2.35.-** Проводилось определение ударной вязкости стальных образцов разных типов с U-образным надрезом. Вычислить значение ударной вязкости стали, на основании следующих исходных данных: **№ 2.35)** образец типа 1, результаты испытания $KU_0 = 200$ Дж; $KU_{ост} = 120$ Дж; **№ 2.36)** образец типа 2, результаты испытания $KU_0 = 180$ Дж; $KU_{ост} = 120$ Дж; **№ 2.37)** образец типа 3, результаты испытания $KU_0 = 160$ Дж; $KU_{ост} = 120$ Дж; **№ 2.38)** образец типа 4, результаты испытания $KU_0 = 60$ Дж; $KU_{ост} = 48$ Дж. При решении задачи использовать данные таблиц 6, 8.
- 2.39.-** Проводилось исследование ударной вязкости стали при разной температуре. Определить упрощенным способом значение порога хладноломкости $t_{хл}$ стали по следующим исходным данным (см. таблицу).
- 2.43.**

№ задачи	KCU _{min}	KCU, Дж/см ² , при температуре испытания, град С				
	Дж/см ²	+20	-20	-40	-60	-70
2.39	30	110	68	47	—	10
2.40	35	157	109	86	—	27
2.41	40	73	52	48	37	—
2.42	57	78	71	64	53	—
2.43	41	55	47	45	42	—

При решении задачи использовать данные таблицы 9.

- 2.44.-** Оценить предел прочности отожженной стали, зная её твердость:
- 2.46.** **№2.44)** HB = 175 кгс/мм²; **№ 2.45)** HB = 190 кгс/мм²; **№ 2.51)** HRB = 55; **№ 2.46)** HRB = 60. При решении задачи использовать данные таблицы 10.
- 2.47.-** Оценить предел прочности термообработанной стали, зная её твердость: **№2.47)** HB = 370 кгс/мм²; **№2.48)** HB = 380 кгс/мм²; **№2.49)**

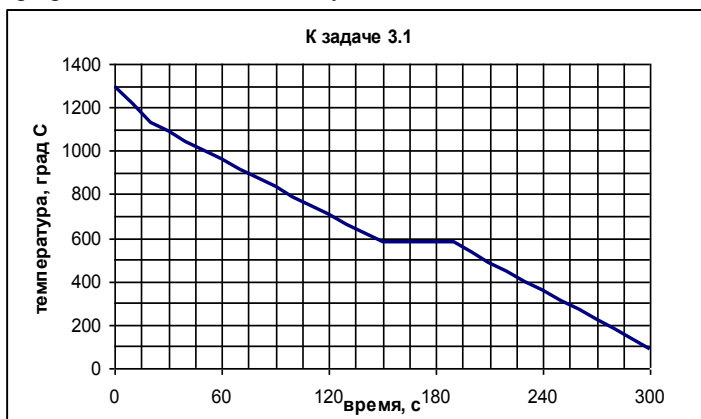
HRC = 54; №2.50) HRC = 60. При решении задачи использовать данные таблицы 10.

- 2.51.- Оценить твёрдость HB или HRB отожженной стали, зная её предел прочности: №2.51) HB, $\sigma_B = 50$ кгс/мм²; №2.52) HB, $\sigma_B = 50$ кгс/мм²; №2.53) HRB, $\sigma_B = 35$ кгс/мм²; №2.54) HRB, $\sigma_B = 45$ кгс/мм². При решении задачи использовать данные таблицы 10.
- 2.55.- Оценить твёрдость HB или HRC термообработанной стали, зная её предел прочности: №2.55) HB, $\sigma_B = 140$ кгс/мм²; №2.56) HB, $\sigma_B = 150$ кгс/мм²; №2.57) HRC, $\sigma_B = 260$ кгс/мм²; №2.58) HRC, $\sigma_B = 300$ кгс/мм². При решении задачи использовать данные таблицы 10.
- 2.59.- Перевести значения твёрдости HRC в значения единой шкалы твёрдости по Роквеллу C₉. №2.59) HRC 25; №2.60) HRC 35; №2.61) HRC 45; №2.62) HRC 55. При решении задачи использовать данные таблицы 11.
- 2.63.- Перевести значения твёрдости HRC в значения единой шкалы твёрдости по Роквеллу C₉. № 2.63) HRC 25; № 2.64) HRC 35; № 2.65) HRC 45; № 2.66) HRC 55. При решении задачи использовать данные таблицы 11.

Задача №3

Тема: Критические точки сплава.
Диаграммы состояния двойных систем

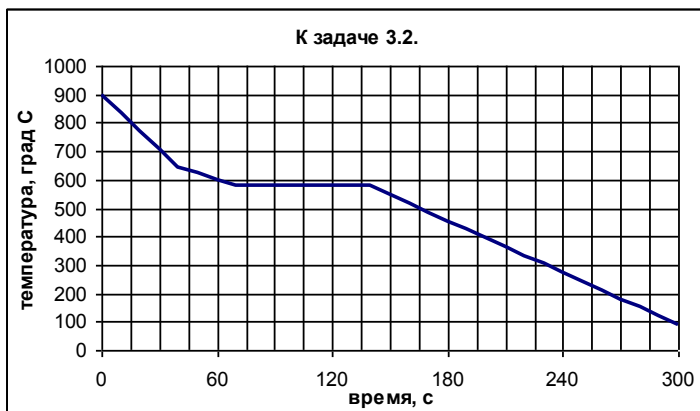
- 3.1. По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}
- При решении задачи используйте данные таблиц 12, 13.



- 3.2. По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая

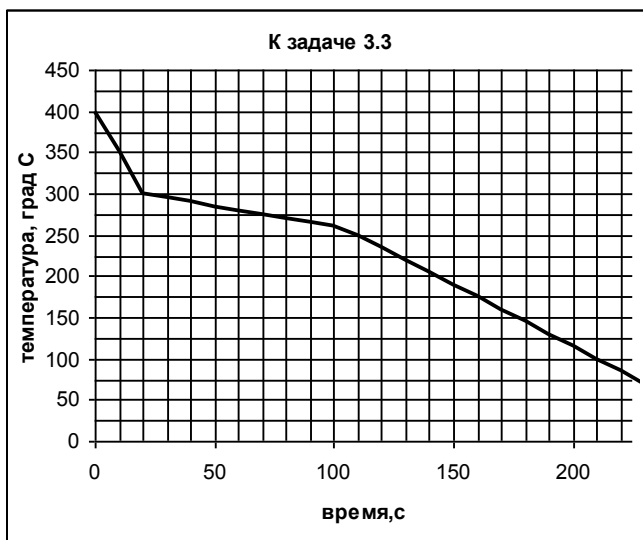
охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

При решении задачи используйте данные таблиц 12, 13.



- 3.3.** По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). Укажите фазовые области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

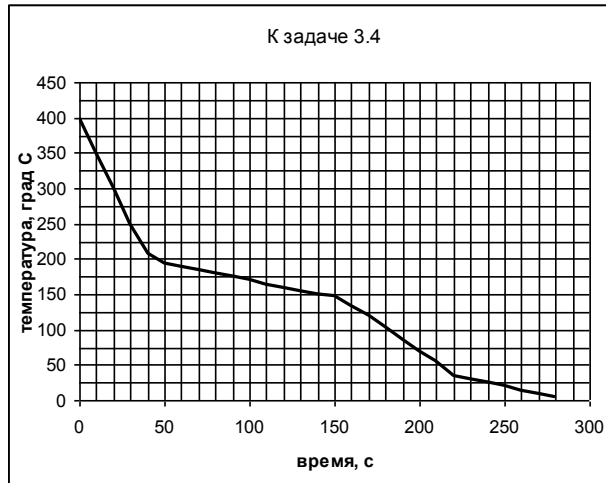
При решении задачи используйте данные таблиц 12, 13.



- 3.4.** По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая

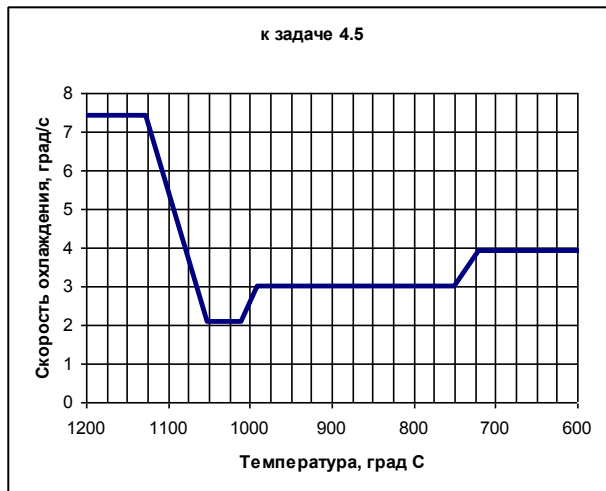
охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

При решении задачи используйте данные таблиц 12, 13.



- 3.5. По термокинетической диаграмме кристаллизации (см. рисунок) определите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой, с вторичной кристаллизацией). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

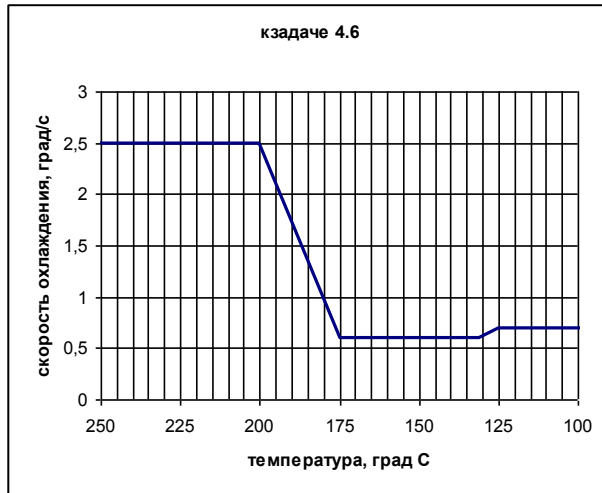
При решении задачи используйте данные таблиц 12, 14.



- 3.6. По термокинетической диаграмме кристаллизации (см. рисунок)

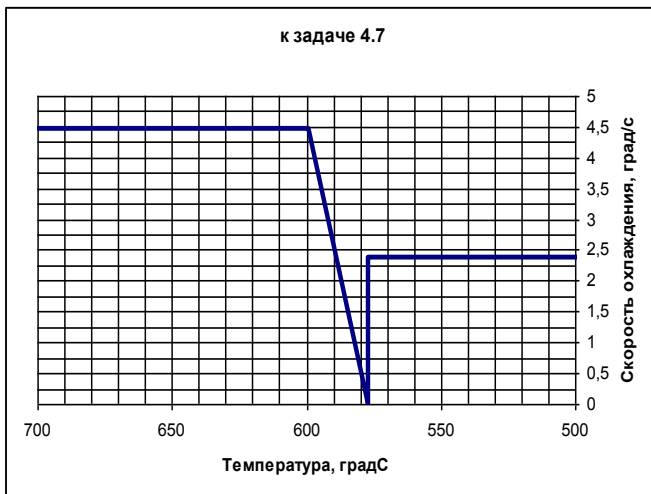
определите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой, с вторичной кристаллизацией). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

При решении задачи используйте данные таблиц 12, 14.



- 3.7. По термокинетической диаграмме кристаллизации (см. рисунок) определите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой, с вторичной кристаллизацией). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

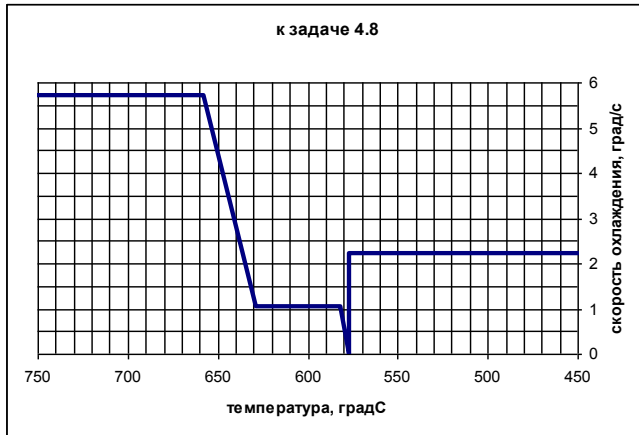
При решении задачи используйте данные таблиц 12, 14.



- 3.8. По термокинетической диаграмме кристаллизации (см. рисунок)

определите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой, с вторичной кристаллизацией). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

При решении задачи используйте данные таблиц 12, 14.



- 3.9.- 3.12.** Дана система Pb–Sb. Выполните фазовый анализ при температуре 350°C сплава, содержащего заданное количество сурьмы. **№3.9)** 30%; **№ 3.10)** 50%; **№ 3.11)** 70%; **№ 3.12)** 90%. При решении используйте данные таблиц 15, 16, 17.
- 3.13.- 3.16.** Дана система Sn–Pb. Выполните фазовый анализ при температуре 200°C сплава, содержащего заданное количество свинца. **№ 3.13)** 10%; **№ 3.14)** 55%; **№ 3.15)** 65%; **№ 3.16)** 75%. При решении используйте данные таблиц 15, 16, 17.
- 3.17.- 3.20.** Дана система Zn–Sn. Выполните фазовый анализ при температуре 250°C сплава, содержащего заданное количество олова. **№ 3.17)** 15%; **№ 3.18)** 35%; **№ 3.19)** 55%; **№ 3.20)** 75%. При решении используйте данные таблиц 15, 16, 17.
- 3.21.- 3.24.** Дана система Al–Si. Выполните фазовый анализ при температуре 700°C сплава, содержащего заданное количество кремния. **№ 3.21)** 30%; **№ 3.22)** 50%; **№3.23)** 70%; **№ 3.24)** 90%. При решении используйте данные таблиц 15, 16, 17.
- 3.25.- 3.28.** Определите состав эвтектики системы: **№ 3.25)** Pb – Sb; **№ 3.26)** Sn – Pb; **№ 3.27)** Zn – Sn; **№ 3.28)** Al – Si. Исходные данные для решения задачи в таблиц 15, 16, 17.
- 3.29.- 3.32.** Дана система Pb–Sb. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество сурьмы. **№ 3.29)** 30%; **№ 3.30)** 50%; **№ 3.31)** 70%; **№ 3.32)** 90%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 17, 18, 19.

- 3.33.- 3.36.** Дана система Sn–Pb. Выполните структурный при комнатной температуре анализ сплава, содержащего заданное количество свинца. № **3.33)** 10%; № **3.34)** 55%; № **3.35)** 65%; № **3.36)** 75%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 17, 18, 19.
- 3.37.- 3.40.** Дана система Zn–Sn.. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество олова. № **3.37)** 15%; № **3.38)** 35%; № **3.39)** 55%; № **3.40)** 75%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 17, 18, 19.
- 3.41.- 3.44.** Дана система Zn–Sn.. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество олова. № **3.41)** 15%; № **3.42)** 35%; № **3.43)** 55%; № **3.44)** 75%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 17, 18, 19.
- 3.45.- 3.48.** Дана система Al–Si.. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество кремния. № **3.45)** 30%; № **3.46)** 50%; № **3.47)** 70%; № **3.48)** 90%. Si=60% . Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 17, 18, 19.
- 3.49.** На микрошлифе образца сплава системы Pb–Sb видно, что 20% площади микрошлифа занимают кристаллы сурьмы, остальное поле – кристаллы эвтектики. Определите содержание компонентов в сплаве данного структурного состава. При решении используйте данные таблиц 17, 18.
- 3.50.** На микрошлифах сплавов системы Zn–Sn обнаружены равные количества светлых и темных зерен (эвтектика). Определите содержание компонентов в доэвтектическом сплаве данного структурного состава. При решении используйте данные таблиц 17, 18.
- 3.51.** Определите состав сплава системы Pb–Sb, если структура его состоит из кристаллов сурьмы и эвтектики примерно поровну. При решении используйте данные таблиц 17, 18.
- 3.52.** На микрошлифах сплавов системы Zn–Sn обнаружены равные количества светлых и темных зерен (эвтектика). Определите содержание компонентов в заэвтектическом сплаве данного структурного состава. При решении используйте данные таблиц 17, 18.
- 3.53.- 3.56.** Для пайки изделий из алюминиевых и магниевых сплавов применяют припой ПОЦ (система Zn–Sn). Определите твердость при комнатной температуре металла паяного шва, содержащего заданное количество олова. № **3.53)** 20%; № **3.54)** 40%; № **3.55)** 60%; № **3.56)** 80%. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 5, 17, 20.
- 3.57.-** Для пайки изделий из алюминиевых и магниевых сплавов применяют

- 3.60.** припои ПОЦ (система Zn–Sn). Определите относительное сужение при комнатной температуре металла паяного шва, содержащего заданное количество олова. № 3.57) 20%; № 3.58) 40%; № 3.59) 60%; № 3.60) 80%. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 5, 17, 20.
- 3.61.** Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припои ПОС (система Sn–Pb). Определите твердость при комнатной температуре металла паяного шва при использовании припоя ПОС 40 (40% Sn). При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 5, 17, 20.
- 3.62.** Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припои ПОС (система Sn–Pb). Определите относительное сужение при комнатной температуре металла паяного шва при использовании припоя ПОС 60 (60% Sn). При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 5, 17, 20.
- 3.63.-** Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припои ПОС (система Sn–Pb). Определите удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре металла паяного шва, содержащего заданное количество олова. № 3.63) 10%; № 3.64) 25%; № 3.65) 40%; № 3.66) 55%; № 3.67) 70%. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 5, 17, 20.

Задача №4

**Тема: Диаграмма состояния «железо-цементит»,
структурно-фазовый анализ железоуглеродистых сплавов**

- 4.1.-** По диаграмме состояния «Fe–Fe₃C» определите критические точки сплава, содержащего углерода: № 4.1) 0,5%; № 4.2) 1,5%; № 4.3) 3%; № 4.4) 5%. Охарактеризуйте фазовые превращения, происходящие в сплаве при его охлаждении из жидкого состояния до комнатной температуры. Как называется сплав данного состава? При решении используйте данные таблиц 21, 22.
- 4.5.-** Определите фазовый состав при эвтектической температуре Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода. №4.5) 2,5%; № 4.6) 3%; № 4.7) 3,5%; № 4.8) 4,3%; № 4.9) 5%; № 4.10) 5,5%; № 4.11) 6%; № 4.12) 6,5%; Как называется сплав данного состава? При решении используйте данные таблиц 21, 23.
- 4.13.-** Сколько углерода при комнатной температуре содержит доэвтектоидный Fe–C сплав, если перлита в нем: № 4.13) 20%; № 4.14) 60%; № 4.15) 80%? При решении используйте данные таблиц 21, 23, 27.
- 4.16.-** Сколько углерода при комнатной температуре содержит заэвтектоидный Fe–C сплав, если перлита в нем: № 4.16) 90%; № 4.17) 85%; № 4.18) 80%.

- 4.18)** 80%? При решении используйте данные таблиц 21, 23, 27.
- 4.19.-** Определите твёрдость по Бринеллю доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№4.19)** 0,15%; **№ 4.20)** 0,3%; **№ 4.21)** 0,45%; **№ 4.22)** 0,6%; **№ 4.23)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.24.-** Определите предел прочности доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№ 4.24)** 0,15%; **№ 4.25)** 0,3%; **№ 4.26)** 0,45%; **№ 4.27)** 0,6%; **№ 4.28)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.29.-** Определите относительное удлинение доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№4.29)** 0,15%; **№ 4.30)** 0,3%; **№ 4.31)** 0,45%; **№ 4.32)** 0,6%; **№ 4.33)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.34.-** Определите относительное сужение доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№4.34)** 0,15%; **№ 4.35)** 0,3%; **№ 4.36)** 0,45%; **№ 4.37)** 0,6%; **№ 4.38)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.39.-** Определите твёрдость по Бринеллю доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 4.39)** 10%; **№ 4.40)** 25%; **№ 4.41)** 50%; **№ 4.42)** 75%; **№ 4.43)** 90%. При решении используйте данные таблиц 21, 23, 28.
- 4.44.-** Определите предел прочности доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 4.44)** 10%; **№ 4.45)** 25%; **№ 4.46)** 50%; **№ 4.47)** 75%; **№ 4.48)** 90%. При решении используйте данные таблиц 21, 23, 28.
- 4.49.-** Определите относительное удлинение доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 4.49)** 10%; **№ 4.50)** 25%; **№ 4.51)** 50%; **№ 4.52)** 75%; **№ 4.53)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6, 2.3.7.
- 4.54.-** Определите относительное сужение доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 4.54)** 10%; **№ 4.55)** 25%; **№ 4.56)** 50%; **№ 4.57)** 75%; **№ 4.58)** 90%. При решении используйте данные таблиц 21, 23, 28.
- 4.59.-** Определение содержание углерода в доэвтектоидном Fe–C сплаве, имеющем заданную твёрдость HB МПа. **№ 4.59)** 1000; **№ 4.60)** 1200; **№ 4.61)** 1400; **№ 4.63)** 1600; **№ 4.63)** 1800. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.64.-** Определение содержание углерода в доэвтектоидном Fe–C сплаве, имеющем заданный предел прочности σ_B МПа. **№ 4.64)** 300; **№ 4.65)** 500; **№ 4.66)** 650; **№ 4.67)** 700; **№ 4.68)** 800. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.69.-** Определение содержание углерода в доэвтектоидном Fe–C сплаве, имеющем заданное относительное удлинение δ %. **№ 4.69)** 45; **№**

- 4.70)** 35; **№ 4.71)** 30; **№ 4.72)** 25; **№ 4.73)** 20. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.
- 4.74.-** Определение содержания углерода в доэвтектоидном Fe–C сплавe, имеющем заданное относительное сужение ψ %. **№ 4.74)** 60; **№ 4.75)** 50; **№ 4.76)** 45; **№ 4.77)** 35; **№ 4.78)** 30. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 21, 28.

Задача №5.

Тема: Термическая и химико-термическая обработка сплавов

- 5.1.-** Пружина изготовлена из стальной проволоки (сталь марки 60). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки пружины, если диаметр проволоки равен: **№ 5.1)** 5 мм; **№ 5.2)** 8 мм; **№ 5.3)** 10 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 30.
- 5.4.-** Пружина изготовлена из стальной проволоки (сталь марки У10). **5.6.** Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки пружины, если диаметр проволоки равен: **№ 5.4)** 6 мм; **№ 5.5)** 9 мм; **№ 5.6)** 12 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 30.
- 5.7.-** Сверло изготовлено из стального прутка (сталь марки У12). **5.9.** Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки сверла, если диаметр сверла равен: **№ 5.7)** 8 мм; **№ 5.8)** 10 мм; **№ 5.9)** 12 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 30.
- 5.10.-** Вал изготовлен из стального проката (сталь марки 45). **5.12.** Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки вала, если диаметр вала равен: **№ 5.10)** 15 мм; **№ 5.11)** 20 мм; **№ 5.12)** 25 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 30.
- 5.13.** Разработать технологию термической обработки измерительного инструмента высокой точности из стали марки X. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.14.** Разработать технологию термической обработки метчиков из стали марки Р6М5. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.15.** Разработать технологию термической обработки разверток из стали марки Р9М4К8. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 31.

- 5.16. Разработать технологию термической обработки штампа для холодного деформирования из стали марки Х12М. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.17. Разработать технологию термической обработки штампа для горячего деформирования из стали марки 5ХНМ. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.18. Разработать технологию термической обработки пуансона сложной формы для холодной прошивки фигурных отверстий в листовом материале. Материал пуансона – сталь марки ХВГ. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.19. Разработать технологию термической обработки калибра высокой точности. Материал калибра – сталь марки ХГ. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.20. Разработать технологию термической обработки измерительной скобы. Материал скобы – сталь марки 15Х. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.21. Разработать технологию термической обработки плунжеров поршневого насоса. Материал плунжера – сталь марки ШХ15. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.22. Разработать технологию термической обработки пружины, для работы в коррозионной среде. Материал пружины – сталь марки 40Х13. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.
- 5.23. Разработать технологию термической обработки лопаток газовой турбины. Материал лопаток – никелевый сплав марки ХН77ТЮР. Поясните назначение отдельных операций обработки.
- 5.24. Разработать технологию термической обработки дисков газовой турбины. Материал дисков – железоникелевый сплав марки ХН35ВТ. Поясните назначение отдельных операций обработки.
- 5.25. Разработать технологию термической обработки деталей котельной установки из стали марки 40Х9С2 (силхром). Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.26.-
5.29. Разработать технологию термической обработки изделий из алюминиевых сплавов марок: № 5.26) Д16 (дуралюмин); № 5.27) АК6 (ковочный); № 5.28) В95 (высокопрочный); № 5.29) АВ (авиаль). Поясните назначение отдельных операций термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.30. Разработать технологию термической обработки изделий из бронзы марки БрБ2. Поясните назначение отдельных операций термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.31.-
5.32. Разработать технологию термической обработки изделий из магниевых сплавов марок: № 5.31) МА11; № 5.32) МЛ15. Поясните цель

- проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.33.** Разработать технологию термической обработки изделий из титанового сплава марки ВТ5. Поясните цель проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.34.** Разработать технологию термической обработки изделий из титанового сплава марки ВТ9. Поясните цель проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.35.** Разработать технологию упрочняющей обработки изделий из титанового сплава для повышения износостойкости их поверхности. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.36.** Поршневые пальцы двигателя внутреннего сгорания работают в условиях динамического нагружения и интенсивного изнашивания поверхности изготовлены из стали 20. Предложите рациональную технологию упрочняющей обработки поршневых пальцев. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.37.** Шнек экструдера для переработки полиэтилена изготовлен из стали марки 38Х2МЮА (нитраллой). Разработать рациональную технологию упрочняющей обработки шнека экструдера. При решении используйте данные таблиц 29, 31.
- 5.38.-** Выбрать марку стали с минимальным содержанием углерода, обеспечивающую после закалки поверхностную твердость изделия на уровне: **№ 5.38)** HRC 40; **№ 5.39)** HRC 50; **5.40)** HRC 60. При решении используйте данные таблиц 31, 33.
- 5.41.-** Какую максимальную твердость после закалки может иметь изделие из стали марки: **№ 5.41)** У7; **№ 5.42)** У8) **№. 5.43)** У10? При решении используйте данные таблиц 31, 33.
- 5.43.**
- 5.44.-** Определите критический диаметр вала, изготовленного из стали марок, если характеристическое расстояние $X_{\text{ПМ}}$ равно: **№ 5.44)** 40, $X_{\text{ПМ}}=4\text{мм}$; **№ 5.45)** 50, $X_{\text{ПМ}}=3\text{мм}$; **№ 5.46)** 40Х, $X_{\text{ПМ}}=11\text{мм}$; **№ 5.47)** 50Х, $X_{\text{ПМ}}=11\text{мм}$; **№ 5.48)** 50Г, $X_{\text{ПМ}}=6\text{мм}$; **№ 5.49)** 40Х2Н2МА, $X_{\text{ПМ}}=32\text{мм}$; **№ 5.50)** 50ХН, $X_{\text{ПМ}}=30\text{мм}$. При решении используйте данные таблиц 34–36.
- 5.51.-** Подберите марку улучшаемой стали для изготовления вала, обеспечивающую ему сквозную прокаливаемость, если диаметр вала равен: **№ 5.51)** 20 мм; **№ 5.52)** 50 мм; **№ 5.53)** 80 мм. При выборе марки рассмотрите стали, представленные в таблице 35. При решении используйте также данные таблиц 31, 34–36.
- 5.53.**

Задача №6.**Тема: Маркировка, применение конструкционных и инструментальных сплавов**

1. Опираясь на марочное обозначение, расшифруйте 11 марок сплавов согласно выбранному варианту.

2. Определите химический состав сплавов.

3. Опишите примерную область использования каждого сплава и его основные технологические свойства (температурный интервал горячей обработки давлением, обрабатываемость резанием, свариваемость, прокаливаемость, жидкотекучесть и др.), существенные для данного сплава.

3. Поясните, чем обусловлено основное эксплуатационное свойство каждого сплава (прочность, хладостойкость, коррозионная стойкость, красностойкость, теплостойкость, жаропрочность, жаростойкость и др.).

При решении задачи аргументируйте свою точку зрения, ориентируясь на химический состав сплава и функциональную группу (конструкционные, инструментальные, специальные), к которой они относятся. При решении используйте данные таблиц 37-42.

Вариант	Марки сплавов			
	1-3	4-6	7-9	10-11
6.1.	Ст 3сп	15К	35Х	18Г2АФпс
	35	20Х13	35ХГСЛ	60С2Н2А
	У7	ВЧ40	9ХФ	
6.2.	Ст3Гпс	16К	15Х	09Г2
	40	40Х13	20ГЛ	65
	У8	ВЧ35 (Ф)	13Х12Х1	
6.3.	Ст4пс	18К	15ХА	10Г2БД
	08кп	65Х13	09Х17Н3СЛ	70
	У7А	СЧ15 (Ф)	9ХВГ	
6.4.	Ст 5сп	20К	30Х	14Г2
	20	14Х17Н2	12ДХН1МФЛ	50ХФА
	У8А	СЧ18	9Г2Ф	
6.5.	Ст 6 сп	22К	20Х	12ГС
	10	03Х23Н6	20Х13Л	75
	У9	СЧ25 (Ф+П)	8Х6НФТ	
6.6.	Ст 3 кп	12К	40Х	17Г1С
	35	12Х18Н10Т	20Х5МЛ	55ХГР
	У9А	ВЧ70	7Х3	
6.7.	Ст1пс	15К	45Х	09Г2С
	45	40Х9С2	40Х9С2Л	50ХГ
	У10	ВЧ80 (П)	5ХНМ	

Вариант	Марки сплавов			
	1-3	4-6	7-9	10-11
6.8.	Ст2кп	16К	50Х	10Г2С1
	10пс	40Х10С2М	35Х23Н7СЛ	60С2Г
	У10А	ВЧ35 (Ф)	5ХНВ	
6.9.	Ст1сп	15К	30ХГС-Ш	10ХСНДП
	20кп	12Х18Н10Т	55Х18Г14С2ТЛ	80
	У11	ВЧ40	4ХС	
6.10.	Ст2пс	20К	15Г	14ХГС
	35	20Х23Н18	20Х12ВНМФЛ	85
	У11А	КЧ65-3	3Х3М3Ф	
6.11.	Ст2сп	09Г2С	20Г	15Г2СФД
	45	12Х18Н10Т	35Х18Н24С2Л	60Г
	У12	ВЧ50	ХВ4Ф	
6.12.	Ст0	16ГС	20ХГР	15ХСНД
	20	20Х23Н18	20Х21Н46В8РЛ	70Г
	У12А	ВЧ60 (Ф+П)	Х	
6.13.	Ст1пс	10Г2С1	40ХН	16Г2АФ
	25	03Х23Н6	15Л	60С3А
	У13		ХВГ	
6.14.	Ст 3сп	17ГС	38Х2Н2МА	15Г2АФДпс
	08пс	20Х13Н4Г9	20Л	55С2
	У13А	СЧ18	Х12	
6.15.	Ст3Гпс	17Г1С	38Х2МЮА	10ХСНД
	30	12Х17Г9АН4	25Л	55С2А
	У7	КЧ60-3	Р9К5	
6.16.	Ст4пс	14ХГС	50ХН	18Г2АФпс
	05кп	10Х14Г14Н4Т	30Л	60С2
	У7А	СЧ10	Р6М5Ф3	
6.17.	Ст 3сп	20К	40ХФА	09Г2
	35	06ХН28МДТ	50Л	60С2А
	У8	СЧ15 (Ф)	Р6М5К5	
6.18.	Ст0	12ХМ	20ХГСА	10Г2БД
	40	65Х13	35Л	ШХ4
	У8А	СЧ18	Р12Ф3	
6.19.	Ст3Гпс	10Х2М	25ХГСА	14Г2
	45	14Х17Н2	40Л	ШХ15
	У9	КЧ55-4	Р2АМ9К5	
6.20.	Ст 5сп	12Х1МФ	40ХС	12ГС
	50	10Х14Г14Н4Т	45Л	ШХ15-Ш
	У9А	КЧ70-2	Р18К5Ф2	

Вари- ант	Марки сплавов			
	1-3	4-6	7-9	10-11
6.21.	Ст 3 кп	12К	20Г	17Г1С
	55	10Х17Н13М2Т	03Н12 5М3ТЮЛ	ШХ15СГ-Ш
	У10	СЧ30	Р9М4К8	
6.22.	Ст1пс	15К	40Г	10ХСНДП
	60	40Х15Н7Г7Ф2МС	20ГЛ	ШХ20СГ
	У10А	КЧ30-6	Р9	
6.23.	Ст 6 сп	16К	30ХГС-Ш	14ХГС
	08кп	08Х17Н13М2Т	45ФЛ	ШХ15СГ
	У11	КЧ33-8	Р6М5	
6.24.	Ст2сп	20К	35Х	15Г2СФД
	08пс	20Х23Н18	35ХГСЛ,45ФЛ	ШХ9
	У11А	КЧ35-10	Р12Ф3	
6.25.	Ст 6 пс	22К	40Х	15ХСНД
	08	20Х23Н18	12ДХН1МФЛ	ШХ12
	У12	СЧ35 (П)	Р6М5Ф3	
6.26.	Ст 5сп	18К	30ХГС-Ш	16Г2АФ
	10	15Х25Т	09Х17Н3СЛ	ШХ15СГ
	У12А	СЧ20	Р18К5Ф2	
6.27.	Ст 5 пс	09Г2С	35ХГСА	18Г2АФпс
	10кп	12Х17	30Х3С3ГМЛ	ШХ15
	У13	ВЧ100 (Б)	Р9К5	
6.28.	Ст4сп	16ГС	30ХГСА	09Г2
	10пс	95Х18	12Х18Р9ТЛ	70
	У13А	СЧ18	Р6М5К5	
6.29.	Ст0	25Х1МФ	30ХГС	10Г2БД
	20кп	08Х17Т1	20ГЛ	75
	У7	КЧ55-5	Р9М4К8	
6.30.	Ст1сп	20Х1М1Ф1Б1	25ХГМ	14Г2
	20пс	12Х17	12ДХН1МФЛ	
	У7А	СЧ35 (П)	Р2АМ9К5	
6.31.	Ст2кп	12Х1МФ	30ХГТ	12ГС
	20	12Х18Н9Т	20Х13Л	55С2А
	У8	КЧ45-7	Р9	
6.32.	Ст2кп	12ХМ	40ХН	17Г1С
	25	08Х18Н10	09Х17Н3СЛ	55С2
	У8А	КЧ37-12	Р9	
6.33.	Ст3кп	25Х2М1Ф	20ХГР	09Г2С
	30	10Х14АГ15	12Х18Р9ТЛ	70Г

Вариант	Марки сплавов			
	1-3	4-6	7-9	10-11
	У9	СЧ35 (П)	Р6М5	
6.34.	Ст 3сп	18Х3МВ	50Г	10Г2С1
	35	14Х17Н2	15Х25ТЛ	60Г
	У9А	СЧ10	Р18	
6.35.	Ст4пс	20Х3МВФ	30ХГС-Ш	10ХСНДП
	40	12Х18Н10Т	35ХГСЛ	85
	У10	ВЧ50	Р18	
6.36.	Ст4сп	15Х5	45Г	14ХГС
	45	12Х13	30Х3С3ГМЛ	80
	У10А	ВЧ70	Р9	
6.37.	Ст5сп	15Х5М	40Г	15Г2СФД
	50	08Х13	50Л	75
	У11	ВЧ80 (П)	Р9М4К8	
6.38.	Ст5 пс	12Х8ВФ	38Х2МЮА	15ХСНД
	55	40Х10С2М	35Л	70
	У11А	ВЧ100 (Б)	Р6М5	
6.39.	Ст6сп	15Х5ВФ	30Г	16Г2АФ
	60	12Х18Н10Т	20Л	65
	У12	КЧ60-3	Р2АМ9К5	
6.40.	Ст6 пс	20Х1М1Ф1ТР	25Г	15Г2АФДпс
	05кп	20Х23Н18	45ФЛ	ШХ15СГ
	У12А	КЧ70-2	Р18	

Задача №7.

Тема: Маркировка, применение цветных сплавов (специальных сплавов)

1. Опираясь на марочное обозначение, расшифруйте 6 марок сплавов согласно выбранному варианту.

2. Определите химический состав сплавов.

3. Опишите примерную область использования каждого сплава и его основные технологические свойства (температурный интервал горячей обработки давлением, обрабатываемость резанием, свариваемость, прокаливаемость, жидкотекучесть и др.), существенные для данного сплава.

3. Поясните, чем обусловлено основное эксплуатационное свойство каждого сплава (прочность, хладостойкость, коррозионная стойкость, красностойкость, теплостойкость, жаропрочность, жаростойкость и др.).

При решении задачи аргументируйте свою точку зрения, ориентируясь на химический состав сплава и функциональную группу (конструкционные,

инструментальные, специальные), к которой они относятся. При решении используйте данные таблиц 48-51.

Вариант	Марки сплавов		
	1-2	3-4	5-6
7.1.	АМц	ЛЦ40С	ВТ5
	Б88	БрОФ6,5-0,15	ПМЦ54
7.2.	АМцС	ЛЦ38Мц2С2	ВТ5-1
	Б83	БрОЦ4-4-2,5	ПСр 72
7.3.	Д12	ЛЦ30А3	ОТ4-1
	Б83С	Бр0Ф6,5-0,4	ПСр 62
7.4.	АД31	ЛЦ23А6Ж3Мц2	ОТ4
	Б16	БрОФ2-0,25	ПСр 50
7.5.	АД31Е	ЛЦ16К4	ВТ20
	БН	БрОЦ4-3	ПСрМЦН 55-31-12-2
7.6.	АД33	ЛЦ14К3С3	ВТ6
	БС6	БрОФ4-0,25	ПСрМц 85-15
7.7.	АД35	Л90	ВТ14
	Б88	БрНХК2,5-0,7-0,6	ПСрМНМц 65-28-2-5
7.8.	АВ	Л68	ВТ16
	Б83	БрА5	ПМЦ36
7.9.	Д1	Л63	ВТ22
	Б16	БрА7	ПОС 61
7.10.	Д16	ЛК80-3	ВТ5Л
	БН	БрАМц9-2	ПОЦ-90
7.11.	Д18	Л60	ВТ3-1Л
	БС6	БрАМц10-2	10895
7.12.	Д19	ЛА77-2	ВТ14Л
	Б88	БрАЖ9-4	20895
7.13.	Д21	ЛАН59-3-2	ВТ20Л
	Б83	БрАЖН10-4-4	10864
7.14.	Д20	ЛН65-5	ВТ1-00
	Б83С	БрБ2	20864
7.15.	ВД17	ЛЦ40С	ВТ22
	Б88	БрБНТ1,9Мг	3311
7.16.	1915	ЛЦ38Мц2С2	ОТ4-1
	Б83	БрБКМц3-1	3411
7.17.	1925	ЛЦ30А3	ОТ4
	Б83С	БрНХК2,5-0,7-0,6	3412
7.18.	В65	ЛЦ23А6Ж3Мц2	ВТ20
	Б16	БрХЦр	3413

Вари- ант	Марки сплавов		
	1-2	3-4	5-6
7.19.	B95	ЛЦ16К4	BT5-1
	БН	БрХ1	10895
7.20.	B93	ЛЦ14К3С3	BT5
	БС6	БрМг0,3	20895
7.21.	B95-1	Л90	BT20Л
	Б16	БрКд1	10864
7.22.	B95-2	Л68	BT14Л
	Б83	БрАЖНМц9-4-4-1	20864
7.23.	AK4	Л63	BT3-1Л
	БС6	БрМц5	10848
7.24.	B65	ЛА77-2	BT5Л
	Б83С	БрКН1-3	20848
7.25.	AK4-1	Л90	BT9
	BK10	БрХ1	3405
7.26.	1105	Л68	BT14
	BK8	БрО3Ц7С5Н1	2411
7.27.	AK6	Л63	BT20
	BK6	БрО3Ц12С5	3406
7.28.	AMr1	ЛК80-3	BT22
	BK4	БрО4С17	2431
7.29.	AMr2	Л60	BT5
	BK3	БрО5Ц5С5	3407
7.30.	AMr3	ЛА77-2	BT5-1
	МНМц3-12	БрО10Ц2	ПМЦ48
7.31.	АДоч (0,02)	ЛЦ16К4	OT4-1
	МНМцАЖ3-12-0,3-0,3	БрО10Ф1	ПМЦ36
7.32.	АД000 (0,2)	ЛЦ40С	OT4
	МНМц40-1,5	БрА9Мц2Л	ПОЦ-40
7.33.	АД00 (0,3)	ЛЦ38Мц2С2	BT20
	МНМц43-0,5	БрА10Мц2Л	ПОЦ-60
7.34.	АД0 (0,5)	ЛЦ30А3	BT6
	МГ3	БрА9Ж3Л	ПОЦ-70
7.35.	М006 (0,01)	ЛЦ23А6Ж3Мц2	BT14
	МГ5	БрО3Ц12С5	ПОЦ-90
7.36.	М06 (0,03)	ЛЦ16К4	BT6
	СГ3	БрСу3Н3Ц3С20Ф	ПОССу 61-0,5
7.37.	М1 (0,1)	ЛЦ14К3С3	BT6с
	СГ5	БрА10Ж3Мц2Л	ПОС 10

Вариант	Марки сплавов		
	1-2	3-4	5-6
7.38.	M2 (0,3)	Л90	ВТ8
	EX3	БрС30	ПОС 40
7.39.	M3 (0,5)	ЛАН59-3-2	ВТ9
	EX5K5	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2	ПОС 61
7.40.	M1 (0,1)	ЛН65-5	ВТ1-0
	EX9K15M2	БрА9Ж4Н4Мц1	ПОС 90

8. Теоретический вопрос

Тема: «Технология конструкционных материалов»

- 8.1. Производство чугуна. [1] (с. 32-42), [2].
- 8.2. Производство стали. [1] (с. 42-68), [2].
- 8.3. Производство меди. [1] (с. 68-71), [2].
- 8.4. Производство алюминия. [1] (с. 71-75), [2].
- 8.5. Производство магния. [1] (с. 75-77), [2].
- 8.6. Производство титана. [1] (с. 77-80), [2].
- 8.7. Изготовление отливок в песчаных формах. [1] (с. 59-179), [2].
- 8.8. Центробежное литье. [1] (с. 189-191), [2].
- 8.9. Изготовление отливок в кокилях. [1] (с. 183-187), [2].
- 8.10. Литье по выплавляемым моделям. [1] (с. 181-183), [2].
- 8.11. Оборудование и инструмент для получения сортового проката. [1] (с. 95-106, 168-173), [2].
- 8.12. Оборудование и инструмент для получения фасонного проката. [1] (с. 95-106, 168-173), [2].
- 8.13. Оборудование и инструмент для получения труб. [1] (с. 95-106, 168-173), [2].
- 8.14. Оборудование и инструмент для получения поковок. [1] (с. 107-118), [2].
- 8.15. Оборудование и инструмент для горячей объемной штамповки. [1] (с. 119-143), [2].
- 8.16. Оборудование и инструмент для листовой штамповки. [1] (с. 144-167), [2].
- 8.17. Оборудование для ручной дуговой сварки. [1] (с. 266-315), [2], [3] (с. 49-88).
- 8.18. Сварочные материалы для ручной дуговой сварки. [1] (с. 266-315), [2], [3] (с. 89-125).
- 8.19. Специальные виды термической сварки: электрошлаковая, в защитных газах, электронно-лучевая, лазерная. [1] (с. 266-315), [2], [3] (с. 178-241, 285-317).
- 8.20. Механические методы сварки. [1] (с. 316-341), [2].

8.21. Сварка пластмасс. [1] (с. 515-519), [2].

8.22. Пайка металлов. [1] (с. 358-364), [2].

8.23. Контроль качества сварных и паяных соединений. [1] (с. 365-370), [2], [3] (с. 469-487).

8.24. Оборудование и инструмент для обработки заготовок точением. [1] (с. 426-445, 446-470), [2].

8.25. Оборудование и инструмент для фрезерования. [1] (с. 426-445, 503-521), [2].

8.26. Оборудование и инструмент для обработки отверстий. [1] (с. 426-445, 480-492), [2].

8.27. Оборудование и инструмент для обработки заготовок шлифованием. [1] (с. 426-445, 545-562), [2].

8.28. Оборудование и инструмент для чистовой обработки заготовок пластическим деформированием. [1] (с. 583-591), [2].

8.29. Изготовление изделий методом порошковой металлургии. [1] (с. 618-620), [2].

8.30. Электроэрозионная размерная обработка. [1] (с. 592-609), [2].

8.30. Электрохимическая размерная обработка. [1] (с. 592-609), [2].

8.31. Ультразвуковая абразивная размерная обработка. [1] (с. 594-624), [2].

2. Справочные материалы

Таблица 3.

Расчет состава сплавов

Массовые доли компонентов сплава $C - D - L$	
Обозначения: x_C, x_D, x_L – массовая доля компонентов; m_C, m_D, m_L – масса компонентов в сплаве; $m_{СПЛ}$ – масса сплава.	
Определение: Массовая доля компонента – отношение массы компонента к массе сплава, взятое в процентах.	
Формулы: $x_C = \frac{m_C}{m_{СПЛ}} \cdot 100\%$; $x_D = \frac{m_D}{m_{СПЛ}} \cdot 100\%$; $x_L = \frac{m_L}{m_{СПЛ}} \cdot 100\%$; Про-	
верка: $x_C + x_D + x_L = 100\%$	
Примечание: Массовые доли используются при рассмотрении вопросов производства и практического применения сплавов. Массовые доли – наиболее употребительная характеристика состава сплавов в инженерном материаловедении. Использование массовых долей в тексте расчетов может дополнительно не оговариваться.	
Атомные доли компонентов сплава $C - D - L$	
Обозначения: y_C, y_D, y_L – атомная доля компонентов; n_C, n_D, n_L – число	

атомов компонента; $n_{\text{спл}}$ – число атомов в сплаве; $A_r(C), A_r(D), A_r(L)$ – относительная атомная масса элементов, образующих компоненты сплава; x_C, x_D, x_L – массовая доля компонентов.	
Определение: Атомная доля компонента – отношение числа атомов компонента к общему числу атомов в определенном количестве сплава, взятое в процентах.	
Формулы: $y_C = \frac{n_C}{n_{\text{спл}}} \cdot 100\%$; $y_D = \frac{n_D}{n_{\text{спл}}} \cdot 100\%$; $y_L = \frac{n_L}{n_{\text{спл}}} \cdot 100\%$;	
Проверка: $y_C + y_D + y_L = 100\%$	
Пересчет:	массовые доли $\rightarrow$ атомные доли
$y_C = \frac{x_C}{x_C + x_D \cdot \frac{A_r(C)}{A_r(D)} + x_L \cdot \frac{A_r(C)}{A_r(L)}} \cdot 100\%$ $y_D = \frac{x_D}{x_D + x_C \cdot \frac{A_r(D)}{A_r(C)} + x_L \cdot \frac{A_r(D)}{A_r(L)}} \cdot 100\%$ $y_L = \frac{x_L}{x_L + x_C \cdot \frac{A_r(L)}{A_r(C)} + x_D \cdot \frac{A_r(L)}{A_r(D)}} \cdot 100\%$	
Пересчет:	атомные доли $\rightarrow$ массовые доли
$x_C = \frac{y_C \cdot A_r(C)}{y_C \cdot A_r(C) + y_D \cdot A_r(D) + y_L \cdot A_r(L)} \cdot 100\%$ $x_D = \frac{y_D \cdot A_r(D)}{y_C \cdot A_r(C) + y_D \cdot A_r(D) + y_L \cdot A_r(L)} \cdot 100\%$ $x_L = \frac{y_L \cdot A_r(L)}{y_C \cdot A_r(C) + y_D \cdot A_r(D) + y_L \cdot A_r(L)} \cdot 100\%,$ здесь A_r – атомная масса компонента сплава, см. таблицы 4, 5.	
Примечание: Атомные доли используются преимущественно при анализе взаимосвязи состав $\leftrightarrow$ свойства сплавов, компоненты которых образуют химические соединения. Использование атомных долей в расчетах обязательно оговаривается в тексте.	
Объемные доли компонентов сплава C – D – L	
Обозначения: V_C, V_D, V_L – объемная доля компонентов; V_C, V_D, V_L – объем, занимаемый компонентами сплава; V – объем сплава; m_C, m_D, m_L – масса	

компонентов сплава; ρ_C, ρ_D, ρ_L – плотность компонентов сплава; x_C, x_D, x_L – массовая доля компонентов.

Определение: Объемная доля компонента – отношение объема, занимаемого компонентом в определенном количестве сплава, к объему сплава, взятое в процентах.

Формулы:

$$v_C = \frac{V_C}{V_{\text{спл}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad v_C = \frac{\frac{m_C}{\rho_C}}{\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_D}{\rho_D} + \frac{m_L}{\rho_L}} \cdot 100\%$$

$$v_D = \frac{V_D}{V_{\text{спл}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad v_D = \frac{\frac{m_D}{\rho_D}}{\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_D}{\rho_D} + \frac{m_L}{\rho_L}} \cdot 100\%$$

$$v_L = \frac{V_L}{V_{\text{спл}}} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad v_L = \frac{\frac{m_L}{\rho_L}}{\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_D}{\rho_D} + \frac{m_L}{\rho_L}} \cdot 100\%$$

Проверка: $v_C + v_D + v_L = 100\%$

Пересчет: массовые доли $\rightarrow$ объемные доли

$$v_C = \frac{x_C}{x_C + x_D \cdot \frac{\rho_C}{\rho_D} + x_L \cdot \frac{\rho_C}{\rho_L}} \cdot 100\%$$

$$v_D = \frac{x_D}{x_D + x_C \cdot \frac{\rho_D}{\rho_C} + x_L \cdot \frac{\rho_D}{\rho_L}} \cdot 100\%$$

$$v_L = \frac{x_L}{x_L + x_C \cdot \frac{\rho_L}{\rho_C} + x_D \cdot \frac{\rho_L}{\rho_D}} \cdot 100\%$$

Примечание: Объемные доли используются для сплавов, компоненты которых не взаимодействуют друг с другом и значительно различаются по плотности, например конструкционные чугуны, композиционные материалы и др. Использование объемных долей в расчетах обязательно оговаривается в тексте.

Таблица 4. Типы кристаллических решеток некоторых металлов

Название, хим. Символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атом- ный радиус, пм)	Кристаллические мо- дификации ³ (парамет- ры элемент. ячейки, пм)	Температура существования кристалличе- ской модифи- кации, °С
Алюминий, Al	27 (13; 143,1)	K12 (a=404,959)	до 660
Барий, Ba	137 (56; 217,3)	K8 (a=502,5)	до 729
Бериллий, Be	9 (4; 113,3)	Г12 (a=228,55; c=358,32)	до 1250
		K8 (a=255,15)	1250...1278
Ванадий, V	51 (23; 132,1)	K8 (a=302,40)	до 1887
Висмут, Bi	209 (83; 155)	Ромб. (a=454,95; c=1186,22)	до 271
Вольфрам, W	184 (74; 137,0)	K8 (a=316,522)	до 3410
Железо, Fe	56 (26; Fe _α → 124,1)	K8 (a=286,645)	до 911
		K12 (a=364,68)	911...1392
		K8 (a=293,22)	1392...1539
Кадмий, Cd	112 (48; 148,9)	Г12 (a=297,94; c=561,86)	до 321
Кальций, Ca	40 (20; 197,3)	K8 (a=558,84)	до 300
		K8 (a=448,0)	300...450
		Г12 (a=397; c=649)	450...839
Кобальт, Co	59 (27; 125,3)	K12 (a=354,41)	до 477
		Г12 (a=250,7; c=406,9)	477...1430
Магний, Mg	24 (12; 160)	Г12 (a=320,94; c=521,03)	до 651
Марганец, Mn	25 (55; 124)	K8 (a=891,39)	до 700
		K8 (a=631,45)	700...1079
		K12 (a=386,3)	1140...1079
		K8 (a=308,1)	1140...1244
Медь, Cu	64 (29; 127,8)	K12 (a=361,47)	до 1083
Молибден, Mo	96 (42; 136,2)	K8 (a=314,7)	до 2617
Никель, Ni	59 (28; 124,6)	K12 (a=352,38)	до 1453
Ниобий, Nb	93 (41; 142,9)	K8 (a=329,86)	до 2450
Олово, Sn	119 (50; 140,5)	Sn _α →Алмазн. (a=648,92)	до 13
		Sn _β →ОЦТ (a=583,16;	13-232

Название, хим. Символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атом- ный радиус, пм)	Кристаллические мо- дификации ³ (парамет- ры элемент. ячейки, пм)	Температура существования кристалличе- ской модифи- кации, °С
		c=318,13)	
Свинец, Pb	207 (82; 175)	K12 (a=495)	до 327
Сурьма, Sb	122 (51; 182)	Г12 (a=336,9; c=533)	
Титан, Ti	48 (22; 144,8)	Г12 (a=295,11; c=468,43)	до 882
		K8 (a=330,65)	882...1660
Хром, Cr	52 (24; 124,9)	K8 (a=288,46)	до 1850
Цинк, Zn	66 (30; 133,2)	Г6 (a=266,47; c=494,69)	до 419
Цирконий, Zr	91 (40; 160)	Г12 (a=323,21; c=514,77)	До 862
		K8 (a=361,6)	862...1852
Примечания: 1 A_r – относительная атомная масса; 2 ПС – периодическая система элементов Д.И. Менделеева; 3 – наименование и характеристика кристаллических модификаций металла: K12 – кубическая гранецентрированная (число атомов на ячейку (базис) n=4; коэффициент компактности $\eta=74\%$; координационное число k=12); K8 – кубическая объемноцентрированная (n=2; $\eta=68\%$; k=8); Ромб. – ромбоэдрическая; Г12 – гексагональная плотноупакованная (n=6; $\eta=74\%$; k=12; коэффициент тетрагональности c/a=1,663); Алмазн. – алмазная; ОЦТ – объемноцентрированная тетрагональная; Г6 – гексагональная (n=6; k=6; c/a=1,86). Параметры элементарной ячейки указаны в пикометрах 1 пм = 10^{-12} м.			

Таблица 5. Физические свойства некоторых неметаллов

Название, хим. СИМВОЛ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атом- ный радиус, пм)	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	ρ , г/см ³ (25°С)
Азот, N	14 (7; 70)	–210	–196	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Водород, H	1 (1; 30)	–259	–253	$0,09 \cdot 10^{-3}$
Кислород, O	16 (8; 66)	–218	–183	$1,43 \cdot 10^{-3}$
Кремний, Si	28 (14; 117)	1410	2355	2,33
Сера, S	32 (16; 104)	113	445	2,07
Углерод, C	12 (6; 77)	≈3547	4828	3,51 (алмаз)

				2,26 (графит)
Фосфор, Р	31 (15; 110)	44	280	1,82 (белый); 2,2 (красный); 2,69 (черный)

Примечания: 1 A_r – относительная атомная масса; 2 ПС – периодическая система элементов Д.И. Менделеева. Ковалентный радиус указан в **пикометрах** $1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$.

Физико-механические свойства некоторых металлов

Символ	$t_{пл},$ °С	$\rho,$ г/см ³	$\alpha_t, 10^{-6}$ 1/град	$\rho_{эл}, 10^{-8}$ Ом·м	$HB,$ кгс/мм ²	$\psi,$ %
Al	660	2,7	23,1	2,65		
Ba	729	3,6	18,1-21	50		
Be	1551	1,8	11,5	4,0		
V	1887	6,1	8,3	24,8		
Bi	271	9,7	13,4	106,8		
W	3410	19,3	4,6	5,65		
Fe	1539	7,86	11,5	9,71		
Cd	321	8,6	29,8	6,83		
Ca	839	1,55	22	3,43		
Co	1480	8,9	12,5	6,24		
Mg	651	1,74	26,1	4,38		
Mn	1244	7,44	22	185		
Cu	1083	8,92	16,5	1,67		
Mo	2617	10,22	5,43	5,2		
Ni	1453	8,9	13,3	6,84		
Nb	2450	8,57	7,2	12,5		
Sn	232	7,29	46,6	11,0	5,0	90
Pb	327	11,3	28,1	21,2	3,5	95
Sb	631	6,69	8,5	39,0	32	0
Ti	1660	4,54	7,14	42,0		
Cr	1850	7,14	6,2	12,7		
Zn	419	7,14	25,0	5,9	33	0
Zr	1852	6,5	5,78	42,1		

Примечания: $t_{пл}$ – температура плавления; ρ – плотность; α_t – коэффициент термического расширения; $\rho_{эл}$ – удельное электрическое сопротивление.

Обращаем внимание. Значения физических свойств металлов указаны при комнатной температуре. Механические свойства указаны для металлов, которые рассматриваются в задачах (см. задача №3).

Таблица 6. Характеристики механических свойств материалов

Определяемые показатели свойств	Использование показателей свойств в инженерной практике
Испытание на растяжение. Оборудование: разрывная машина.	
1. Физический предел текучести $\sigma_T=P_T/F_0$, МПа; кгс/мм ²	Определение допускаемых напряжений материалов, используемых в проектных расчетах $[\sigma] \leq 0,67 \cdot \sigma_{0,2}$; $[\sigma] \leq 0,42 \cdot \sigma_B$
2. Условный предел текучести $\sigma_{0,2}=P_{0,2}/F_0$, МПа; кгс/мм ²	
3. Предел прочности $\sigma_B=P_B/F_0$, МПа; кгс/мм ²	
4. Истинное сопротивление разрыву $S_K=P_K/F_K$, МПа; кгс/мм ²	Наибольшее напряжение, предшествующее разрушению разрывного образца.
5. Относительное удлинение $\delta=(l_K-l_0)/l_0$, %	Обеспечение надежности материала $\delta_{\min}=15\%$; $\psi_{\min}=45\%$ (для деталей, находящихся в условиях объемного нагружения)
6. Относительное сужение $\psi=(F_0-F_K)/F_0$, %	
Испытание на изгиб. Оборудование: пресс	
7. Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}}=M/W_X$, МПа; кгс/мм ² M – изгибающий момент, Н·м; W _X – осевой момент сопротивления сечения, м ³ .	Для малопластичных материалов: чугуны, инструментальные стали, стали после поверхностного упрочнения и др.
Твердость по Бринеллю. Оборудование: твердомер Бринелля	
8. HB=P/F _{отп} , МПа; кгс/мм ² индентор – шарик диаметром 2,5; 5; 10 мм нагрузка P=156÷30000 Н (15,6 ÷ 3000 кгс). Диаметр индентора и нагрузка на индентор выбираются в зависимости от природы материала образца (предполагаемой величины HB) и его толщины (s).	Черные металлы HB 140-450: s=6-3 мм; d=10 мм; P=3000 кгс s=4-2 мм; d=5 мм; P=750 кгс s<2 мм; d=2,5 мм; P=187,5 кгс HB<140: s>6 мм; d=10 мм; P=1000 кгс s=6-3 мм; d=5 мм; P=250 кгс s<2 мм; d=2,5 мм; P=62,5 кгс Цветные металлы HB 130 s=6-3 мм; d=10 мм; P=3000 кгс s=4-2 мм; d=5 мм; P=750 кгс s<2 мм; d=2,5 мм; P=187,5 кгс HB 35-130 s=9-3 мм; d=10 мм; P=1000 кгс s=6-3 мм; d=5 мм; P=250 кгс s<2 мм; d=2,5 мм; P=62,5 кгс

	HB 8-35 $s > 6$ мм; $d = 10$ мм; $P = 250$ кгс $s = 6-3$ мм; $d = 5$ мм; $P = 65,5$ кгс $s < 3$ мм; $d = 2,5$ мм; $P = 15,6$ кгс
Твердость по Роквеллу. Оборудование: твердомер Роквелла	
9.HRA , безразмерная величина индентор – алмазный конус 120° , нагрузка $P_\Sigma = 60$ кгс	Для особо твердых материалов $HRA \rightarrow 70 \div 85$
10.HRB, безразмерная величина индентор – стальной шарик 1,59 мм; нагрузка $P_\Sigma = 100$ кгс	Для мягких материалов (цветные сплавы, отожженная сталь) $HRB \rightarrow 25 \div 100$
11.HRC , безразмерная величина индентор – конус 120° ; нагрузка $P_\Sigma = 150$ кгс	Для материалов средней твёрдости (закалённая сталь) $HRC \rightarrow 20 \div 67$
Твердость по Виккерсу. Оборудование: твердомер Виккерса	
12.HV= $P/F_{отп}$, МПа; кгс/мм ² индентор – алмазная пирамида, $\alpha = 136^\circ$; нагрузка $P = 1-30$ кгс.	Для черных и цветных металлов и сплавов (универсальный показатель). $HV \rightarrow 8 \div 2000$ кгс/мм ²
Ударный изгиб надрезанного образца. Оборудование: маятниковый копер	
13. Ударная вязкость на образце Менаже (радиус надреза 1 мм) $KCU = (KU_0 - KU_{ост})/F_n$, Дж/см ² ; кгс·м/см ² .	Оценка склонности материала к хрупкому разрушению в общем машиностроении сталь $KCU_{min} = 3$ кгс·м/см ²
14. Ударная вязкость на образце Шарпи (радиус надреза 0,25 мм) $KCV = (KV_0 - KV_{ост})/F_n$, Дж/см ² ; кгс·м/см ² .	Оценка склонности материала к хрупкому разрушению в особо ответственных случаях (атомное машиностроение и др.) $KCV_{min} = 2$ кгс·м/см ²
Испытания долговечности	
15. Предел выносливости при несимметричном цикле напряжений σ_R, τ_R , МПа; кгс/мм ²	Для определения поведения материала при повторно-переменном приложении нагрузки (материал валов, зубчатых колес и др.)
16. Предел выносливости при симметричном цикле напряжений σ_{-1}, τ_{-1} , МПа; кгс/мм ²	
17. Предел длительной прочности σ_τ^t , МПа; кгс/мм ²	Для изделий из жаропрочных материалов, кратковременно работающих при высоких температурах

18. Предел ползучести $\sigma_{\delta/\tau}^t$, МПа; кгс/мм ²	Для изделий из жаропрочных материалов, длительно работающих при высоких температурах
19. Относительная износостойкость ε , безразмерная величина	Для оценки сопротивления изнашиванию элементов трибосопряжений.
Примечание. Ориентировочная твердость образцов для определения твердости по Бринеллю: отожженная сталь HB < 140, дуралюмин HB 35...130, закаленная сталь HB 140...450 или HRC 40...55, твердосплавная пластина для армирования режущего инструмента HRA 85...90, алюминиевый сплав антифрикционный HB 8...35, чугун HB 140...450.	

Таблица 7. Количественное сравнение значений твёрдости, определенной разными методами

Обоснование: Среди методов определения твёрдости, указанных в таблице 6, полной универсальностью обладает метод Виккерса, поскольку в качестве индентора он предполагает использование алмазной пирамиды. Для количественного сравнения значений твердости, определенной разными методами, предлагается сравниваемые величины HB, HRA, HRB, HRC переводить в твердость по Виккерсу, а затем сравнивать между собой однородные величины твердости $HV_x(HB_x)$, $HV_x(HRA_x)$, $HV_x(HRB_x)$, $HV_x(HRC_x)$.	
Расчетный переход к твёрдости по Виккерсу HV_x	
Расчетный метод перехода $H_x \rightarrow HV_x$ основан на использовании соответствующих уравнений регрессии	
$HV(HB) = 50 + 0,482301HB + 0,001149HB^2$	(1)
$HV(HRA) = 2331 - 81,4776HRA + 0,7657HRA^2$	(2)
$HV(HRB) = 252 - 5,7681HRB + 0,0561HRB^2$	(3)
$HV(HRC) = 318 - 10,527673HRC + 0,304221HRC^2$	(4)
Примечания: Уравнения 1-4 получены обработкой данных по твердости сталей и сплавов [9]. Интервалы изменения аргумента: 1 – HB = 75-712 кгс/мм ² ; 2 – HRA=50-85; 3 – HRB =55-100; 4 – HRC =18-66.	
Примечания: Уравнения 1-4 получены обработкой данных по твердости сталей и сплавов [9]. Интервалы изменения аргумента: 1 – HB =75-712 кгс/мм ² ; 2 – HRA=50-85; 3 – HRB =55-100; 4 – HRC =18-66.	

Табличный переход к твёрдости по Виккерсу HV_x
Соотношение единиц твёрдости HV, HB, HRA, HRC, HRB *

HV	HB	HRA	HRC	HRB	HV	HB	HRA	HRC	HRB
1220	782	89	72	—	294	290	66,0	31,0	—
1016	712	85,1	66,4	—	286	283	65,6	30,1	—
951	688	84,3	65,0	—	278	275	65,2	29,0	—

HV	HB	HRA	HRC	HRB	HV	HB	HRA	HRC	HRB
907	670	83,6	63,9	—	271	269	64,8	28,1	—
866	659	83,0	62,9	—	242	241	62,8	24,0	100
828	637	82,4	61,8	—	235	235	62,3	23,0	99
804	627	82,0	61,1	—	229	229	61,8	22,0	98,2
771	611	81,4	60,0	—	222	222	61,1	20,9	97,2
739	597	80,9	59,0	—	217	217	61,0	20,1	96,5
710	582	80,3	57,9	—	212	212	60,1	19,0	95,5
683	583	79,7	56,9	—	208	207	59,7	18,1	94,8
658	555	79,2	55,8	—	204	204	60,0	—	94
643	547	78,8	55,1	—	198	198	58,6	—	93
620	534	78,3	54,1	—	193	194	58,0	—	92
599	522	77,7	53,1	—	188	189	57,4	—	90,9
574	506	77,0	51,8	—	183	185	56,9	—	90,1
556	495	76,5	50,9	—	182	183	56,0	—	89
539	484	76,0	50,0	—	175	177	55,6	—	88
523	474	75,5	49,1	—	172	174	55,1	—	87,1
504	460	74,9	47,9	—	168	170	54,5	—	86,1
490	451	74,4	47,0	—	164	166	53,9	—	85
473	438	73,8	45,9	—	162	163	53,4	—	84,1
460	429	73,3	45,1	—	158	159	52,8	—	83
445	417	72,7	44,1	—	156	156	52,3	—	82,1
431	406	72,2	43,1	—	147	147	50,6	—	79
417	395	71,6	42,1	—	144	144	50,0	—	77,9
401	383	71,0	40,9	—	141	141	—	—	77
389	373	70,4	40,0	—	139	139	—	—	76
378	363	70,0	39,1	—	134	134	—	—	74,1
364	352	69,4	38,0	—	130	130	—	—	72,2
352	341	68,8	36,9	—	121	121	—	—	68
342	333	68,4	36,0	—	115	115	—	—	64,9
331	323	67,8	34,9	—	112	112	—	—	63,1
322	315	67,4	34,1	—	109	109	—	—	61
311	306	66,9	33,0	—	104	104	—	—	58,1
303	298	66,5	32,1	—	100	100	—	—	54,9

*Данные [4].

Примечания: 1. Указанные в таблице значения твёрдости HB соответствуют значениям твердости по Бринеллю, определенным с помощью шарика D=10 мм при нагрузке P = 30 кН (3000 кгс).

2. Числа твёрдости, выделенные **жирным шрифтом**, приняты ГОСТами 2999 (HV), 9012 (HB) и 9013 (HR).

Пояснения: При необходимости определения HV_x для ранжируемого значения H_x , несовпадающего с табличным значением твёрдости, следует применять линейную интерполяцию для перевода $H_x \rightarrow HV_x$

$$HV_x = HV_1 + \frac{HV_2 - HV_1}{H_2 - H_1} \cdot (H_2 - H_x),$$

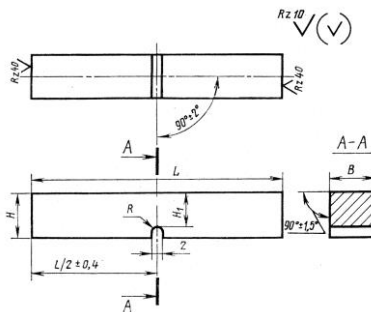
здесь H_x – значение твёрдости ($HB_x, HRA_x, HRB_x, HRC_x$), подлежащее ранжированию; H_1, H_2 – интервал твёрдости ранжируемых показателей, внутри которого находится значение H_x ; HV_x – искомое значение сравниваемого показателя $H_x \rightarrow HV_x$; HV_1, HV_2 – табличные значения сравниваемого показателя твёрдости по Виккерсу ($H_1 \rightarrow HV_1, H_2 \rightarrow HV_2$), индекс 2 присвоен большему значению показателей твёрдости.

Пример. Определим значение HV_x для ранжируемого значения твёрдости по Бринеллю $HB_x=390$. По таблице выбираем значения вспомогательных величин: $HB_1=383, HV_1=401, HB_2=395, HV_2=417$. По формуле линейной интерполяции определяем искомое значение твёрдости по Виккерсу HV_x

$$HV_x = 401 + \frac{417 - 401}{395 - 383} \cdot (395 - 390) = 408$$

Таблица 8. Надрезанные образцы для ударного изгиба

По ГОСТ 9454–78 ударная вязкость КСУ (образец Менаже), КСВ (образец Шарпи), КСТ (образец с трещиной нормированной глубины) определяется на надрезанных образцах по результатам их испытания ударным изгибом на маятниковом копре (см. таблицу 6). На рисунке показан образец с U-образным надрезом (образец Менаже). Рекомендуемые ГОСТ 9454–78 размеры образцов с U-образным и V-образным надрезом представлены в таблице.



	Концентратор	Тип	R	$L \pm 0,6$	B	$H \pm 0,1$	H_1
			мм				
U		1	$1 \pm 0,1$	55	$10 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$
		2			$7,5 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$

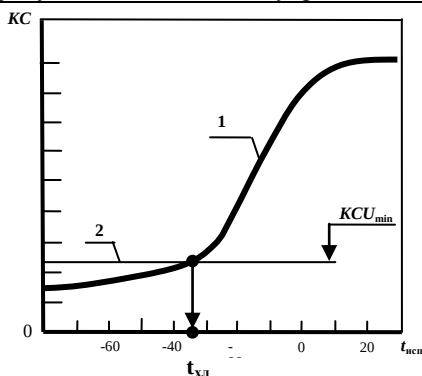
	(Менаже)	3			$5 \pm 0,05$	10	$8 \pm 0,1$	
		4			$2 \pm 0,05$	8	$6 \pm 0,1$	
		5			$10 \pm 0,1$	10	$7 \pm 0,1$	
		6			$7,5 \pm 0,1$	10	$7 \pm 0,1$	
		7			$5 \pm 0,05$	10	$7 \pm 0,1$	
		8			$10 \pm 0,1$	10	$7 \pm 0,1$	
		9			$7,5 \pm 0,1$	10	$5 \pm 0,1$	
		10			$5 \pm 0,05$	10	$5 \pm 0,1$	
	V (Шарпи)	11	$0,25 \pm 0,025$	55	$10 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$	
		12			$7,5 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$	
		13			$5 \pm 0,05$	10	$8 \pm 0,1$	
		14			$2 \pm 0,05$	8	$6 \pm 0,1$	

Образцы типа 1–4 являются предпочтительными при решении задач №№ 2.35–2.38.

Таблица 9

Порог хладноломкости стали

Под порогом хладноломкости принято понимать интервал температур испытания, в котором разрушение металла образца переходит от вязкого разрушения к хрупкому. Практическое значение порога хладноломкости для инженерной практики состоит в том, что знание его значения позволяет определить температурный интервал применения данной стали при эксплуатации. Рабочая температура эксплуатации изделия всегда должна быть выше порога хладноломкости стали. Упрощённый метод определения порога хладноломкости $t_{хл}$ состоит в использовании табличных значений ударной вязкости стали и нормативного запаса вязкости KCU_{min} стального изделия. На рисунке показана схема упрощенного определения $t_{хл}$.



Графические построения для определения порога хладноломкости стали, опираясь на табличные значения ударной вязкости: 1 – температурная зависимость ударной вязкости для исследуемой стали; 2 – уровень нормированного запаса ударной вязкости для стального изделия.

При упрощенном определении порога хладноломкости его величина определяется как абсцисса точки пересечения кривой 1 (температурная зависимость ударной вязкости) и изолинии 2 (уровень нормативного запаса вязкости для стального изделия).

Таблица 10 Уравнения регрессии* для пересчёта «твёрдость ↔ предел прочности»

Эмпирическая формула	Интервал изменения аргумента
Сталь без термообработки или после отжига	
$\sigma_B = 0,36 \cdot HB$	$HB = 86-368$
$\sigma_B = 10,885 \cdot e^{0,02HRB}$	$HRB = 52-100$
$HB = 2,81 \cdot \sigma_B$	$\sigma_B = 30-130$
$HRB = 49,54 \cdot \ln \sigma_B - 117$	$\sigma_B = 34-83$
Сталь термообработанная (закаленная или закалённая + отпущенная)	
$\sigma_B = 0,34 \cdot HB - 2$	$HB = 177-450$
$\sigma_B = 38,8 \cdot e^{0,030HRC}$	$HRC = 20-67$
$HB = 2,92 \cdot \sigma_B + 5$	$\sigma_B = 60-155$
$HRC = 32,86 \cdot \ln \sigma_B - 120$	$\sigma_B = 77-310$
*Уравнения регрессии получены по данным [5]. Размерность величин, входящих в эмпирические формулы: $[\sigma_B]$, $[HB]$ в кгс/мм^2. Для перехода к размерности механических напряжений СИ используйте приближенный пересчёт $1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 10 \text{ МПа}$. Пояснения: При пользовании приведёнными уравнениями регрессии следует иметь ввиду, что они позволяют оценивать свойства только углеродистых сталей. Приведённые уравнения нельзя применять: для высоколегированных сталей в сложном структурном состоянии; для сталей после поверхностного упрочнения; в холоднодеформированном состоянии, при наличии анизотропии структуры и свойств; для сталей в высокопрочном состоянии, например, после термомеханической обработки; для специальных сталей, имеющих отличный от углеродистых сталей механизм упрочнения, в частности для мартенситно-стареющих сталей и в некоторых других случаях.	

Таблица 11 Единая шкала твердости C_3 по Роквеллу

Характеристика: С целью обеспечения единства измерений в нашей стране с 01.07.1980 г. введен <i>государственный специальный эталон и единая шкала твердости C_3 по Роквеллу</i> (ГОСТ 8.064-79). Все образцовые и рабочие средства измерения твердости настроены и поверяются по шкале C_3. Твердость, измеренную по шкале C_3, воспроизводимой этим эталоном, обозначают HRC_3, в отличие от обозначения HRC ранее применявшегося в промышленности.
Пересчет: $HRC \rightarrow HRC_3^*$
$HRC_3 = 2,6958 + 0,9714 \cdot HRC$; $HRC = 20-65$.
Пересчет: $HRC_3 \rightarrow HRC^*$

$$HRC = -2,775 + 1,0294 \cdot HRC_9; HRC_9 = 22,1-65,8.$$

* Данные [6]

Таблица 12

Критические точки металлов и сплавов

Название точки (обозначение)	Фазовое превращение при охлаждении (<i>нагревании</i>)	Примечания
Ликвидус, t_L (точка первичной кристаллизации) $Ж \leftrightarrow ТВ$	Начало выпадения твердой фазы $ТВ$ в жидком расплаве $Ж$ (<i>конец расплавления твердой фазы</i>).	Для чистых компонентов и эвтектических сплавов t_L и t_S совпадают – это температура плавления компонента $t_{nл}$, т.е. $t_{nл} = t_L = t_S$
Солидус, t_S (точка первичной кристаллизации) $Ж \leftrightarrow ТВ$	Конец выпадения твердой фазы $ТВ$ в жидком расплаве $Ж$ (<i>начало расплавления твердой фазы</i>).	
Сольвус, t_C (точка вторичной кристаллизации) $ТВ \leftrightarrow ТВ + ТВ_{II}$	Выпадение вторичной фазы $ТВ_{II}$ в результате снижения растворимости компонентов сплава в твердом состоянии (<i>растворение одной из фаз в результате повышения растворимости компонентов сплава в твердом состоянии</i>).	Вторичная фаза представляет собой химическое соединение A_nB_m
Точка Кюри (точка магнитного превращения)	Приобретение ферромагнитных свойств твердой фазой (<i>потеря ферромагнитных свойств твердой фазой</i>).	Не связано с перекристаллизацией. $Ni - 360\text{ }^{\circ}C$ $Fe - 768\text{ }^{\circ}C$ $Co - 1150\text{ }^{\circ}C$
Полиморфное превращение, $t_{\alpha\beta}$ (точка перекристаллизации) $ТВ_{\alpha} \leftrightarrow ТВ_{\beta}$	Переход высокотемпературной $ТВ_{\beta}$ аллотропической формы в низкотемпературную $ТВ_{\alpha}$ (<i>переход низкотемпературной аллотропической формы в высокотемпературную</i>)	Для сплавов перекристаллизация проходит в интервале температур

Таблица 13

Кривая охлаждения сплава

Кривая охлаждения – зависимость температуры сплава от времени. Для исследования температуры сплава при охлаждении используется плавильная печь с устройством для регистрации температуры (см. рис. 1).

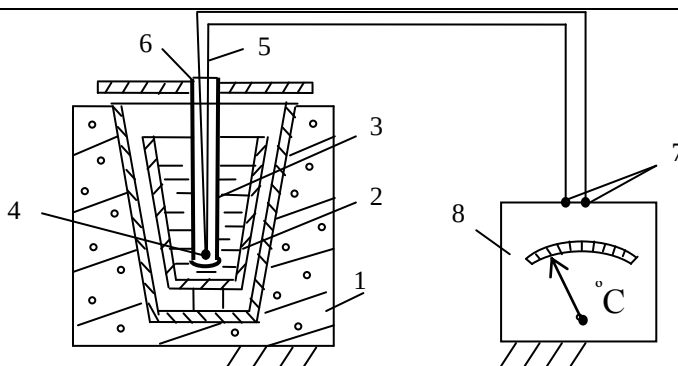


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования кинетики охлаждения сплава при кристаллизации: 1 плавильная печь; 2 тигель; 3 расплав навески исследуемого сплава; 4 горячий спай термопары; 5 провода термопары; 6 защитный колпачок термопары; 7 холодный спай термопары; 8 гальванометр.

Кривая охлаждения строится по данным хронометража охлаждения сплава с помощью команды «Мастер диаграмм» программы *Excel* (см. рис. 2).

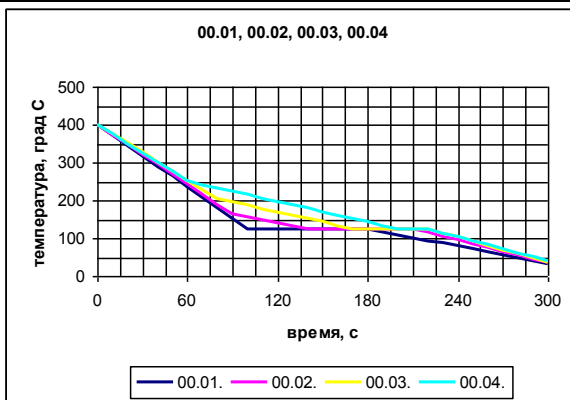


Рис. 2. Кривые охлаждения сплавов: 00.01 – эвтектический сплав; 00.02–00.04 – сплавы с эвтектикой.

Критические точки сплава (см. таблицу 12) определяются по кривой охлаждения, как абсциссы точек перегибов кривой охлаждения.

Таблица 14 Термокинетическая диаграмма кристаллизации сплава

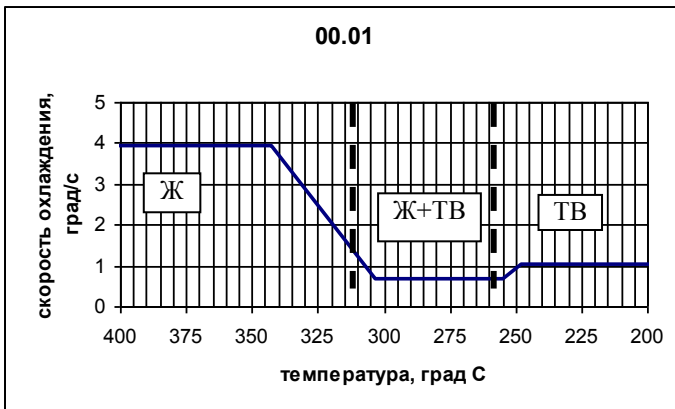
Термокинетическая диаграмма кристаллизации (ТКДК) сплава – зависимость скорости охлаждения сплава от температуры. Для исследования кинетики кристаллизации в лабораторных работах используются виртуальные сплавы двойных систем, имеющие эвтектическое превращение: Ag–Cu, Al–Si, Bi–Cd,

Cd–Pb, Cd–Zn, Pb–Bi, Pb–Sb, Sn–Bi, Sn–Pb, Zn–Sn.

Если имеется таблица хронометража охлаждения сплава, то скорость охлаждения сплава может быть определена численным дифференцированием температуры сплава по времени с помощью команды «Редактор формул» программы *Excel*. Для численного дифференцирования трансформируется таблица хронометража охлаждения сплава (см. таблицу). В столбцах «С», «Е», «G», «I» вычисляются значения скорости охлаждения сплава.

	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)	G (7)	H (8)	I (9)
1	Спл	00.01	00.01	00.02	00.02	00.03	00.03	00.04	00.04
2	«В», %								
3	τ , с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с
4	0								
5	10								
6	20								
...	...								
32	280								
33	290								
34	300								

Из ТКДК значение критической температуры сплава определяется как абсцисса порогового изменения скорости охлаждения сплава (см. рис. 1–4).



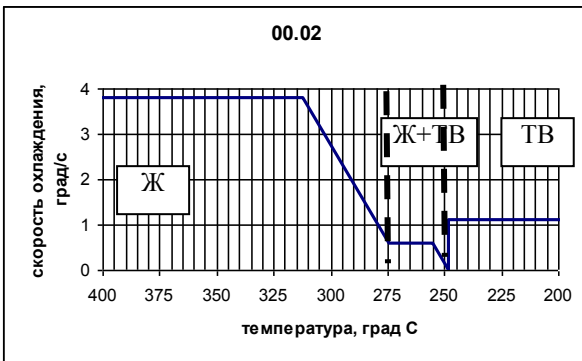


Рис. 2. ТКДК сплава с эвтектикой ($t_L=274^\circ\text{C}$; $t_S=t_{\text{ЭВТ}}=248^\circ\text{C}$)

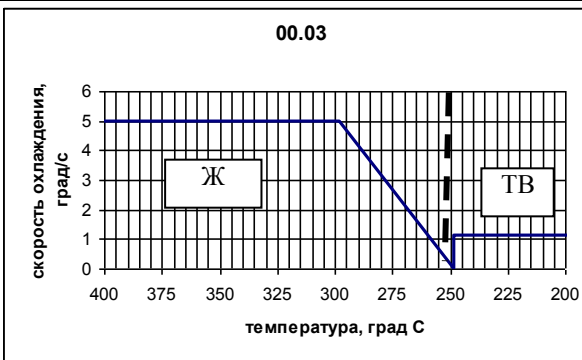


Рис. 3. ТКДК эвтектического сплава ($t_L=t_S=t_{\text{ЭВТ}}=248^\circ\text{C}$)

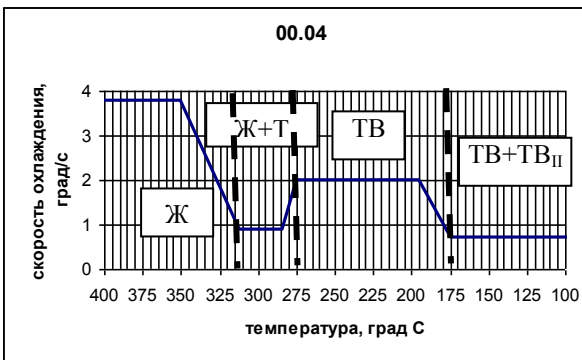


Рис. 4. ТКДК сплава, имеющего вторичную кристаллизацию ($t_L=312^\circ\text{C}$; $t_S=275^\circ\text{C}$; $t_C=175^\circ\text{C}$)

Таблица 15 Определение состава фаз сплава по диаграмме состояния (правило концентраций)

Определение: Состав фаз сплава k_i характеризуется абсциссами соответствующих концов коноды.

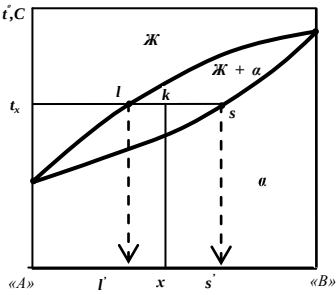
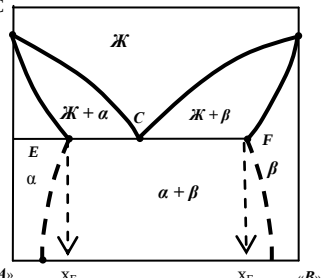
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого сплава x температура исследуемого сплава t_x. Конфигуративная точка сплава $k(x, t_x)$. На изотерме t_x построена конода lks. Определены абсциссы концов коноды l', s'.	
	Расчетные формулы Состав жидкой фазы $Ж \rightarrow l'$ Состав твердой фазы $ТВ \rightarrow s'$ Примечание: ось абсцисс диаграммы состояния обычно маркируется в % компонента «В».
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии при эвтектической температуре t_3. Эвтектический сплав имеет состав x_C. Эвтектика состоит из твердых растворов $Э = (\alpha_3 + \beta_3)$. Определены абсциссы концов эвтектической прямой x_E, x_F.	
	Расчетные формулы Состав твердого раствора α_3 $\alpha_3 \rightarrow x_E$ Состав твердого раствора β_3 $\beta_3 \rightarrow x_F$ Примечание: ось абсцисс диаграммы состояния обычно маркируется в % компонента «В».

Таблица 16 **Определение относительного количества фаз сплава по диаграмме состояния (правило отрезков)**

Определение: Количество фаз в сплаве характеризуется отрезками коноды; отрезки коноды между точкой сплава k_i и точками l_i и s_i, определяющими состав фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого сплава x, температура исследуемого сплава t_x. Конфигуративная точка сплава $k(x, t_x)$. На изотерме t_x построена конода lks. Измерена длина коноды lks и составляющих её отрезков lk и ks.

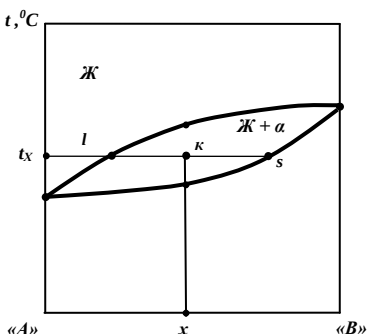
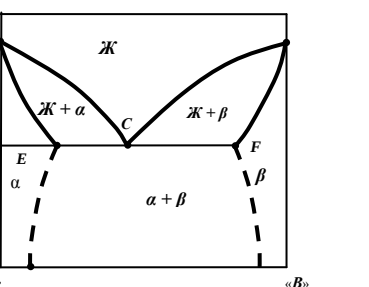
 «А» x «В»	Расчетные формулы Относительное количество жидкой фазы $\mathcal{Ж} = \frac{ks}{lk}$ Относительное количество твердой фазы $TB = \frac{lk}{lks}$ Примечание: длины отрезков подставляются в масштабе построения диаграммы состояния.
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии при эвтектической температуре $t_э$. Эвтектический сплав имеет состав $x_э$. Роль коноды выполняет эвтектическая прямая EF. Измерена длина эвтектической прямой EF и составляющих её отрезков EC и CF.	
 «А» x «В»	Расчетные формулы $\alpha_э = \frac{CF}{EF}$ $\beta_э = \frac{EC}{EF}$ Примечание: соотношение фаз в эвтектике постоянно для всех сплавов, содержащих эвтектику

Таблица 17 Диаграммы состояния некоторых двойных систем

Диаграмма состояния	№№ задач
Электронную версию диаграмм состояния см. www.nirhtu.ru→ресурсы→система поддержки учебных курсов→регистрация (логин и пароль)→курс → поток→диаграммы состояния двойных систем	

Система Pb-Sb



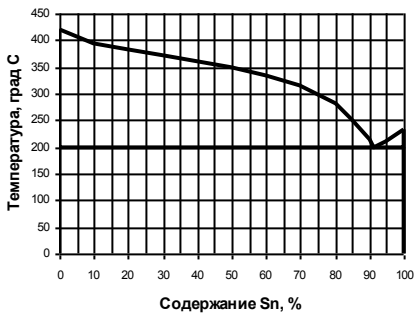
3.9.– 3.12., 3.25., 3.29.-
3.32., 3.49., 3.51.

Система Sn-Pb



3.26., 3.33.-3.36., 3.61.-
3.67.

Система Zn-Sn



3.17.-3.20., 3.27., 3.37.-
3.44., 3.50., 3.52.-3.60.

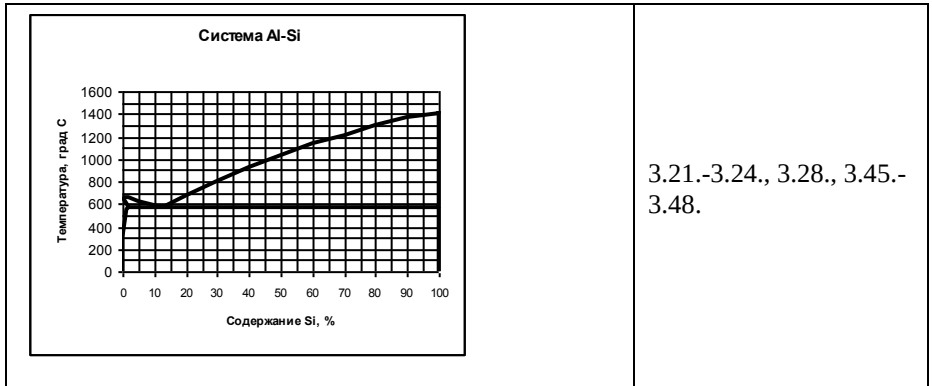


Таблица 18 Определение относительного количества эвтектики в структуре сплава по диаграмме состояния (правило треугольника)

Определение: Относительное количество эвтектики в сплаве определяется из треугольника эвтектики и характеризуется длиной катета, совпадающего с концентрационным уровнем сплава.

Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии. На эвтектической прямой ECF построены два треугольника EСС' (доэвтектические сплавы) и FCC' (заэвтектические сплавы). Обращаем внимание, что длина катета СС' не влияет на результаты расчета и выбирается произвольно, например 15 мм. Заданы сплавы трех концентрационных уровней: доэвтектический x_1 , эвтектический $x_2 = x_C$ и заэвтектический x_3 .

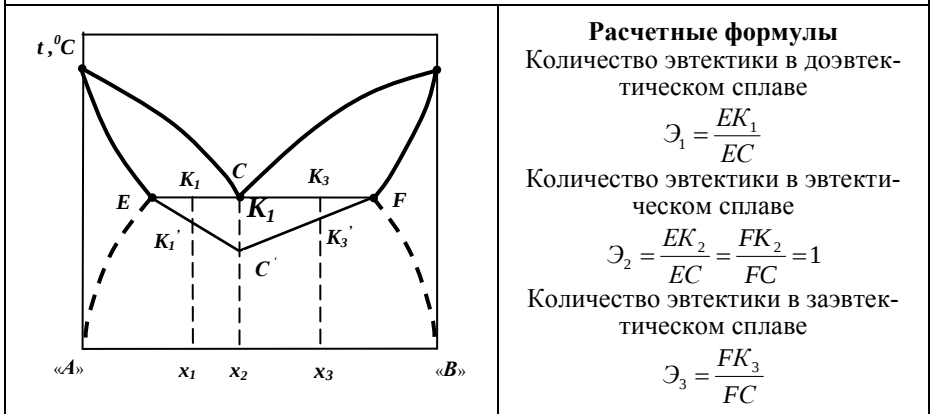


Таблица 19 Шаблоны схем микроструктуры сплавов с эвтектикой

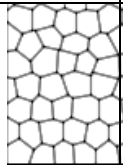
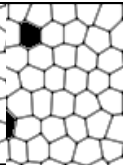
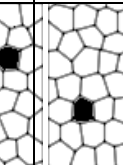
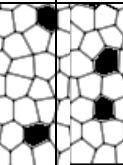
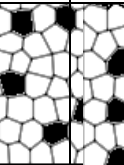
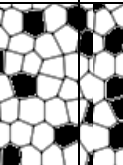
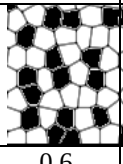
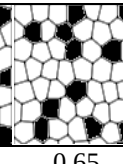
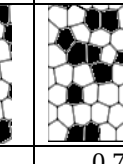
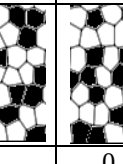
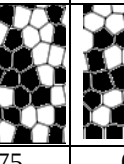
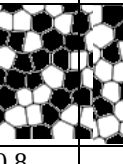
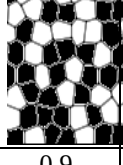
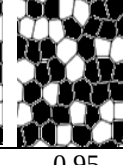
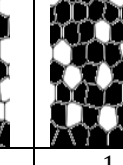
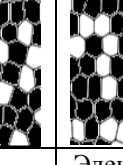
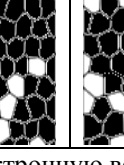
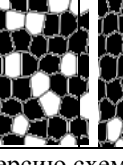
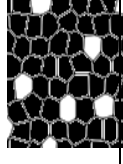
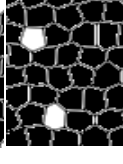
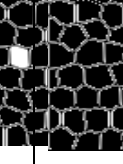
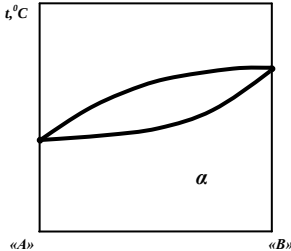
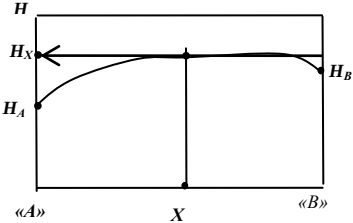
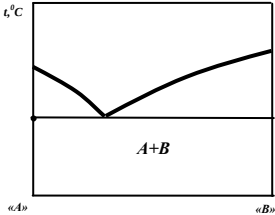
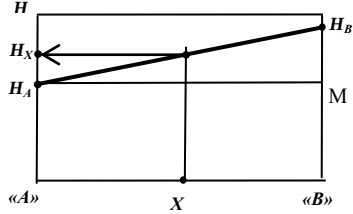
Зёрна эвтектики окрашены тёмным цветом, другие фазы имеют светлую окраску. Шаблоны схем микроструктуры сопровождаются указанием количества эвтектики (в долях) для каждой схемы.					
0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
					
0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
					
0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
					
0,9	0,95	1	Электронную версию схем микро- структуры см. www.nirhtu.ru →ресурсы→система поддержки учебных кур- сов→регистрация (логин и па- ль) →курс → поток→шаблоны схем микроструктуры сплавов с эвтектикой)		
					

Таблица 20. Прогнозирование физико-механических свойств спла-
вов по диаграмме состояния (правило Н.С.Курнакова)

Общие пояснения: N_A , N_B – свойства компонентов сплава при комнатной температуре; x – состав исследуемого сплава; x_{AnBm} – состав сплава, соответствующий химическому соединению; N_x – свойства исследуемого сплава при комнатной температуре, экстремальное значение свойства сплава в сингулярной точке (состава x_{AnBm}) при комнатной температуре.	
Диаграмма состояния	Диаграмма «состав-свойство»

Диаграмма состояния	Диаграмма «состав-свойство»
	
Пояснения: В области однофазного твердого раствора свойства сплава в зависимости от концентрации компонентов изменяются нелинейно (по закону цепной линии).	
	
Пояснения: В области двухфазных механических смесей свойства сплавов аддитивны к концентрации компонентов, т.е. изменяются линейно между значениями свойств сплавов, ограничивающих двухфазную область.	
Пример: Графическое решение треугольника $H_A H_B M$. Прямая задача – анализ сплава: известны H_A, H_B, X; определить H_X $H_X = H_A + \frac{H_B - H_A}{100} \cdot X.$ здесь H_X имеет размерность H_A и H_B. Обратная задача – синтез сплава: H_A, H_B, H_X; определить X $X = \frac{H_X - H_A}{H_B - H_A} \cdot 100, \%$ здесь двухфазная область ограничена точками 0 и 100%.	

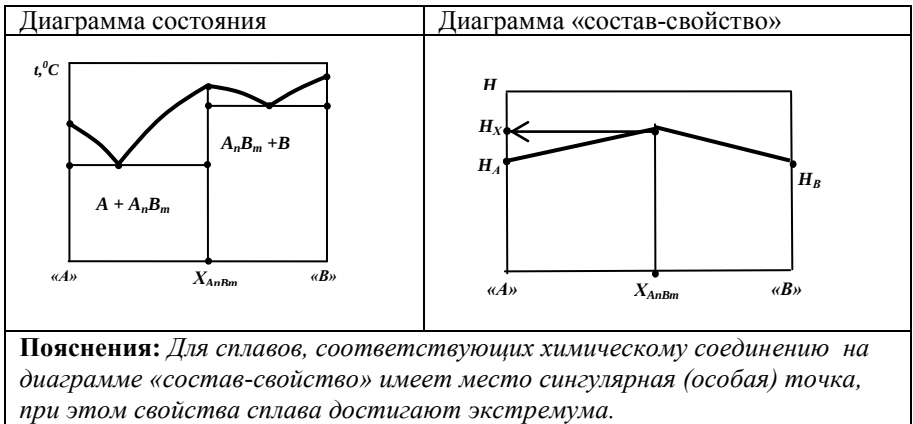
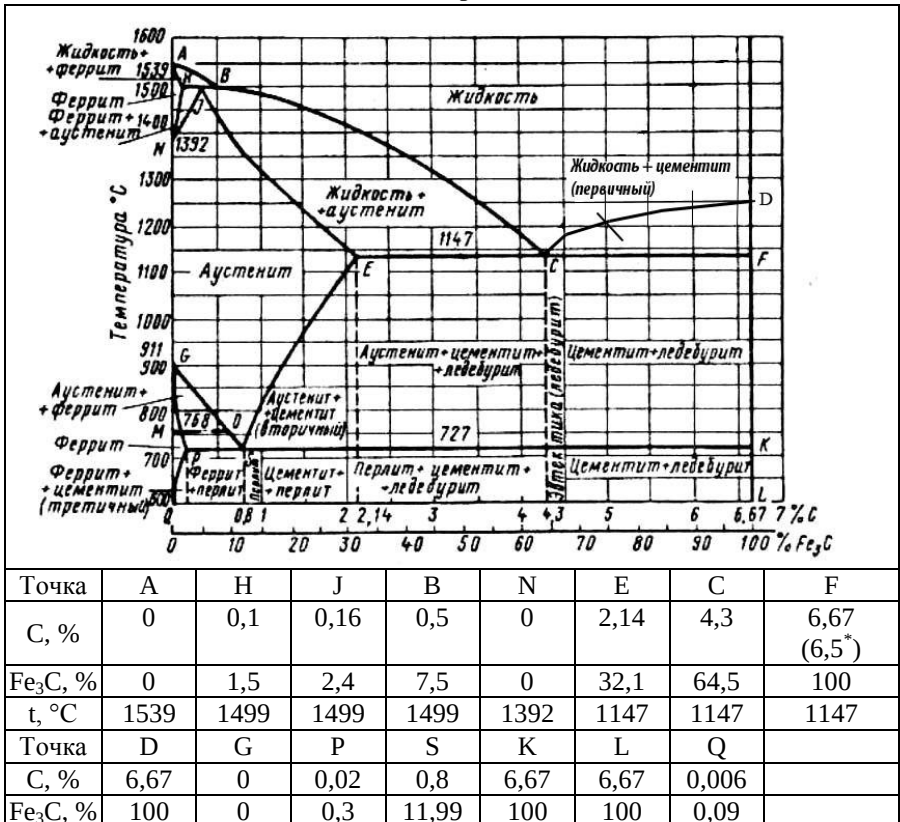


Таблица 21. Узловые точки диаграммы состояния «Fe-Fe₃C»



t, °C	1250	911	727	727	727	600	20	
Примечание: содержание углерода и цементита указано в массовых долях; * уточненное значение содержания углерода в цементите при эвтектической температуре.								

Таблица 22. Описание узловых точек диаграммы состояния «Fe–Fe₃C»

Точка	Описание точки
A	Точка плавления железа; пересечение линий: ABCD (ликвидус), AHJECFD (солидус)
H	Точка предельной растворимости углерода в высокотемпературном феррите; пересечение линий: AHJECFD (солидус), NH (высокотемпературное полиморфное превращение $\gamma \leftrightarrow \delta$)
J	Перитектическая точка; пересечение линий: HJB (перитектическая изотерма 1499°C), AHJECFD (солидус), NJ (высокотемпературное полиморфное превращение $\gamma \leftrightarrow \delta$)
B	Пересечение линий: HJB (перитектическая изотерма 1499°C), ABCD (ликвидус)
N	Точка высокотемпературного полиморфного превращения железа $\gamma \leftrightarrow \delta$
E	Точка предельной растворимости углерода в аустените, пересечение линий: AHJECFD (солидус), SE (сольвус)
C	Эвтектическая точка; пересечение линий: ABCD (ликвидус), AHJECFD (солидус)
F	Точка цементита, лежащая ECF(эвтектическая изотерма 1147°C)
D	Точка плавления цементита; пересечение линий: ABCD (ликвидус), AHJECFD (солидус)
G	Точка низкотемпературного полиморфного превращения железа $\alpha \leftrightarrow \gamma$
P	Точка предельной растворимости углерода в низкотемпературном феррите; пересечение линий: GP (низкотемпературное полиморфное превращение $\alpha \leftrightarrow \gamma$), PSK (эвтектоидная изотерма 727°C), PQ (сольвус)
S	Эвтектоидная точка; пересечение линий: GS (низкотемпературное полиморфное превращение $\alpha \leftrightarrow \gamma$), PSK (эвтектоидная изотерма 727°C), SE (сольвус)
K	Точка цементита, лежащая PSK (эвтектоидная изотерма 727°C)
L	Точка цементита при температуре 600°C
Q	Точка предельной растворимости углерода в феррите при комнатной температуре

Таблица 23. Расчеты фазового и структурного состава Fe–C сплавов

Определение содержания углерода в стали по микроструктуре	
Дозвтектоидная сталь	$C = 0,8 \cdot \frac{П}{100}, \%$
Заэвтектоидная сталь	$C = 0,8 \cdot \frac{П}{100} + 6,67 \cdot \frac{Ц}{100}, \%$
Пояснения: П, Ц – количество перлита и цементита в микроструктуре стали, соответственно, %	
Фазовый анализ сплавов	
Компонентный состав фаз определяется по правилу концентраций (см. таблицу 24). Относительное количество фаз в сплаве определяется по правилу отрезков (см. таблицу 25).	
Структурный анализ сплавов	
Определение количества эвтектики – ледебурита (Л) и эвтектоида – перлита (П) проводится по правилу треугольника (см. таблицу 15).	
Дозвтектический чугун	$Л = \frac{E_k}{EC} \times 100, \%$
Заэвтектический чугун	$Л = \frac{F_k}{FC} \times 100, \%$
Дозвтектоидная сталь	$П = \frac{P_k}{PS} \times 100, \%$
Заэвтектоидная сталь	$П = \frac{K_k}{KS} \times 100, \%$
Пояснения: k– конфигуративная точка сплава (расположена на соответствующей изотерме); E _k , E _C , F _k , F _C – отрезки эвтектической прямой ECF, P _k , P _S , K _k , K _S – отрезки эвтектоидной изотерме PSK. Отрезки линий диаграммы состояния в расчетные формулы подставляются в масштабе построения.	

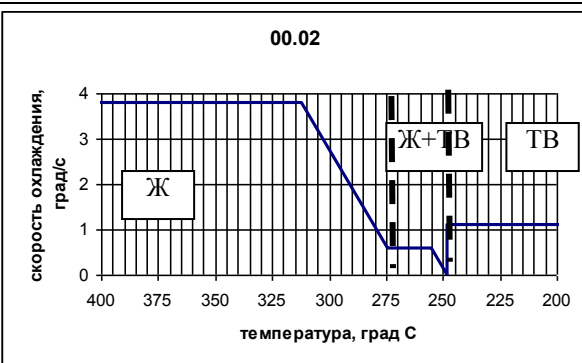
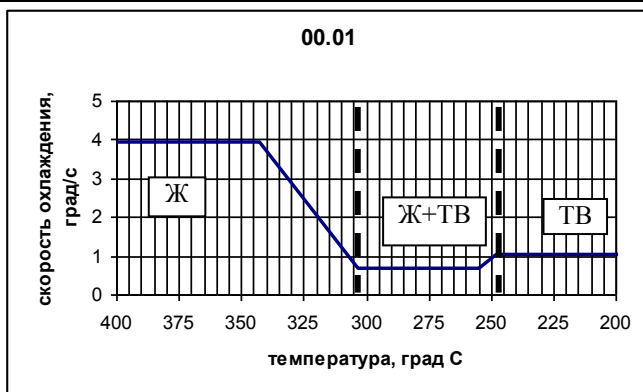
Таблица 24. Термокинетическая диаграмма кристаллизации сплава

Термокинетическая диаграмма кристаллизации (ТКДК) сплава – зависимость скорости охлаждения сплава от температуры. Для исследования кинетики кристаллизации в лабораторных работах используются виртуальные сплавы двойных систем, имеющие эвтектическое превращение: Ag–Cu, Al–Si, Bi–Cd, Cd–Pb, Cd–Zn, Pb–Bi, Pb–Sb, Sn–Bi, Sn–Pb, Zn–Sn.
Если имеется таблица хронометража охлаждения сплава, то скорость охлаждения сплава может быть определена численным дифференцированием температуры сплава по времени с помощью команды «Редактор формул» программы <i>Excel</i> . Для численного дифференцирования трансформируется таблица хронометража охлаждения сплава (см. таблицу). В столбцах «С»,

«Е», «G», «I» вычисляются значения скорости охлаждения сплава.

	A (1)	B (2)	C (3)	D (4)	E (5)	F (6)	G (7)	H (8)	I (9)
1	Спл	00.01	00.01	00.02	00.02	00.03	00.03	00.04	00.04
2	«B», %								
3	τ , с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с	$^{\circ}\text{C}$	град/с
4	0								
5	10								
6	20								
...	...								
32	280								
33	290								
34	300								

Из ТКДК значение критической температуры сплава определяется как абсцисса порогового изменения скорости охлаждения сплава (см. рис. 1–4).



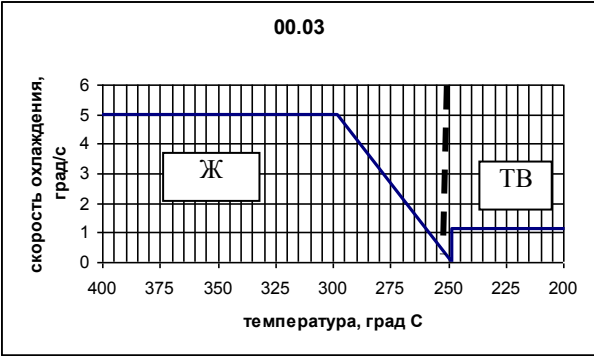


Рис. 3. ТКДК
эвтектическо-
го сплава ($t_L =$
 $t_S = t_{ЭВ1} = 248^\circ\text{C}$)

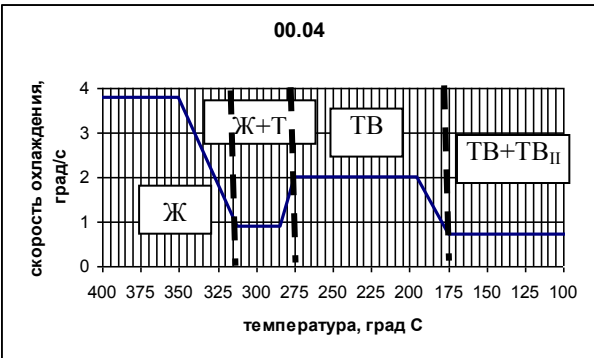


Рис. 4.
ТКДК сплава,
имеющего вто-
ричную кри-
сталлизацию
($t_L = 312^\circ\text{C}$; $t_S =$
 275°C ; $t_C =$
 175°C)

Таблица 25. Типовые диаграммы состояния двойных систем

Схема диаграммы состояния	Описание диаграммы состояния, системы
1	2
Общие обозначения: Ж – жидкая фаза; А, В – температура плавления компонентов «А», «В»; α , β , γ – твердые растворы; С – эвтектическая точка; x_C – эвтектическая концентрация.	
	Компоненты сплава образуют непрерывный ряд твердых растворов. Линии: AmB– ликвидус; AnB– солидус. Системы: Cu – Ni, Bi – Sb и др.

1	2
	Компоненты сплава образуют эвтектику из чистых компонентов. Линии: ACB – ликвидус; AECFB – солидус. Системы: Al – Si, Bi – Cd, Cd – Pb, Zn – Sn и др.
Схема диаграммы состояния	Описание диаграммы состояния, системы
1	2
Общие обозначения: Ж – жидкая фаза; А, В – температура плавления компонентов «А», «В»; α, β, γ – твердые растворы; С – эвтектическая точка; x_C – эвтектическая концентрация.	
	Компоненты сплава образуют непрерывный ряд твердых растворов. Линии: AmB – ликвидус; AnB – солидус. Системы: Cu – Ni, Bi – Sb и др.
	Компоненты сплава образуют эвтектику из чистых компонентов. Линии: ACB – ликвидус; AECFB – солидус. Системы: Al – Si, Bi – Cd, Cd – Pb, Zn – Sn и др.

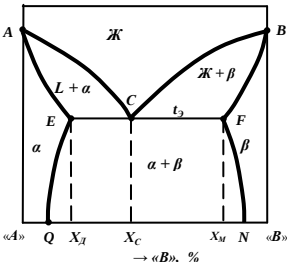
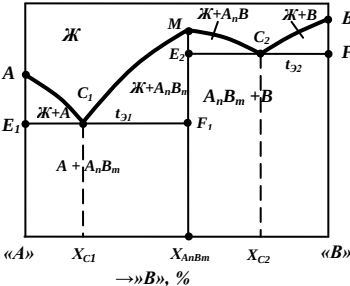
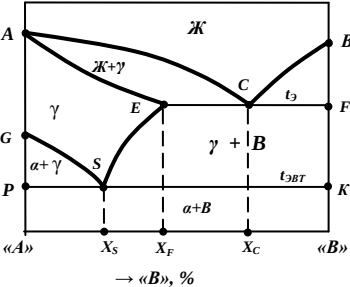
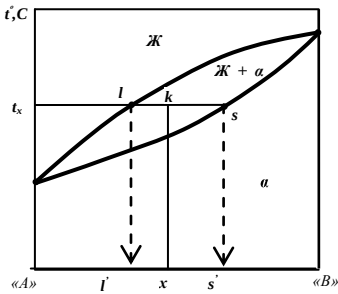
1	2
	Компоненты сплава образуют эвтектику из твердых растворов, ограниченная растворимость в твердом состоянии. Линии: ACB– ликвидус; AECFB– солидус; EQ, FN– сольвус. Системы: : Cd – Zn, Ag – Cu, Pb – Sb, Pb – Sn и др.
	Компоненты сплава образуют устойчивое химическое соединение при концентрации x_{AnBm}, две эвтектики состоят из чистого компонента и соединения A_nB_m. Линии: AC_1MC_2B– ликвидус; $AE_1C_1F_1E_2C_2F_2B$ – солидус. Системы: Al – Cu, Al – Mg, Fe – Fe_3C и др.
	Сплавы имеют эвтектическое (x_c), эвтектоидное (x_s) и полиморфное $\alpha \leftrightarrow \gamma$ превращения. Линии: ACB– ликвидус; AECFB – солидус; ES - сольвус; GS, GPS – полиморфное превращение. Системы: Fe – Fe_3C и др.

Таблица 26. Определение состава фаз сплава по диаграмме состояния (правило концентраций)

Определение: Состав фаз сплава k_i характеризуется абсциссами соответствующих концов коноды.

Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого сплава x температура исследуемого сплава t_x . Конфигуративная точка сплава $k(x, t_x)$. На изотерме t_x по-

строена конода lks. Определены абсциссы концов коноды l', s'.



Расчетные формулы

Состав жидкой фазы

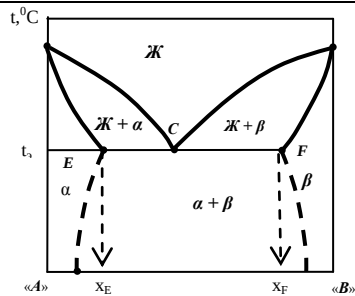
$Ж \rightarrow l'$

Состав твердой фазы

$ТВ \rightarrow s'$

Примечание: ось абсцисс диаграммы состояния обычно маркируется в % компонента «В».

Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии при эвтектической температуре t_E . Эвтектический сплав имеет состав x_C . Эвтектика состоит из твердых растворов $\Xi = (\alpha_3 + \beta_3)$. Определены абсциссы концов эвтектической прямой x_E , x_F .



Расчетные формулы

Состав твердого раствора α_3

$\alpha_3 \rightarrow x_E$

Состав твердого раствора β_3

$\beta_3 \rightarrow x_F$

Примечание: ось абсцисс диаграммы состояния обычно маркируется в % компонента «В».

Таблица 27. Структурная классификация Fe–C сплавов

С, %	Название сплава	Структура при 20° С	Применение
0,006 – 0,02	Техническое железо	Ф+Ц_{III}	Сердечники трансформаторов
0,02 – 0,8	Дозэвтектонидная сталь	Ф+П	Детали машин и конструкций
0,8	Эвтектонидная сталь	П	Режущий и мерительный инструмент
0,8 – 2,14	Заэвтектонидная сталь	П+Ц_{II}	
2,14 – 4,3	Дозэвтектический чугу ¹	Ф+П+Г	Конструкционные сплавы (фасонные отливки)
4,3	Эвтектический чугун	Л	Исследовательские сплавы
4,3 – 6,67	Заэвтектический чугун	Л+Ц_I	

Расшифровку обозначений фаз и структурных составляющих Fe–C сплавов см. ниже.

Пояснения:

В Fe – C сплавах различают три вида цементита Π_I , Π_{II} , Π_{III} . Π_I (первичный Π .) кристаллизуется из жидкой фазы в виде кристаллов игольчатой формы; наблюдаются в структуре заэвтектических чугунов. Π_{II} (вторичный Π .), Π_{III} (третичный Π .) образуются при вторичной кристаллизации из аустенита и феррита, соответственно. Π_{II} обнаруживается в виде сетки по границам зерен аустенита.

Примечания:

1– Различают доэвтектический белый чугун (весь углерод в сплаве находится в виде цементита Fe_3C) и конструкционный чугун (углерод помимо цементита находится в свободном виде в виде графита); структура доэвтектических конструкционных чугунов характеризуется структурой матрицы (Φ , $\Phi+\Pi$, Π) и формой графитных включений (серый чугун – пластинчатый графит $\Gamma_{пл}$, ковкий – хлопьевидный графит $\Gamma_{хл}$ и высокопрочный – шаровидный графит $\Gamma_{ш}$). Наличие в структуре свободного графита определяет многие эксплуатационные свойства чугунов (антифрикционность и др.), а наличие эвтектики – ледобурита определяет их хорошие литейные свойства. Конструкционные чугуны подпадают под определение композиционного материала.

Феррит (Φ) – твердый раствор углерода в α -железе: $Fe_\alpha(C)$, Φ . Φ . существует в сплавах при температуре ниже $727^\circ C$. При $727^\circ C$ Φ содержит 0,02% углерода (точка P), при $20^\circ C$ – 0,006% углерода (точка Q). Свойства Φ : $HV=900$ МПа, $\sigma_B=280$ МПа, $\delta=50\%$, $\psi=70\%$.

Аустенит (A) – твердый раствор углерода в γ -железе: $Fe_\gamma(C)$, A . A существует в сплавах при температуре выше $727^\circ C$. При $727^\circ C$ A содержит 0,8% углерода (точка S), при $1147^\circ C$ – 2,14% углерода (точка E).

Цементит (Π) – карбид железа, химическое соединение: Fe_3C , Π . При любой температуре Π содержит 6,67% углерода (точки D, F, K, L).

Ледобурит ($Л$) – механическая смесь аустенита и цементита (эвтектика). $Л$ содержит 4,3% углерода. При температуре ниже $727^\circ C$ аустенит ледобурита распадается на перлит и цементит.

Перлит (Π) – механическая смесь феррита и цементита (эвтектоид). Π содержит 0,8% углерода. Свойства Π : $HV=1900$ МПа, $\sigma_B=850$ МПа, $\delta=15\%$, $\psi=20\%$.

Графит (Γ) – свободный углерод, образующийся в сплавах Fe–C в результате графитизации белых доэвтектических чугунов.

Таблица 28. Анализ и синтез доэвтектоидного сплава по правилу

Н.С.Курнакова

Доэвтектоидные Fe–C сплавы (доэвтектоидные стали) при комнатной температуре содержат 0,006...0,8 % углерода и представляют собой **двухфазные сплавы** (состоят из феррита и цементита). Структурно доэвтектоидные сплавы представляют собой ферритно-цементитную двухфазную смесь с разным количеством эвтектоида – перлита (см. таблицу 23). По правилу Н.С.Курнакова зависимость состав→ свойство для доэвтектоидных сплавов имеет линейный характер. Для этих сплавов возможно решение задач материаловедческого анализа и синтеза сплава.

Анализ сплава «Содержание углерода X → Свойство H_X»		
$HB_x = 892 + 1259 \cdot x$	(1)	
$\sigma_{Bx} = 276 + 718 \cdot x$	(2)	
$\delta_x = 50,3 - 44 \cdot x$	(3)	
$\psi_x = 70,4 + 63 \cdot x$	(4)	
Синтез сплава «Свойство H_X → Содержание углерода X»		
$x(HB) = 0,000794 \cdot HB - 0,7086$	(5)	
$x(\sigma_B) = 0,001393 \cdot \sigma_B - 0,384035$	(6)	
$x(\delta) = 1,140286 - 0,022686 \cdot \delta$	(7)	
$x(\psi) = 1,1176 - 0,01588 \cdot \psi$	(8)	
Пояснения: x – содержание углерода в сплаве, %; HB – твёрдость сплава, МПа; σ_B – предел прочности сплава, МПа; δ – относительное сужение сплава, %; ψ – относительное сужение сплава, %. Интервал изменения параметров, входящих в уравнения регрессии 1-8: $x = 0,006 \dots 0,8$ %; $HB = 900 \dots 1900$ МПа; $\sigma_B = 280 \dots 850$ МПа; $\delta = 15 \dots 50$ %; $\psi = 20 \dots 70$ %.		

Таблица 29. Технология *ТО* стальных изделий и изделий из цветных сплавов

Технология <i>ТО</i> изделия – совокупность операций термообработки для конкретного изделия (с указанием режимов нагрева, выдержки и охлаждения). Для реализации термообработки используются нагревательные печи и закалочные ванны. При необходимости нагрев и охлаждение при <i>ТО</i> производится в расплавах солей или щелочей. Для контроля качества термической обработки используются твердомеры (в основном Роквелла, шкала С). Различают одинарную (отжиг, нормализация) и двойную (закалка+отпуск) термообработку. В ряде случаев изделия проходят более сложную термическую обработку. Например, заготовки из легированных сталей, при необходимости, проходят отжиг или нормализацию для улучшения обрабатываемости резанием, а после размерной обработки подвергаются термическому упрочнению (закалка+отпуск). Ниже в таблице представлены режимы упрочняющей <i>ТО</i> для некоторых групп стальных изделий, а также изделий из цветных сплавов.		
Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ <i>ТО</i>
<i>Конструкционные углеродистые и низколегированные стали</i>		
Силовые детали	Ст6, 30, 45 и др.	Полная закалка(вода) + высокий отпуск (воздух)
	30X, 45X, 30XM и др.	Полная закалка (масло) + высокий отпуск (вода ² или масло)
	30XГСНА, 40XГСНЗВА, 40XН2СМА и др.	Полная закалка(масло) + низкий отпуск (воздух)

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
	30ХГСА, 40ХН, 40ХН2МА и др.	Термомеханическая обработка: ВТМО: Нагрев до аустенитного состояния + деформация 20-40% в аустенитном состоянии + закалка + низкий отпуск. НТМО: Нагрев до аустенитного состояния + переохлаждение аустенита (до 400-600°C) + деформация (50-90%) + низкий отпуск.
	38Х2МЮА	Закалка+Высокий отпуск+Азотирование
	10, 20, 15Х, 20Х, 18ХГМ. 20ХН, 30ХГТ и др.	Цементация+Закалка (масло)+Низкий отпуск
Упругие детали	65, 70 и др.	Полная закалка (масло) + Средний отпуск (воздух)
	У10, У12 и др.	Неполная закалка (масло) + Средний отпуск (воздух)
	50ХФА и др.	Полная закалка (масло) + Средний отпуск (воздух)
<i>Инструментальные стали</i>		
Режущий и мерительный инструмент	У7, У8 и др.	Закалка (неполная с нагревом в соляной ванне и охлаждением из воды в масло) + Отпуск низкий (воздух)
Режущий инструмент сложной формы	ХВГ, 9ХС и др.	Закалка (неполная ступенчатая с нагревом в соляной ванне и охлаждением в расплаве щелочи) + Отпуск низкий (воздух)
Режущий инструмент высокой точности	Х, ХГ, ХВГ, 9ХС	Закалка+Обработка холодом (–50...–80°C)+Отпуск низкий (120...140°C; 24...48 часов)
Плоские измерительные инструменты	15, 20, 15Х, 20Х, 12ХН3А и др.	Цементация. Закалка в масле. Отпуск: низкий, воздух
Штампы для холодного деформирования	Х12М, Х12Ф1 и др.	Закалка (ступенчатая с медленным двухступенчатым нагревом под закалку в печи или соляной ванне, $t_{\text{зак}} = 1000...1030^\circ\text{C}$, охлаждение в расплаве щело-

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
		чей) + Отпуск (двойной $t_{отп}=180...200^{\circ}\text{C}$ и $t_{отп}=320...350^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе; крепежную часть штампов дополнительно отпускают при $600...700^{\circ}\text{C}$).
Штампы для горячего деформирования	7Х3; 5ХНМ; 5ХГН и др.	Закалка (нагрев под закалку в соляной ванне, $t_{зак}=830...880^{\circ}\text{C}$, охлаждение в масле) + Отпуск ($t_{отп}=400...550^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе; крепежную часть штампов дополнительно отпускают при $600...700^{\circ}\text{C}$).
Режущий инструмент для станочной обработки металла	P18, P6M5, P9M4K8 и др.	Закалка (нагрев под закалку в соляной ванне, $t_{зак}=1200...1300^{\circ}\text{C}$, охлаждение в масле и расплаве соли при $500-600^{\circ}\text{C}$) + Отпуск (трехкратный $t_{отп}=550...570^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе)
Тела качения, кольца подшипников, плунжеры, ролики толкателей	ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ	Закалка 810°C , вода–масло; отпуск 150°C , воздух
<i>Высоколегированные специальные стал и сплавы</i>		
Мартенситные		
Клапаны впуска и выпуска ДВС, трубки рекуператоров	40Х9С2, 40Х10С2М и др. – жаростойкие	Закалка ($t_{зак}=1000...1050^{\circ}\text{C}$, охлаждение в масле) + Отпуск ($t_{отп}=750...780^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе)
Бандажи, диафрагмы, болты гайки, шпильки при $t_{раб}=600^{\circ}\text{C}$	15Х11МФ, 20Х12ВНМФ и др. – жаропрочные	Закалка ($t_{зак}=1000-1050^{\circ}\text{C}$, охлаждение в масле) + Отпуск ($t_{отп} > t_{раб}$, охлаждение на воздухе)
Режущий и мерительный инструмент, пружины, рессоры и др.	30Х13, 40Х13, 95Х18	Закалка $1000...1050^{\circ}\text{C}$. масло; отпуск $200...300^{\circ}\text{C}$, воздух или масло
Мартенситно-старееющие		
Наиболее ответственные силовые детали в авиации,	03Н18К9М5Т, 03Н12К15М5 и др.	Закалка ($t_{зак}=800...860^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе) + Старение (температура $480...520^{\circ}\text{C}$)

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
ракетной технике, судостроении		
Ферритные		
Крепёжные детали при $t_{\text{раб}}=850^{\circ}\text{C}$	12X17 и др.	Термообработка без полиморфного превращения. Отжиг $t_{\text{отж}}=760\ldots780^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе.
Теплообменники, трубы	08X17T и др.	
Аустенитные		
Сварные аппараты и сосуды под давлением при $t_{\text{раб}}=-196\ldots650^{\circ}\text{C}$	12X18H10T и др. – гомогенные	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}}=1050\ldots1100^{\circ}\text{C}$, вода) + Стабилизирующий отпуск ($t_{\text{отп}}=750^{\circ}\text{C}$, воздух)
Детали арматуры и трубопроводов при $t_{\text{раб}}=650^{\circ}\text{C}$	45X14H14B2M и др. – дисперсионно твердеющие	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}}=1050\ldots1100^{\circ}\text{C}$, вода) + Старение (при $600\ldots750^{\circ}\text{C}$)
Аустенитные метастабильные		
Детали авиаконструкций, броневой лист, проволока тросов	25H25M4Г, 30X9H8M4Г2C2 и др.	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}}=1000\ldots1100^{\circ}\text{C}$, вода) + Обжатие ($50\ldots80\%$ при температуре $400\ldots600^{\circ}\text{C}$)
Сплавы на Fe+Ni и Ni основе		
Ответственные детали газовых турбин	ХН32Т, ХН35ВТ, ХН77ТЮР	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация $t_{\text{зак}}=1100\ldots1250^{\circ}\text{C}$, вода; старение при $850\ldots900^{\circ}\text{C}$ 10 часов, при 700°C 50 часов, воздух
Цветные сплавы		
Сплавы алюминия		
Строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей, детали самолетов	Дуралюмины Д1, Д16, Д20	Закалка $t_{\text{зак}}=495\ldots510^{\circ}\text{C}$, холодная вода; старение 190°C 10 час;

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
Подмоторные рамы, фитинги, крепёжные детали и др.	Ковочные АК6, АК8	Закалка $t_{\text{зак}} = 505 \dots 520^\circ\text{C}$, вода; старение $150 \dots 165^\circ\text{C}$ 6...15 час;
Обшивки, стрингеры, шпангоуты, лонжероны и др. при $t_{\text{раб}} = 100 \dots 120^\circ\text{C}$	Высокопрочные В95, В96	Закалка $t_{\text{зак}} = 460 \dots 470^\circ\text{C}$, вода; старение $135 \dots 145^\circ\text{C}$ 16час;
Листы, трубы, лопасти винтов вертолётов и др.	Авиаль АВ	Закалка $t_{\text{зак}} = 515 \dots 525^\circ\text{C}$, вода; старение 160°C 12час.
Сплавы меди-бронзы		
Пружины, сетки, антифрикционные детали	БРКН1–3, БрКМц3–1	Закалка $t_{\text{зак}} = 800^\circ\text{C}$, вода; старение 500°C
Пружины, мембраны, кулачки, шестерни и др.	БрБ2	Закалка $t_{\text{зак}} = 770 \dots 780^\circ\text{C}$, вода; старение $300 \dots 350^\circ\text{C}$, 2 час.
Сплавы магния		
Штампованные и сварные детали	МА5, МА11, МА12, МА14 и др.	Закалка $t_{\text{зак}} = 380 \dots 540^\circ\text{C}$, вода; старение $175 \dots 200^\circ\text{C}$
Литые детали (картеры, коробки передач и др.)	МЛ4, МЛ5, МЛ6, МЛ8 и др.	Закалка $t_{\text{зак}} = 380 \dots 540^\circ\text{C}$, вода; старение $300 \dots 315^\circ\text{C}$.
(α+β) сплавы титана		
Штамповки,ковки, прутки	ВТ3-1, ВТ9, ВТ14, ВТ22	Закалка (нагрев до (α+β) области, вода) + Старение ($480 \dots 550^\circ\text{C}$). ХТО: азотирование при $850 \dots 950^\circ\text{C}$ 30-60 час. в атмосфере N_2 .
Примечания: 1 - при указании вида закалки или отпуска соответствующий режим см. в таблице 31; 2 – легированные стали, подверженные отпускной хрупкости (30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Г2, 30ХГТ, 40ХФА и др.), после высокого отпуска охлаждаются в воде.		

Таблица 30.

Оборудование и инструмент для термической обработки

Термическая обработка изделий на машиностроительном или ремонтном предприятии проводится в термическом цехе или на термическом участке . К основному оборудованию термического цеха относятся: нагревательные печи, установки индукционного нагрева, закалочные ванны и другое подобное, с помощью которого выполняются основные технологические операции. К дополнительному оборудованию термического цеха относятся: правильные прессы, оборудование очистного отделения (моечные машины, травильные ванны, пескоструйные и дробеструйные установки и др.). К вспомогательному оборудованию термического цеха относятся: контрольно-измерительная аппаратура, твердомеры, установки приготовления защитных атмосфер и обработки холодом, всевозможные грузоподъемные и транспортные устройства.	
Наименование	Назначение
Нагревательная печь	Нагрев и выдержка изделия по заданному режиму при закалке и отпуске.
Закалочная ванна, заполненная охладителем	Охлаждение при закалке сталей перлитного и аустенитного класса; охлаждение после высокого отпуска легированных сталей, подверженных отпускной хрупкости II рода.
Криокамера с хладагентом	Обработка холодом некоторых изделий из инструментальных сталей.
Твердомер Роквелла	Контроль качества термической обработки изделия.
Кузнечные клещи	Для помещения изделия в печь и выемки из печи.

Таблица 31.

Виды термической обработки (ТО) сплавов

Наименование – определение	Назначение
1. Отжиг – <i>ТО</i> , в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной.	Повышение пластичности металла, снятие внутренних напряжений.
2. Закалка – <i>ТО</i> , в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура.	Упрочняющая обработка сплавов, имеющих фазовые превращения в твердом состоянии: переменная растворимость (выделение вторичной фазы); полиморфные превращения твердых растворов; распад высокотемпературного твердого раствора по эвтектоидной реакции и др. В сплавах с особыми свойствами позволяет изменить структурно-чувствительные фи-

Наименование – определение	Назначение
	зические или химические свойства: увеличить удельное электросопротивление или коэрцитивную силу, повысить коррозионную стойкость.
3. Нормализация – <i>ТО</i> , в результате которой металл испытывает полную перекристаллизацию (промежуточный вид <i>ТО</i> между отжигом и закалкой).	Обеспечение обрабатываемости резанием; получение прочности большей, чем при отжиге, но меньшей чем при закалке.
4. Отпуск и старение – <i>ТО</i> , в результате которой в предварительно закаленных сплавах происходят фазовые превращения, приближающие их структуру к равновесной	Сочетание закалки с отпуском или старением предполагает получение более высокого уровня эксплуатационных и физических свойств металла по сравнению с отожженным состоянием.
5. Термомеханическая обработка (ТМО) стали (пластическая деформация + термообработка) – <i>ТМО</i> состоит в нагреве стали до аустенитного состояния, деформации в аустенитном состоянии и охлаждении наклепанного аустенита, после чего – низкий отпуск.	Применяется для ответственных изделий из легированных сталей. ТМО позволяет получить: σ_B до 3000 МПа (300 кгс/мм ²), $\delta=6\div 8\%$. Закалка+низкий отпуск дает: σ_B до 2000 МПа (200 кгс/мм ²), $\delta=3\div 4\%$
6. Химико-термическая обработка (ХТО) – обработка сплава, состоящая из насыщения поверхности изделия некоторым элементом и последующей термической обработки (или без нее).	Применяют для повышения твердости и износостойкости поверхности изделия; повышения сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты изделий от электрохимической и газовой коррозии.
7. Обработка холодом – охлаждение закаленной стали, в структуре которой имеется остаточный аустенит, до температуры ниже 0°C.	Применяют для сталей, содержащих более 0,5% углерода, с целью уменьшения количества остаточного аустенита после закалки. После О.х. повышается твердость стали, повышаются магнитные характеристики, стабилизируются размеры изделий.

Режимные параметры *ТО*

1. Температура отжига $t_{отж}$ зависит от состава сплава и разновидности отжи-

Режимные параметры *ТО*

га; $V_{\text{охл}} = 30 \div 200$ град/час (охлаждение с печью).

2. Для получения неравновесной структуры сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии, после чего быстро охлаждают, чтобы зафиксировать неравновесную структуру и предотвратить равновесное превращение. При наличии в сплавах эвтектоидного превращения прочность возрастает либо вследствие мартенситного фазового перехода Fe–C и др. сплавы, либо из-за понижения температуры эвтектоидной реакции, приводящей к измельчению зерен эвтектоидной смеси (дисперсионно-твердеющие сплавы: мартенситно-стареющие стали, нимоники и др.). Если в результате закалки при $20 \div 25^\circ\text{C}$ фиксируется состояние высокотемпературного твердого раствора (сплавы Al–Cu, Cu–Be и др.) значительного упрочнения сплава непосредственно после закалки не происходит; основное упрочнение создается при повторном низкотемпературном нагреве (искусственное старение) или во время выдержки при $20 \div 25^\circ\text{C}$ (естественное старение).

3. Применяется для конструкционных сталей после горячей обработки давлением и фасонного литья. $t_{\text{норм}} = A_{C3} + 70^\circ\text{C}$; охлаждение на спокойном воздухе. Для легированных сталей после нормализации проводят отпуск при $650 \div 750^\circ\text{C}$ для улучшения обрабатываемости резанием.

4. Термин «отпуск» используют обычно применительно к сплавам, испытывающим при закалке полиморфные превращения (стали, двухфазные алюминийевые бронзы, некоторые сплавы титана). Термин «старение» применяют к сплавам, не претерпевающим при закалке полиморфного превращения (алюминийевые сплавы, аустенитные стали, никелевые сплавы и др.). В большинстве сплавов после закалки получают пересыщенный твердый раствор (или смесь твердых растворов); в этом случае основным процессом при отпуске и старении является распад пересыщенного твердого раствора. Температуру и выдержку выбирают таким образом, чтобы равновесное состояние при *ТО* не достигалось, как это происходит при отжиге. $V_{\text{охл}}$ с температуры отпуска или старения не влияет на структуру и свойства сплавов, исключение составляют некоторые легированные стали (отпускная хрупкость II рода).

5. Различают высокотемпературную термомеханическую обработку (**ВТМО**) и низкотемпературную (**НТМО**). **ВТМО**: нагрев $t > A_{C3}$ + деформация $\varepsilon = 20 \dots 30\%$ + немедленная закалка с низким отпуском. **НТМО**: нагрев $t > A_{C3}$ + переохлаждение аустенита до $600 \dots 400^\circ\text{C}$ + деформация $\varepsilon = 75 \dots 90\%$ + низкий отпуск.

6. Различают три стадии **ХТО**: I – протекают химические реакции в исходной (окружающей) среде, в результате которых образуются активные диффундирующие элементы, по-видимому, в ионизированном состоянии; II – происходит адсорбция [*адсорбция*, поглощение к.-л. вещества из газообразной среды или раствора поверхностным слоем жидкости или твердого тела

Режимные параметры *ТО*

(следует отличать от *абсорбции* – поглощение веществ из газовой смеси жидкостями)] или хемосорбция [*хемосорбция*, химическая сорбция, поглощение жидкостью или твёрдым телом веществ из окружающей среды, сопровождающееся образованием химических соединений (в более узком смысле хемосорбцию рассматривают как химическое поглощение вещества поверхностью твёрдого тела, т. е. как *химическую адсорбцию*)] диффундирующих элементов в поверхностный слой изделия, при этом возникает градиент концентрации (движущая сила для следующей стадии **ХТО**); III – диффузионное проникновение элемента в глубь поверхности обрабатываемого изделия, которое сопровождается образованием твердых растворов или фазовой перекристаллизацией. Стадия диффузии определяет скорость технологического процесса **ХТО**. После **ХТО** возможна термическая обработка (после *цементации* закалка и низкий отпуск) или **ХТО** не сопровождается заключительной термообработкой (*азотирование*).

6. Температурный режим обработки холодом определяется положением нижней мартенситной точки M_K (см. таблицу 32). Для большинства сталей M_K лежит ниже -80°C . Применяют для многих изделий, изготовленных из высокоуглеродистых сталей, для получения высокой твёрдости и (или) стабилизации размера (цементованные детали, режущий и мерительный инструмент, шарикоподшипники и т.д.).

Виды и способы закалики

1. Виды закалики

По температуре нагрева под закалку

1.1. Полная	Сталь под закалку нагревается до аустенитного состояния, применяется для доэвтектоидных сталей; $t_{\text{зак}} = A_{C3} + 50^\circ\text{C}$
1.2. Неполная	Сталь под закалку нагревается до аустенитно-цементитного состояния, применяется для заэвтектоидных сталей; $t_{\text{зак}} = A_{C1} + 50^\circ\text{C}$

По глубине проникновения фазового превращения при нагреве под закалку

1.3. Объемная	Сквозной прогрев детали до температуры закалики. Глубина закаленного слоя детали определяется прокаливаемостью стали.
1.4. Поверхностная газопламенная	Изделие нагревается пламенем газовой горелки и немедленно охлаждается водой для получения мартенсита в поверхностном слое. Используется для крупногабаритных изделий и в полевых условиях.
1.5. Закалка ТВЧ	Изделие нагревается в индукторе токами высокой частоты (ТВЧ) и немедленно охлаждается спрейером (душевое устройство). Глубина закаленного слоя при

Режимные параметры T_O	
	нагреве ТВЧ определяется в основном частотой тока.
2. Способы заковки (по способу охлаждения от температуры заковки)	
2.1. В одном охладителе	До полного охлаждения изделие находится в одном охладителе (углеродистая сталь $d > 5\text{мм}$ охлаждается в воде, легированная сталь – в масле).
2.2. Прерывистая в двух средах	Деталь быстро охлаждается в воде до температуры $M_H + 100^\circ\text{C}$, затем переносится в масло или охлаждается на воздухе. Медленное охлаждение в мартенситном интервале способствует уменьшению внутренних напряжений.
2.3. Струйчатая	Охлаждение детали проводится струей воды в специальном душевом устройстве (спрейер).
2.4. С самоотпуском	Охлаждается только рабочая часть закаливаемого инструмента. Затем инструмент вынимают из воды и отпускают за счет тепла, аккумулированного в неохлажденной части изделия. Температура самоотпуска определяется по цветам побежалости изделия.
2.5. Ступенчатая	Первая стадия охлаждения происходит в соляной ванне при $t_{\text{среды}} > M_H$. После выдержки в ванне следует медленное охлаждение детали, при котором происходит мартенситное превращение.
2.6. Изотермическая	Закаливаемая деталь помещается в расплав соли с температурой $250\text{--}350^\circ\text{C}$. Время выдержки в расплаве соли составляет 40-60 мин. (определяется временем изотермического распада аустенита). После выдержки медленное охлаждение.
2.7. Обработка холодом	Сразу после заковки изделие охлаждают до температур ниже M_K . Для получения отрицательных температур применяют специальные хладагенты (сухой лед, фреон и др.).

Назначение видов и способов заковки
1.1. Для конструкционных сталей. 1.2. Для инструментальных сталей. 1.3. Для силовых деталей, работающих в условиях объемного нагружения. 1.4, 1.5. Для получения твердого поверхностного слоя детали с сохранением вязкой сердцевины. Металл имеет высокую усталостную прочность за счет наличия в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия. Применяется для углеродистых (55ПП, 40, 45) и низколегированных сталей (40X, 45X, 40XH). 2.1. Для несложных деталей из углеродистых и легированных сталей. Наиболее

Назначение видов и способов закалки

простой способ закалки.

2.2. Для инструментальной стали. Способ закалки требует от термиста достаточной квалификации.

2.3. Закалка части детали. Обеспечивается более глубокая прокаливаемость стали, чем при закалке погружением в охладитель. Охлаждение при закалке ТВЧ.

2.4. Для ударного инструмента (зубила, кузнечный инструмент) для обеспечения плавного снижения твердости от режущей части к центру сечения и далее к хвостовой части инструмента.

2.5. Для деталей из углеродистой стали размером 10-12 мм, из легированной стали – 20-30 мм. Две ступени охлаждения позволяют снизить внутренние напряжения и деформацию при закалке.

2.6. Для деталей сложной формы и больших размеров из легированной стали. После изотермической закалки сталь имеет несколько меньшую твердость, чем при других способах закалки, и повышенную пластичность.

2.7. Для уменьшения количества остаточного аустенита, получения максимальной твердости и стабилизации размеров (инструмент, цементованные детали, тела качения и кольца шарикоподшипников).

Группа изделий (вид отпуска)	Режим отпуска, структура отпущенной стали *
Силовые детали (высокий)	$t_{\text{отп}} = 500 \dots 680^{\circ}\text{C}$. $\tau_{\text{отп}} = 1 \dots 2$ часа для деталей небольшого сечения и $\tau_{\text{отп}} = 3 \dots 8$ часов для массивных деталей (валы, диски газовых турбин и др.). Охлаждение на воздухе или в воде (для некоторых легированных сталей, подверженных отпускной хрупкости II рода). После высокого отпуска сталь имеет структуру сорбита отпуска см. таблицу 2.6.3.
Упругие элементы (средний)	$t_{\text{отп}} = 350 \dots 450^{\circ}\text{C}$. $\tau_{\text{отп}} = 1 \dots 2$ часа. Охлаждение на воздухе. После среднего отпуска сталь имеет структуру троостита отпуска см. таблицу 2.6.3.
Режущий и мерительный инструмент (низкий)	$t_{\text{отп}} = 120 \dots 250^{\circ}\text{C}$. $\tau_{\text{отп}} = 0,5 \dots 2$ часа в зависимости от сечения инструмента. При $t_{\text{отп}} = 100 \dots 120^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{отп}} = 10 \dots 15$ часов. Охлаждение на воздухе. После низкого отпуска сталь имеет структуру мартенсита отпуска см. таблицу 2.6.3.
Примечание: * температурно-временной режим отпуска указан для изделий из углеродистой стали.	

Таблица 32.

Критические точки стали

Обозначение	Линия диаграммы «Fe-Fe ₃ C»	Происходящее фазовое превращение
A ₁ (A _{r1} , A _{c1})	PSK	A _{r1} – окончание распада аустенита при образовании перлита.
		A _{c1} – начало превращения перлита в аустенит.
A ₂	MO	A _{r2} – приобретение ферритом магнитных свойств при охлаждении стали.
		A _{c2} – потеря ферритом магнитных свойств при нагревании стали.
A ₃ (A _{r3} , A _{c3})	GOS	A _{r3} – начало распада аустенита с образованием феррита.
		A _{c3} – получение однородного аустенита.
A ₄ (A _{r4} , A _{c4})	NJ	A _{r4} – получение однородного аустенита (высокотемпературное).
		A _{c4} – начало распада аустенита с образованием феррита (высокотемпературное).
A _{cm} (A _{rm} , A _{cm})	SE	A _{rm} – начало распада аустенита с образованием вторичного цементита.
		A _{cm} – получение однородного аустенита.
M _H	—	Начало мартенситного превращения (температура M _H зависит от состава стали).
M _K	—	Окончание мартенситного превращения (температура M _K зависит от состава стали).
Примечание: индекс «г» указывает на критическую точку при охлаждении сплава; индекс «с» указывает на критическую точку при нагревании сплава.		

Таблица 33.

Закаливаемость стали

Под закаливаемостью понимают способность стали повышать твердость в результате закалки. Закаливаемость стали определяется в первую очередь содержанием в стали углерода. Чем больше в мартенсите углерода, тем выше его твердость. Легирующие элементы оказывают относительно небольшое влияние на закаливаемость стали.
Эмпирическая формула для определения твердости мартенсита в зависимости от содержания углерода в стали
$HRC_M = 16,49 + 144,575341 \cdot C - 144,098182 \cdot C^2 + 47,795428 \cdot C^3, (1)$ здесь C – содержание углерода в стали, %.
Пояснения: формула (1) позволяет определять твердость мартенсита в угле-

родистых и легированных сталях, содержащих 0,1-1,2% углерода.
Эмпирическая формула для определения содержания углерода в стали для достижения требуемой твердости мартенсита
$C = 13,9 - 1,35855156HRC_M + 0,0487592HRC_M^2 - 0,0007566HRC_M^3 + 0,00000432HRC_M^4, \%$ (2)
здесь HRC_M – требуемая твердость мартенсита.
Пояснения: формула (2) позволяет определять содержание углерода в углеродистых и легированных сталях при твердости мартенсита в интервале $HRC_M = 30 \div 65$.

Таблица 34. Прокаливаемость и полумартенситная твердость стали

Под прокаливаемостью понимают способность стали получать закаленный слой с мартенситной или троосто-мартенситной структурой и высокой твердостью на ту или иную глубину. Прокаливаемость определяется критической скоростью охлаждения, зависящей от состава стали. За глубину закаленного слоя условно принимают расстояние от поверхности до зоны с полумартенситной структурой (50% мартенсита + 50% троостита). Твердость полумартенситной структуры $HRC_{ПМ}$ (полумартенситная твердость) зависит в основном от содержания углерода и в меньшей степени от легирования стали.
Прямая задача – определение $HRC_{ПМ}^*$ по заданному количеству углерода в стали
$HRC_{ПМ} = 18,756 + 20,011 \cdot C + 198,63 \cdot C^2 - 230,07 \cdot C^3, \quad (1)$ здесь $HRC_{ПМ}$ – искомое значение полумартенситной твердости; C – известное значение содержания углерода в стали, %.
Обратная задача – определение требуемого содержания углерода в стали C^* для достижения заданного значения $HRC_{ПМ}$
$C = 0,3776 - 0,0281 \cdot H + 0,001H^2 - 7E-06 \cdot H^3, \quad (2)$ здесь C – искомое значение содержания углерода в стали, %; H – известное значение полумартенситной твердости $HRC_{ПМ}$.
* Уравнения регрессии получены по данным [7].
Пояснения: уравнения (1, 2) получены для $C=0,125-0,575\%$; $HRC_{ПМ} = 25-55$.

Таблица 35. Торцовая закалка и характеристическое расстояние стали

Прокаливаемость стали по ГОСТ5657–69 определяют методом торцовой закалки. При этом цилиндрический образец, нагретый до температуры закалки, помещают в специальную установку, где он охлаждается водой с торца. После охлаждения образца до комнатной температуры измеряют твердость его поверхности по образующей цилиндра (на лыске). По этим данным определяют характеристическое расстояние $X_{ПМ}$ для стали, из которой изготовлен обра-
--

зец. $X_{\text{ПМ}}$ представляет собой расстояние по образующей от торца цилиндрического образца для торцевой закалки до точки, в которой твердость металла равна $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$ (см. таблицу 34). Ниже приведены эмпирические формулы для решения прямой и обратной задачи прокаливаемости для некоторых марок конструкционных сталей.
Прямая задача – определение $X_{\text{ПМ}}$ по зависимости твердость поверхности образца $\rightarrow$ координата точки $x = f(\text{HRC})$ для некоторого значения $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$, определяемого содержанием углерода в стали (см. таблицу 34).
$x = 140,59 - 12,198350 \times \text{HRC} + 0,401886 \times \text{HRC}^2 - 0,005697 \times \text{HRC}^3 + 29E - 06 \times \text{HRC}^4 \quad (1)$
$x = 459,29 - 48,10767759 \times \text{HRC} + 1,89321673 \times \text{HRC}^2 - 0,0326893 \times \text{HRC}^3 + 0,00020812 \times \text{HRC}^4 \quad (2)$
$x = 364,2 - 27,38591311 \times \text{HRC} + 0,80981539 \times \text{HRC}^2 - 0,01067796 \times \text{HRC}^3 + 0,00005138 \times \text{HRC}^4 \quad (3)$
$x = 152,72 - 2,19839554 \times \text{HRC} - 0,16625582 \times \text{HRC}^2 + 0,00491403 \times \text{HRC}^3 - 0,00003689 \times \text{HRC}^4 \quad (4)$
$x = 408,94 - 37,70713351 \times \text{HRC} + 1,31818201 \times \text{HRC}^2 - 0,02025185 \times \text{HRC}^3 + 0,00011461 \times \text{HRC}^4 \quad (5)$
$x = 2099,9 - 73,947 \times \text{HRC} + 0,6504 \times \text{HRC}^2 \quad (6)$
$x = 910,35 - 52,63488992 \times \text{HRC} + 1,08748805 \times \text{HRC}^2 - 0,00774323 \times \text{HRC}^3 \quad (7)$
Пояснения: (1) сталь 40 $\text{HRC}=22 \div 53$; (2) сталь 50 $\text{HRC} = 21 \div 51$; (3) сталь 40X $\text{HRC} = 28 \div 54$; (4) сталь 50X $\text{HRC} = 31 \div 63$; (5) сталь 50Г $\text{HRC} = 23 \div 57$; (6) сталь 40X2H2MA $\text{HRC} = 48 \div 54$; (7) сталь 50XH $\text{HRC} = 45 \div 56$.
Данные для решения задач №№ 5.51-5.53: сталь 40 $\rightarrow X_{\text{ПМ}} = 5,3$ мм; сталь 40X $\rightarrow X_{\text{ПМ}} = 8,7$ мм; сталь 40X2H2MA $\rightarrow X_{\text{ПМ}} = 50$ мм.
Обратная задача – определение HRC по зависимости координата точки $\rightarrow$ твердость поверхности образца $\text{HRC} = f(x)$ для некоторого значения координаты x.
$\text{HRC} = 11,72 + 55,80589221x - 25,06977522x^2 + 4,7790368x^3 - 0,4633569x^4 + 0,02250361x^5 - 0,00043489x^6 \quad (8)$
$\text{HRC} = 43,8 + 11,22331819x - 5,76749071x^2 + 0,93949387x^3 - 0,072390166x^4 + 0,00269004x^5 - 0,00003875x^6 \quad (9)$
$\text{HRC} = 55,36 - 0,303217x - 0,147028x^2 + 0,007328x^3 - 0,000104x^4 \quad (10)$

$$HRC = 61,33 + 1,455432x - 0,388073x^2 + 0,017552x^3 - 0,000237x^4 \quad (11)$$

$$HRC = 61,16 - 2,070647x - 0,336244x^2 + 0,031263x^3 - 0,000683x^4 \quad (12)$$

$$HRC = 54,31 - 0,10185929x - 0,00788555x^2 + 0,00028748x^3 - 0,00000279x^4 \quad (13)$$

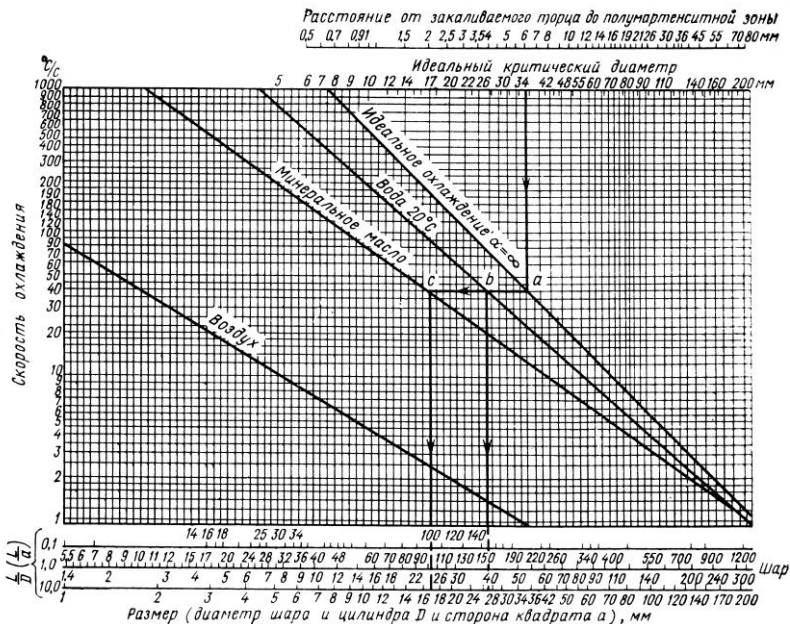
$$HRC = 55,25 + 0,480784x - 0,042824x^2 + 0,000973x^3 - 0,00001x^4 \quad (14)$$

Пояснения: (8) сталь 40 $x = 1,5 \div 13$ мм; (9) сталь 50 $x = 1,5 \div 21$ мм; (10) сталь 40X $x = 1,5 \div 30$ мм; (11) сталь 50X $x = 1,5 \div 36$ мм; (12) сталь 50Г $x = 1,5 \div 24$ мм; (13) сталь 40X2H2MA $x = 1,5 \div 50$ мм; (14) сталь 50XH $x = 1,5 \div 39$ мм.

Уравнения регрессии (1-14) получены обработкой данных [8] для средних значений твердости в полосах прокаливаемости сталей.

Таблица 36. Определение критического диаметра стали и изделия по номограмме прокаливаемости

Диаметр заготовки, в центре которой после закалки в данной охлаждающей среде образуется полумартенситная структура (см. таблицу 34), называют **критическим диаметром** D_K (D_{KB} , D_{KM} , D_{KB03}). Для определения критического диаметра используется номограмма прокаливаемости М.Е.Блантера.



Описание номограммы:

ось абсцисс: верхняя – значения идеального критического диаметра D_∞ в мм; нижняя – линии критических диаметров для тел простейшей формы (пла-

стины, шара, цилиндра, параллелепипеда с квадратным основанием, последняя шкала – для вала); цилиндры и параллелепипеды рассматриваются с разными отношениями L/D , L/D (L – высота цилиндра и параллелепипеда; D – диаметр цилиндра, a – сторона основания параллелепипеда).

ось ординат (логарифмическая) – значения скорости охлаждения $v_{\text{охл}}$ в град/с;

дополнительные линии: в верхней части номограммы параллельно оси абсцисс расположена **линия характеристического расстояния**, на которой откладывается расстояние $X_{\text{ПМ}}$ от закаливаемого торца до конца полумартенситной зоны 50% мартенсита + 50% троостита (пределы 0,5÷80 мм); косые линии – **линии охладителей** (идеальное охлаждение, вода 20°C, минеральное масло, воздух).

$$(1)X_{\text{ПМ}} \rightarrow (2)D_{\text{кк}} \rightarrow \begin{cases} D_{\text{КВ}}(3') \\ D_{\text{КМ}}(3'') \\ D_{\text{КВОЗД}}(3''') \end{cases}$$

Пользование номограммой: На номограмме нанесены линии, позволяющие значение идеального критического диаметра $D_{\text{кк}}$ перевести в критические диаметры в воде $D_{\text{КВ}}$, в масле $D_{\text{КМ}}$, на воздухе $D_{\text{КВОЗД}}$ для тел, простой геометрической

формы. Этот переход в виде шагов 1→2→3 выполняется по номограмме графически (см. ключ номограммы): здесь шаг 1 → $X_{\text{ПМ}}$ определяется по данным торцевой закалки (см. таблицу 35) и откладывается на линии характеристического расстояния;

шаг 2 → $D_{\text{кк}}$ определяется по номограмме перенесением значений $X_{\text{ПМ}}$ на верхнюю ось абсцисс;

шаг 3', 3'', 3''' → $D_{\text{КВ}}$, $D_{\text{КМ}}$, $D_{\text{КВОЗД}}$ определяются по номограмме перенесением соответствующих точек $D_{\text{кк}}$ сначала на линии охладителей (в зависимости от охладителя при закалке), а затем на линии критических диаметров для тела заданной геометрической формы (пластина, $L/D=0,1$; шар, $L/D=1$; вал, $L/D=10$).

Таблица 37. Классификационная таблица сплавов железа

Количественный признак	Название сплавов в соответствии с классификационным признаком
	<i>Химический состав¹ (содержание л.э.)</i>
$\Sigma \text{ л.э.}=0$	углеродистая сталь
$\Sigma \text{ л.э.}<2,5 \%$	низколегированная сталь
$\Sigma \text{ л.э.}=2,5-10 \%$	среднелегированная сталь
$\Sigma \text{ л.э.}=10-50 \%$	высоколегированная сталь
$\Sigma \text{ л.э.}>50 \%$	сплав на железоникелевой или никелевой основе
	<i>Способ производства (содержание кремния)</i>
$\text{Si}<0,1\%$	сталь кипящая («кп» в конце марки)
$\text{Si}=0,1-0,17\%$	сталь полуспокойная («пс» в конце марки)

Количественный признак	Название сплавов в соответствии с классификационным признаком
Si=0,15-0,35%	сталь спокойная («сп» в конце марки)
	<i>Качество (содержание серы и фосфора)</i>
S=0,055-0,06 % P=0,05-0,07 %	сталь обыкновенного качества
S, P по 0,035 %	сталь качественная
S, P по 0,025 %	сталь высококачественная («А» указывается в конце марки)
S, P по 0,015 %	сталь особовысококачественная («-Ш» указывается в конце марки)
	<i>Применение² (содержание углерода)</i>
C<0,2%	строительная – сталь для сварных конструкций; машиностроительная – сталь цементуемая (для цементации)
0,3<C<0,5%	сталь для силовых деталей машин (улучшаемая)
0,5<C<0,7%	рессорно-пружинная сталь – для упругих элементов машин
0,7<C<2,5%	инструментальная сталь – сталь для режущего, мерительного и деформирующего инструмента (подробнее см. таблицу 38)
2,5<C<4,0%	чугун – литейный конструкционный материал; – литой или наплавочный материал для работы в условиях абразивного изнашивания

Примечания: 1. Легирующие элементы Л. э. обозначаются в марке сплава буквами **русского алфавита** (см. таблицу 2.4.1); **количество Л. э.** – после буквы **в целых процентах** (как правило).

2. Приведена классификация в основном для углеродистых и низколегированных сталей, для высоколегированных сталей применение определяется также легированием (видом и количеством Л.э.).

Условное обозначение легирующих элементов при маркировке сплавов железа

Элемент (символ)	Буква ¹	Элемент (символ)	Буква ¹
Алюминий (Al)	Ю	Молибден (Mo)	М
Бор (В)	Р	Никель (Ni)	Н
Ванадий (V)	Ф	Ниобий (Nb)	Б
Вольфрам (W)	В	Свинец (Pb)	С⁴
Железо (Fe)	основа	Селен (Se)	Е
Кобальт (Co)	К	Титан (Ti)	Т
Кремний (Si)	С	Хром (Cr)	Х
Марганец (Mn)³	Г	Фосфор (P)	П

Примечания: 1– в маркировке сплавов железа используются буквы **русского алфавита**; 2 – при наличии в стали азота буква «А» записывается в середине марки; 3 – **жирным шрифтом** указаны часто встречающиеся легирующие

Количественный признак	Название сплавов в соответствии с классификационным признаком
элементы в сплавах железа; 4 – при маркировке конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием (автоматная сталь).	

Таблица 38. Функциональная классификация сталей

Применение	ГОСТ	C, %
Конструкционная строительная сталь		
Для сварных конструкций	380–2005	менее 0,2
	19282–73	0,09-0,15
Для арматуры	5781–82	0,2–0,35
Конструкционная машиностроительная сталь		
Для деталей, получаемых глубокой вытяжкой	380–2005	менее 0,15
	1050–88	менее 0,06
Для деталей, обрабатываемых на станках автоматах	1414–75	0,12-0,40
Для деталей котлов	5520–79	0,12-0,22
Для сварных деталей, работающих при повышенных температурах	20072–74	0,12-0,25
Для цементуемых деталей	1050–88	0,08-0,25
	4543–71	0,15-0,25
Для силовых деталей	380–2005	0,28-0,49
	1050–88	0,3-0,50
	4543–71	0,3-0,50
Для упругих элементов	14959–79	(0,65-0,85) ¹
	14959 ² –79	(0,47-0,75) ²
Инструментальная сталь		
Для инструмента для холодной обработки давлением и резанием	1435–99	0,7-1,3
	5950–2000	0,8-2,2
Для инструмента для горячей обработки пластическим деформированием	5950–2000	0,3-0,8
Для колец и тел качения подшипников качения	801–78	1,0
Для инструмента для станочной обработки (быстрорежущая сталь)	19265–73	0,7-1,10
Специальная сталь		
Для сварного оборудования, работающего в коррозионной среде	5632–72	менее 0,08
Для силовых деталей, работающих в особых условиях		0,08–0,2
Для деталей смешанного применения, ра-		0,2–0,4

Применение	ГОСТ	С, %
ботающих в особых условиях		0,4–0,95
Для инструмента и пружин, работающих в особых условиях		
Литейная сталь		
Для деталей сварно-литых конструкций	977–88	0,15-0,25
Для силовых литых деталей		0,30-0,45
Для деталей дробильного оборудования		1,1-1,3
Для литого режущего инструмента		0,8-0,9
Примечание: 1 – углеродистая сталь; 2 – легированная сталь.		

Таблица 39. Деформируемые конструкционные стали

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
Сталь обыкновенного качества ^{1, 2} , ГОСТ 380–2005	Ст+№марки+ раскисление («кп», «пс», «сп»)	Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5пс, Ст5сп, Ст6пс, Ст6сп
Сталь качественная конструкционная ² , ГОСТ 1050–88	%C×100+ раскисление («кп», «пс»)	05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
Сталь для котлов и сосудов, работающих под давлением ³ , ГОСТ 5520–79	%C×100+К	углеродистая: 15К, 16К, 18К, 20К, 22К
	%C×100+ЛЭ+ %ЛЭ	легированная: 09Г2С, 16ГС, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 14ХГС, 12ХМ, 10Х2М, 12Х1МФ
Сталь легированная конструкционная ² , ГОСТ 4543–71	%C×100+ЛЭ+%Л Э+ гр. качества «А» или «-Ш» в конце марки	15Х, 15ХА, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 50Х, 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 40Г, 45Г, 50Г, 20ХГР, 30ХГТ, 25ХГМ, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГС-Ш, 40ХН, 38Х2Н2МА, 38Х2МЮА
Сталь рессорно-пружинная ⁴ , ГОСТ 14959–79	%C×100+ЛЭ+%Л Э+ гр. качества «А» в конце марки	65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 70Г, 55С2, 55С2А, 60С2, 60С2А, 60С3А, 60С2Г, 50ХГ, 55ХГР, 50ХФА, 60С2Н2А
Сталь низколегированная универсальная ⁵ , ГОСТ 19282–73	%C×100+ЛЭ+ %ЛЭ	09Г2, 14Г2, 12ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С, 10Г2С1, 10Г2БД, 15Г2СФД, 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФпс, 14ХГС, 15Г2АФДпс, 10ХСНД, 10ХСНДП, 15ХСНД
Сталь для армирования ж/б конструкций ⁶ ,	%C×100+ЛЭ+ %ЛЭ	18Г2С, 20ХГ2Ц, 25Г2С, 35ГС

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
ГОСТ 5781–82		
Сталь теплоустойчивая ⁷ , ГОСТ 20072–74	%C×100+ЛЭ+ %ЛЭ	перлитная: 12МХ; 12Х1МФ; 20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1Б1; 25Х1МФ; 25Х2М1Ф; 18Х3МВ; 20Х3МВФ; мартенситная: 15Х5; 15Х5М; 15Х5ВФ; 12Х8ВФ
Сталь высоколегированная ⁸ , ГОСТ 5632–72	%C×100+ЛЭ+ %ЛЭ	9 – 20Х13, 40Х13, 65Х13, 14Х17Н2, 03Х23Н6, 12Х18Н10Т и др.; 10 – 40Х9С2, 40Х10С2М, 12Х18Н10Т, 20Х23Н18 и др. 11 – 12Х18Н10Т, 20Х23Н18 и др.
Сплав на Fe+Ni основе (Ni<50%), ГОСТ 5632–72	ХН+%Ni+ЛЭ	9 – 06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ и др.; 10 – ХН38ВТ, ХН28МТ, ХН45Ю и др.; 11 – ХН35ВТ, ХН38ВТ, ХН45Ю и др.
Сплав на Ni основе (Ni>50%), ГОСТ 5632–72	Н+%Ni+ЛЭ или ХН+%Ni+ЛЭ	9 – Н70МФВ, ХН65МВ и др. 10 – ХН60Ю, ХН70Ю, ХН78Т, ХН75МБТЮ и др.; 11 – ХН60Ю, ХН70Ю, ХН78Т, ХН75МБТЮ и др.

Примечания

1 – примерное содержание углерода определяется по формуле $C=0,07 \cdot \text{№}$; **2** – применение определяется содержанием углерода (см. таблицу 37); **3** – для котельного оборудования; **4** – для упругих элементов; **5** – для сварных конструкций; **6** – арматура периодического профиля; **7** – для деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600°C в течении длительного времени; **8** – применение определяется содержанием углерода и легированием (см. таблицу 38); **9** – преимущественно коррозионностойкие сплавы; **10** – преимущественно жаростойкие сплавы $t_{\text{раб}} > 550^\circ\text{C}$; **11** – преимущественно жаропрочные сплавы $t_{\text{раб}} > 550^\circ\text{C}$.

Таблица 40. Деформируемые инструментальные стали

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
Сталь нелегированная инструментальная ¹ , ГОСТ 1435–99	У+%C×10+ группа качества («А»)	У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А
Сталь легированная инструментальная, ГОСТ 5950–2000	%C×10+ЛЭ+%ЛЭ	2 – 9ХФ, 13Х12Х1, 9ХВГ, 9Г2Ф, 8Х6НФТ и др. 3 – 7Х3, 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХС, 3Х3М3Ф и др.

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
	ЛЭ+%ЛЭ (C>1%)	2 – ХВ4Ф, Х, ХВГ, Х12 и др.
Сталь подшипниковая ⁴ , ГОСТ 801–78	ШХ+%Cr×10+ ЛЭ+%ЛЭ	ШХ4, ШХ15, ШХ15-Ш, ШХ15СГ, ШХ15СГ-Ш, ШХ20СГ и др.
Сталь быстрорежущая ⁵ , ГОСТ 19265–73	P+%W+ ЛЭ+%ЛЭ (C=0,7...1,1%; Cr=2%; V=1...3%)	P18, P9, P6M5, 11P3AM3Ф2, P6M5Ф3, P12Ф3, P18K5Ф2, P9K5, P6M5K5, P9M4K8, P2AM9K5
Примечания		
1 – для инструмента для обработки дерева, для ручной обработки металла; 2 – для инструмента для обработки в холодном состоянии $t_{обр} < 300^{\circ}\text{C}$; 3 – для инструмента для обработки в горячем состоянии $t_{обр} > 300^{\circ}\text{C}$; 4 – для тел качения и колец подшипников качения (C=0,7...1,1%, Cr V); 5 – для станочного режущего инструмента.		

Таблица 41.

Литейные сплавы железа

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Группы марок
Сталь литейная, ГОСТ 977–88	%C×100+Л	1
	%C×100+ЛЭ+%ЛЭ+Л	2; 3; 4; 5; 6; 7
Чугун с пластинчатым графитом (серый), ГОСТ 1412–85	СЧ+σ _В кгс/мм ²	1
Чугун с шаровидным графитом (высокопрочный). ГОСТ 7293–85	ВЧ+ σ _В кгс/мм ²	2
Чугун с вермикулярным графитом, ГОСТ 28394–89	ЧВГ+ σ _В кгс/мм ²	3
Чугун ковкий, ГОСТ 1215–79	КЧ+ σ _В кгс/мм ² +δ %	4
Чугун легированный, ГОСТ 7769–82	Ч+ЛЭ+%ЛЭ+Ш Ш – шаровидный графит	5

Марки сплавов

Марки сталей: 1 – конструкционная нелегированная: 15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л и др.; 2 – конструкционная легированная: 20ГЛ, 35ХГСЛ, 45ФЛ, 12ДХН1МФЛ, 30Х3С3ГМЛ, 03Н12 Х5М3ТЮЛ и др.; 3 – специальная коррозионностойкая: 20Х13Л, 09Х17Н3СЛ, 15Х25ТЛ, 14Х18Н4Г4Л, 12Х18Р9ТЛ; 4 –специальная жаростойкая: 20Х5МЛ, 40Х9С2Л, 35Х23Н7СЛ, 55Х18Г14С2ТЛ; 5 – специальная жаропрочная: 20Х12ВНМФЛ, 35Х18Н24С2Л, 20Х21Н46В8РЛ; 6 – специальная износостойкая: 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 130Г14ХМФАЛ; 7 – специальная быстро-

Марки сплавов
режущая: 85Х4М5Ф2В6Л (Р6М5Л), 90Х4М4Ф2В6Л (Р6М4Ф2Л). Марки чугунов с указанием структуры матрицы Ф-ферритная; П-перлитная; Ф+П-феррито-перлитная; Б-бейнитная: 1 – серый: СЧ10; СЧ15 (Ф); СЧ18; СЧ20; СЧ21; СЧ24; СЧ25 (Ф+П); СЧ30; СЧ35 (П); 2 – высокопрочный: ВЧ35 (Ф); ВЧ40; ВЧ50, ВЧ60 (Ф+П); ВЧ70; ВЧ80 (П); ВЧ100 (Б); 3 – с вермикулярным графитом ЧВГ30; ЧВГ35; ЧВГ40; ЧВГ45; 4 – ковкий КЧ30-6, КЧ33-8; КЧ35-10; КЧ37-12; КЧ45-7; КЧ55-5; КЧ55-4; КЧ60-3; КЧ65-3; КЧ70-2; КЧ80-1,5; 5 – легированный для специальных отливок (обозначение л.э. см. в таблице 37): жаростойкие – ЧХ1, ЧХ2, ЧС5, ЧС5Ш, ЧЮХШ; коррозионностойкие – ЧС13, ЧС15 (ферросилид), ЧС17 (ферросилид), ЧС15М4 (антихлор), ЧС17М3 (антихлор), ЧНХТ, ЧНХМД, ЧНМШ, ЧНДХМШ; износостойкие – ЧХ3Т, ЧХ9Н5, ЧГ6С3Ш, ЧГ7Х4, ЧХ3ХМДШ, ЧН2Х, ЧН4Х2; коррозионностойкие и жаростойкие – ЧХ22С, ЧХ28; жаростойкие и износостойкие – ЧХ3, ЧХ16, ЧХ32, ЧЮ6С5, ЧЮ7Х2; жаропрочные и маломагнитные – ЧН11Г7Ш, ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш; жаропрочный, хладостойкий, маломагнитный – ЧН20Д2Ш.

Таблица 42. Подгруппы сталей и сплавов никеля, имеющие собственные названия

Подгруппа, марки, особенности применения
Сталь легированная конструкционная ГОСТ 4543–71
<i>Хромансиль</i>
Среднеуглеродистая хромокремнемарганцовая сталь. Марки: 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГС, 30ХГСА, 35ХГСА. Применяется для ответственных сварных и штампованных деталей, применяемых в улучшенном состоянии: ходовые винты, оси, валы, червяки, коленчатые валы, штоки и др.
<i>Нитраллой</i>
Среднеуглеродистая сталь хромоалюминиевая с молибденом марки 38Х2МЮА. Применяется для изготовления азотируемых деталей. Поверхностный азотированный слой имеет большую твердость (до 1200 НV) и износостойкость.
Сталь высоколегированная ГОСТ 5632–72
<i>Сильхромы</i>
Среднеуглеродистые жаростойкие и жаропрочные стали. Марки: 40Х9С2, 40Х10С2М. В зависимости от требуемого уровня эксплуатационных свойств С . дополнительно легируют Мо (до 0,9%) и Si (до 1,8%). Устойчивы против окисления на воздухе и в содержащих серу средах до 850-950°C; С . применяются главным образом для изготовления тарелок клапанов двигателей внутреннего сгорания, а также деталей котельных установок, колосников и др.
Сплавы никеля ГОСТ 5632–72
<i>Хастеллой</i>

Коррозионностойкие никелевые сплавы типа Ni – Mo и Ni – Cr – Mo, содержат 15-30% Mo, до 16% Cr, дополнительно легируются кобальтом и др. элементами. Для предупреждения межкристаллитной коррозии содержание углерода в Х . снижено до 0,02-0,05%. Марки: Н70МФВ, ХН65МВ, ХН65МВУ. Х . Применяются как кислотостойкие сплавы, обладают высокой жаропрочностью до 800°С после термообработки закалка+старение. Однако максимальное упрочнение Х . соответствует минимуму коррозионной стойкости.
<i>Нимоники</i>
Дисперсионно твердеющие жаропрочные сплавы на основе никеля, содержащие Cr, Ti, Al. Марки: ХН77ТЮ, ХН77ТЮР и др. Н . применяются для лопаток турбин реактивных двигателей.
<i>Инконели</i>
Гомогенный жаропрочный и жаростойкий (основное свойство) сплав, содержащий ~ 15% хрома и до 9% железа. Марки: ХН80ТБЮ, ХН70ВМТЮ и др. И . применяются как конструкционный материал для деталей газотурбинных двигателей, сверхзвуковых самолётов, ракет и др. И . отличаются высокими прочностью и ударной вязкостью при температурах до 900°С, нечувствительностью к надрезам при низких (до -78 °С) температурах. И . обладают хорошей свариваемостью, поэтому их применяют в качестве сварочного материала при получении сварных соединений, работающих при высокой температуре.
Сталь литейная ГОСТ 977–88
<i>Гадфильда сталь</i>
Износостойкая сталь с высоким содержанием марганца (11- 14%) марки: 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ и др. Из Г.с. изготавливают рельсовые крестовины, части стрелочных переводов, щёки дробилок и другие детали, подвергающиеся истиранию при больших удельных давлениях.

Таблица 43. Условное обозначение легирующих элементов при маркировке цветных сплавов

Элемент (символ)	Буква ¹	Элемент (символ)	Буква ¹
Алюминий² (Al)	основа³, А	Мышьяк (As)	Мш
Бериллий (Be)	Б	Никель (Ni)	Н
Железо (Fe)	Ж	Олово (Sn)	основа⁵, О
Кадмий (Cd)	Кд	Свинец (Pb)	основа⁶, С
Кобальт (Co)	К (Ко)	Сурьма (Sb)	Су
Кремний (Si)	К (Кр)	Серебро (Ag)	Ср
Магний (Mg)	Мг	Фосфор (P)	Ф
Марганец (Mn)	Мц	Цинк (Zn)	основа⁷, Ц
Медь (Cu)	основа⁴, М		
Примечания: 1 – буква русского алфавита; 2 – жирным шрифтом выделены часто употребляемые легирующие элементы в цветных сплавах; 3-7 основа сплавов: 3–алюминиевые конструкционные сплавы, подшипниковые сплавы; 4–бронзы, латуни, Cu-Ni сплавы, припой ПМЦ; 5–оловянные баббиты; припой ПОС, ПОЦ; 6–винцовые баббиты; 7–латуни, подшипниковые сплавы, припой ПОЦ.			

Таблица 44. Деформируемые цветные сплавы

Схема маркировки	Марки
Алюминиевые сплавы ГОСТ 4784–97	
Система	Марки
Al-Mn	АМц; АМцС, Д12
Al-Mg-Si	АД31; АД31Е; АД33; АД35; АВ (авиаль)
Al-Cu-Mg-Mn (дуралюмины)	Д1, Д16, В65, Д18, Д19, Д21, Д20, ВД17
Al-Zn-Mg-Cu (высокопрочные сплавы)	1915, 1925, В65, В95, В93, В95-1, В95-2
Al-Cu-Mg-Si (ковочные сплавы)	АК4, АК4-1, АК6, АК8, 1201, 1105
Al-Mg (магналии)	АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6
Магниевые сплавы ГОСТ 14957–76	
МА + №марки	МА5; МА11; МА14; МА19
Латунь (основа Cu+Zn) ГОСТ 15527–2004	
Л+ЛЭ+%Cu+%ЛЭ; Zn - остальное	Л90, Л68, Л63, Л60, ЛА77-2, ЛАН59-3-2, ЛН65-5, ЛЖМц59-1-1, ЛМц58-2, ЛО70-1, ЛК80-3 и др.
Бронза (основа Cu)	
Бронза оловянная ГОСТ 5017–2006	
Бр+ЛЭ+%ЛЭ Cu – остальное	БрОФ6,5-0,15; Бр0Ф6,5-0,4; БрОФ2-0,25; БрОФ4-0,25; БрОЦ4-3; БрОЦС4-4-2,5 и др.
Бронза безоловянная ГОСТ 18175–78	
Бр+ЛЭ+%ЛЭ Cu – остальное	БрА5; БрА7; БрАМц9-2; БрАМц10-2; БрАЖ9-4; БрАЖН10-4-4; БрБ2; БрБНТ1,7; БрБНТ1,9; БрБНТ1,9Мг; БрБКМц3-1; БрКН1-3; БрМц5; БрАЖНМц9-4-4-1; БрКд1; БрМг0,3; БрХ1; БрХЦр; БрНХК2,5-0,7-0,6
Медно-никелевые сплавы (основа Cu+Ni) ГОСТ 492–2006	
МН+ЛЭ+%Ni+%ЛЭ Cu – остальное	МН95-5; МН25; МНА6-1,5 (куниаль-Б); МНА13-3 (куниаль А); МНЦ15-20, МНЦ12-24, МНЦ18-20, МНЦС16-29-1,8 (нейзильберы); МН19, МНЖ5-1, МНЖМц10-1-1, МНЖМц30-1-1 (мельхиоры)
Титановые сплавы ГОСТ 19807–91	
α -сплавы→ ВТ+№марки	ВТ5; ВТ5-1
псевдо -α -сплавы→ ОТ+№марки ВТ+№марки	ОТ4-1; ОТ4 ВТ20

Схема маркировки	Марки
$(\alpha+\beta)$ -сплавы→ ВТ+№марки	ВТ6; ВТ14; ВТ16; ВТ22
Примечания: Системы алюминиевых сплавов: 1. Al-Mn; 2. Al-Mg-Si; 3. Al-Cu-Mg-Mn (дуралюмины); 4. Al-Zn-Mg-Cu (высокопрочные сплавы); 5. Al-Cu-Mg-Si (ковочные сплавы); 6. Al-Mg-Si-Cu-Mn (авиаль).	

Таблица 45.

Литейные цветные сплавы

Алюминиевые сплавы ГОСТ 1583–93	
<i>A+ЛЭ+%ЛЭ</i>	
АК12 (АЛ2 ¹), АК9, АК9ч (АЛ4), АК8л (АЛ34), АК7, АК7ч (АЛ9), АК7пч (АЛ9-1), АК9Су, АК5М (АЛ5), АК5Мч (АЛ5-1), АК5М2, АК5М2, АК8М (АЛ32), АК5М4, АК8М3, АК8М3ч (ВАЛ-8), АК9М2, АК12М2, АК12ММгН (АЛ30), АК12М2МгН (АЛ25), АК21М2,5Н2,5 (ВКЖЛС-2), АМ5 (АЛ19), АМ4,5Кд (ВАЛ-10), АМг5К (АЛ13), АМг5Мц (АЛ28), АМг6л (АЛ23), АМг10 (АЛ27), АМг11 (АЛ22), АМг7 (АЛ29), АК7Ц9 (АЛ11), АК9Ц6, АЦ4Мг (АЛ24)	
Магниевые сплавы ГОСТ 2856–79	
<i>МЛ+№ марки</i>	
МЛ5; МЛ8; МЛ12; МЛ9; МЛ10; МЛ15	
Латунь (основа Cu+Zn) ГОСТ 17711–93	
<i>ЛЦ+% Zn+ЛЭ+% ЛЭ</i> (Cu – остальное)	
ЛЦ40С, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ30А3, ЛЦ23А6Ж3Мц2, ЛЦ16К4, ЛЦ14К3С3	
Бронза (основа Cu)	
Бронза оловянная ГОСТ 613–79	
<i>Бр+ЛЭ+% ЛЭ</i> (Cu – остальное)	
БрО3Ц7С5Н1, БрО3Ц12С5, БрО4С17, БрО5Ц5С5, БрО10Ц2, БрО10Ф1	
Бронза безоловянная ГОСТ 493–79	
<i>Бр+ЛЭ+% ЛЭ+Л²</i> (Cu – остальное)	
БрА9Мц2Л; БрА10Мц2Л; БрА9Ж3Л; БрА10Ж3Мц2Л; БрА10Ж4Н4Л; БрА11Ж6Н6; БрА9Ж4Н4Мц1; БрА7Мц15Ж3Н2Ц2; БрС30; БрСуЗН3Ц3С20Ф	
Титановые сплавы	
<i>ВТ+№марки+Л</i>	
ВТ5Л; ВТ3-1Л; ВТ14Л; ВТ20Л	
Примечания: 1 – в скобках указана старая маркировка алюминиевых литейных сплавов; 2 – «Л» в конце марки литейной бронзы указывается в случае, если бронза одного состава выпускается в виде деформируемого и литейного сплава (пример: сплавы БрА9Мц2Л и БрАМц9-2 в таблице 44).	

Таблица 46.

Подгруппы цветных сплавов, имеющие
собственные названия

Сплавы системы <i>Cu-Ni</i>
<i>Монель-металл</i>
Никель-медный сплав, легированный железом и марганцем, марки НМЖМц28-2,5-1,5. М.-м. обладает высокой коррозионной стойкостью (на воздухе, в воде, во многих кислотах и крепких щелочах) в сочетании со сравнительно высокой механической прочностью; жаростоек до 500°C. М.-м. применяется для изготовления деталей и аппаратов в химической, судостроительной, медицинской, нефтяной, текстильной и других отраслях промышленности.
<i>Мельхиоры</i>
Сплавы, содержащие Ni =5-30%, отличаются высокой стойкости против коррозии в воздушной атмосфере, пресной и морской воде. Марки М.: МН19, МНЖ5-1, МНЖМц10-1-1, МНЖМц30-1-1. Увеличенное содержание Ni, а также добавки Fe и Mn обеспечивают М. повышенную коррозионную и кавитационную стойкость, особенно в морской воде и в атмосфере водяного пара. Благодаря Ni, М. , в отличие от латуней и бронз, имеет не желтоватый, а серебристый цвет, который в сочетании с высокой коррозионной стойкостью предопределил применение сплава МН19 для изготовления посуды и др. изделий массового потребления, в том числе чеканных.
<i>Нейзильберы</i>
Сплавы, содержащие 5-35% Ni и 13-45% Zn. При повышенном содержании никеля Н. имеет красивый белый цвет с зеленоватым или синеватым отливом и высокую стойкость против коррозии. Н. применяется в электротехнике (плоские пружины реле), для производства посеребрённой посуды и художественных изделий, называемых мельхиоровыми, приборов точной механики, медицинского инструмента, паровой и водяной арматуры.
<i>Куниали</i>
Сплавы, содержащие 4-20% Ni и 1-4% Al. Марки: МНА 13-3 (К. А), МНА 6-1,5 (К. Б). К. отличаются высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, пресной и морской воде. К. А после закалки и старения имеет: $\sigma_B \geq 700$ МПа (70 кгс/мм ²), $\delta \geq 7\%$. В нагартованном состоянии К. А имеет σ_B до 950 МПа (95 кгс/мм ²) при $\delta = 2-4\%$. К. применяются для изготовления деталей специального назначения, которые должны обладать одновременно прочностью и высокой коррозионной стойкостью.
Сплавы алюминия
<i>Дуралюмин (дюралюминий)</i>
Сплавы системы Al-Cu-Mg-Mn, упрочняемые термической обработкой. Марки Д.: Д1, Д16, Д18, Д19, Д21, Д20. На закалённом Д. было открыто явление упрочнения при естественном старении (А. Вильм, 1906). Из Д. методом полунепрерывного литья отливают слитки, которые подвергают

обработке давлением (прокатке, прессованию и т.п.) для получения плит, листов, профилей, труб, проволоки для заклёпок, поковок и др. полуфабрикатов. Д. закаливают в воде при температуре около 500°C и затем подвергают естественному старению в течение 4 сут или реже искусственному старению при температуре около 190°C. После такой термической обработки предел прочности Д. разных марок составляет примерно 400-500 МПа (40-50 кг/мм²). Д. широко применяют в авиации. Из сплава Д1 изготовляют лопасти воздушных винтов, из Д16 – <i>шпангоуты</i>¹, <i>нервюры</i>², тяги управления и др. Кроме того, Д. используют для строительных конструкций, кузовов грузовых автомобилей, <i>обсадных труб</i>³ др. Сплав Д18 – один из основных заклепочных алюминиевых сплавов. Заклепки из Д. Д18 ставят в конструкцию после закалки и естественного старения.
<i>Ковочные сплавы</i>
Сплавы системы Al-Cu-Mg-Si, упрочняемые термообработкой. Марки К. с.: АК4, АК4-1, АК6, АК8. К. с. обладают хорошей пластичностью и стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации. Ковку и штамповку К. с. ведут при 450-475°C, их применяют после закалки и искусственного старения. Сплавы с пониженным содержанием меди (АК6) отличаются лучшей технологической пластичностью, но меньшей прочностью ($\sigma_B=360$ МПа). К. с. используются для средненагруженных деталей сложной формы: большие и малые крыльчатки, <i>фитинги</i>⁴, качалки, крепежные детали. К. с. с повышенным содержанием меди (АК8) хуже обрабатываются давлением, но более прочны и применяются для высоконагруженных деталей несложной формы: подмоторные рамы, пояса <i>лонжеронов</i> и др.
<i>Высокопрочные сплавы</i>
Сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu отличаются высокой прочностью ($\sigma_B=600-700$ МПа) после термообработки. Марки В.с.: В65, В95, ВД17, В93, В96Ц, В91, В92. Наибольшее упрочнение вызывает закалка (465-475°C) и старение (140°C, 16 ч). В.с. применяются в авиации для высоконагруженных деталей конструкций, работающих в основном в условиях сжатия (обшивки, <i>стрингеры</i>⁶ шпангоуты, лонжероны и др.).
<i>Магналии</i>
Сплавы системы Al-Mg, характеризующиеся высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью, высокой пластичностью. Деформируемые М. (1-7% Mg): АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6; литейные М. (4-13% Mg): АМг4К1,5М, АМг5К (АЛ13), АМг5МЦ (АЛ28), АМг6Л (АЛ23), АМг10 (АЛ27), АМг11 (АЛ22), АМг7 (АЛ29). Литейные М. имеют прочность $\sigma_B = 340-380$ МПа (34-38 кгс/мм²) , $\delta = 10-20\%$; деформируемые сплавы имеют прочность $\sigma_B = 80-340$ Мн/м² (8-34 кгс/мм²), $\delta = 20-40\%$. Деформируемые М. применяются в качестве конструкционного (сварные конструкции, заклёпки) и декоративного материала.

<i>Силумины</i>
Сплавы Al-Si (кремний 4-13%, в некоторых марках до 23%) повышенной коррозионной стойкости во влажной и морской атмосферах. Марки С.: АК12(АЛ2), АК9ч(АЛ4), АК8л (АЛ34), АК7ч(АЛ9), АК5М2, АК5М7, АК6М2, АК8М (АЛ32), АК5М4, АК8М3, АК9М2, АК12М2, АК12ММгН (АЛ30), АК12М2МгН (АЛ25), АК12М2,5Н2,5 (ВКЖЛС-2) и др. С. применяются для изготовления деталей сложной конфигурации, главным образом в авто- и авиастроении.
<i>Авиаль</i>
Деформируемый сплав марки АВ: Mg 0,45-0,9%; Si 0,5-1,2%; Cu 0,2- 0,6%; Mn 0,15-0,35% (или Сг в том же количестве); Fe не более 0,5%; Zn не более 0,1%, остальное - Al. А. обладает высокой пластичностью, удовлетворительной коррозионной стойкостью. Применяется для производства сложных по форме деталей средней прочности, в частности кованных и штампованных (лопасти винтов вертолётов, профили и обшивку для строительных конструкций, кованные детали двигателей и т. п.).
<i>САП</i>
САП (спечённая алюминиевая пудра) – сплавы на основе Al – Al ₂ O ₃ . САП получают путём холодного брикетирования алюминиевой пудры (порошка), вакуумной дегазации брикетов (отжига) и последующего спекания нагретых брикетов под давлением. Содержание чешуек Al ₂ O ₃ в САП колеблется в пределах 6 – 22%. С увеличением содержания Al ₂ O ₃ предел прочности сплава повышается от 300 – 320 МПа для САП1 (6 –9% Al ₂ O ₃) до 440 – 460 МПа для САП4 (18 – 22% Al ₂ O ₃), а относительное сужение сплавов при этом снижается от 5 – 8% до 1,5 – 2%. САП обладают высокой жаропрочностью до 500°С.
Примечания
1 шпангоут – прямая или криволинейная балка набора корпуса судна (или фюзеляжа самолёта); 2 нервюра – в авиастроении, элемент поперечного силового набора каркаса крыла, оперения и др. частей летательного аппарата, предназначенный для придания им формы профиля. Н. закрепляются на продольном силовом наборе и служат основой для крепления обшивки; 3 обсадная труба – труба для крепления стенок скважины при бурении; 4 фитинг – соединительная часть трубопровода, устанавливаемая в местах его разветвлений, поворотов, переходов на др. диаметр, а также при необходимости частой сборки и разборки труб; Ф. подразделяются на угольники (изменяют направление на 90°), тройники (обеспечивают ответвление в одном направлении), кресты (обеспечивают ответвление в двух направлениях), муфты (соединяют трубы прямого участка), пробки, колпаки (используют для герметичной заделки концов труб) и др.; 5 лонжерон – основной силовой элемент конструкции многих инженерных сооружений (самолётов, автомобилей, мостов, кораблей и других); Л. располагаются по

Примечания
длине конструкции и совместно со стрингерами образуют у самолётов продольный набор каркаса крыльев, фюзеляжа, оперения, рулей и элеронов. У автомобилей и вагонов 2 Л. , соединённые поперечными элементами, образуют раму (шасси), несущую кузов, колёса и двигатель; Л. имеют двутавровое, швеллерное, коробчатое или фигурное сечение и изготавливаются из металлических профилей и листов; 6 стрингер – продольный элемент конструкции корпуса (каркаса) судна, летательного аппарата, вагона и т.п.; к С. , связанным с поперечными элементами конструкции (шпангоутами, бимсами), крепится (заклёпками, сваркой, склейкой) обшивка.

Таблица 47. Сплавы с особыми электрическими свойствами

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
Материалы проводниковые		
Алюминий ГОСТ 4784–97	АД+Σ примесей	АДоч (0,02 ¹); АД000 (0,2 ¹); АД00 (0,3 ¹); АД0 (0,5 ¹)
Медь ГОСТ 859–2001	М+ Σ примесей	М006 (0,01 ¹); М06 (0,03 ¹); М1 (0,1 ¹); М2 (0,3 ¹); М3 (0,5 ¹)
Сплавы для образцовых сопротивлений (реостатные)		
Cu – Ni сплавы ГОСТ 492–73	МН+ЛЭ+%Ni+%ЛЭ Cu – остальное	манганин – МНМц3-12, МНМцАЖ3-12-0,3-0,3 константан – МНМц40-1,5 ко- пель – МНМц43-0,5
Сплавы для нагревательных элементов		
Fe–Cr–Al сплавы ГОСТ 10994–74 ГОСТ 12766.1-90	X+%Cr+Ю+%Al	Фехраль: X15Ю5; X23Ю5; X23Ю5Т; X27Ю5Т
Cr – Ni сплавы ГОСТ 10994–74 ГОСТ 12766.1-90	X+%Cr+Н+%Ni+ ЛЭ+%ЛЭ	Нихром: X10Н90; X20Н80; X30Н70; X40Н60; X50Н50; X20Н75БТЮ; X25Н60В15Т
Материалы контактные		
Разрывные контакты		
Ag, Ag+Cu	Компонентный со- став	Слабонагруженные контакты
W, Mo, W+Mo		Высоконагруженные контакты
Скользящие контакты		
Композиционные материалы Cu+Графит, Ag+Графит	МГ+%Графита Cu – основа	МГЗ, МГ5
	СГ+%Графита Ag – основа	СГЗ, СГ5
Неподвижные контакты		
Цветные металлы и сплавы	Маркировка метал- ла или сплава	Cu, Zn, латунь

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
Примечания: 1 – сумма примесей в %;		

Таблица 48. Сплавы с особыми магнитными свойствами

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
Материалы магнитомягкие для сердечников трансформаторов		
Сталь электротехническая нелегированная ГОСТ 3836–83	Цифровая по эксплуатационным свойствам	10895; 20895; 10864; 20864; 10848; 20848 и др.
Сталь электротехническая легированная ГОСТ 21427.1–83 ГОСТ 21427.2–83		3311; 3411; 3412; 3413; 3414; 3404; 3405; 3406; 3407; 2421; 2431; 2412; 2431; 2411; 2412; 24114 и др.
Материалы магнитомягкие для радиотехнических устройств		
Сплавы прецизионные Fe – Ni (пермаллой) ГОСТ 10160–75 ГОСТ 10994–74	%Ni+H+ЛЭ+ гр. качества (А)	Высоколегированные ≈80%Ni: 79НМ; 79НМА; 83НФ; 80НМ; 80НЮ; 80НХС; 78Н; 77НМД; 76НХД; 74НМД. Низколегированные ≈50%Ni: 45Н; 50НХС.
Материалы магнитотвёрдые для постоянных магнитов		
Сплавы прецизионные (стали, закалённые на мартенсит) ГОСТ 10994–74	Е+ЛЭ+%ЛЭ	ЕХ3; ЕХ5К5; ЕХ9К15М2; ЕВ6
Литые Fe – Ni –Al и Fe – Ni –Al – Co ГОСТ 17809–72	Ю+ЛЭ+%ЛЭ+ хар. структуры (А-столбчатая, АА- монокристаллич., И- магнитная изотропия)	ЮНД4; ЮНТС; ЮНДКИ; ЮНДК; ЮНДКБА; ЮНДКТ5БА; ЮНДКТ5АА; ЮНДКТ8
Деформируемые Fe – Co – Cr ГОСТ 24897–81	%Cr+Х+%Co+К + %ЛЭ+ЛЭ+ хар. структуры	28Х10К; 28Х10КА; 25Х15К; 25Х15КА; 23Х15К5ФА; 30Х23К; 30Х23КА; 22Х15КА; 25Х12К2БА; 23Х14К3ФА; 32Х12КДТ

Таблица 49. Сплавы с особыми триботехническими свойствами

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
Сплавы износостойкие (I)		
Чугун легированный ¹ ГОСТ 10051–75	$\text{Э} + \% \text{C} \times 100 + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ}$	Типы электродов: 1а – Э-80Х4С, Э-320Х23Г2С2Т; 1б – Э300Х28Н4С4, Э-225Х10Г10С
Сталь высоко-марганцовистая (сталь Гадфильда) ² ГОСТ977 –88	$\% \text{C} \times 100 + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ} + \text{Л}$	110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 110Г13ФТЛ, 130Г14ХМФАЛ, 120Г10ФЛ
Чугун антифрикционный ³ ГОСТ 1585–85	АЧ+ФГВ+№марки ФГВ – форма графит-ных включений	на основе серого чугуна: АЧС–1; АЧС–2; АЧС–3; АЧС–4; АЧС–5; АЧС–6; на основе высокопрочного чугуна: АЧВ–1; АЧВ–2; на основе ковкого чугуна: АЧК–1; АЧК–2
Сплавы подшипниковые (II)		
Баббиты оловянные и свинцовые ГОСТ 1320–74	$\text{Б} + \% \text{Sn} + \text{добавки} + \% \text{добавок}$	оловянные: Б88 ⁴ , Б83 ⁵ , Б83С ⁶ ; свинцовые: Б16 ⁷ , БН ⁸ , БС6 ⁹
Сплавы алюминиевые антифрикционные ГОСТ 14113–78	$\text{А} + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ}$	АОЗ-7; АО9-2; АО6-1; АО9-1; АО20-1; АН-2,5; АСМ; АМСТ
Сплавы цинковые антифрикционные ГОСТ 21437–95	$\text{Ц} + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ} + \text{Л}^{10}$	ЦАМ9-1,5Л ⁷ ; ЦАМ9-1,5; ЦАМ10-5Л; ЦАМ10-5
Бронзографиты ¹¹	$\text{БрОГр} + \% \text{Sn} + \% \text{графита}$	БрОГр 10-3, БрОГр 9-3, БрОГр8-4
Железографиты ¹²	$\text{ЖГр} + \% \text{графита} + \% \text{пф}^{13}$ $\text{ЖГр} + \% \text{графита} + \text{добавки} + \% \text{добавок}$	ЖГр-1-20пф; ЖГр-2-20пф; ЖГр-3-20пф; ЖГр-3-Д ¹⁴ -3; ЖГр-3-Цс ¹⁵ -4; ЖГр-1-Дс ¹⁶ -3
Материалы фрикционные (III)		
Сплавы на основе железа ¹⁷	ФМК+№марки	ФМК-8, ФМК-11.
Примечания		
I – основным эксплуатационным свойством является износостойкость (см. таблицу 6); 1 – электроды покрытые металлические для ручной дуговой		

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
наплавки поверхностных слоёв с особыми свойствами (1а – абразивное изнашивание без ударных нагрузок; 1б – абразивное изнашивание с ударными нагрузками); 2 – применяется для деталей дробильного оборудования (броневые плиты шаровых мельниц, дробящие плиты щёковых дробилок), стрелочных переводов на ж.-д. транспорте и др. (ударно-абразивное изнашивание и повышенное давление); 3 – применяется для условий граничного трения чугунной втулки со стальным валом (сырым или термообработанным); II – основным эксплуатационным свойством является антифрикционность (см. таблицу 6); подшипниковые сплавы не являются конструкционными, т.е. их применяют в виде биметалла (стальная втулка+слой подшипникового сплава толщиной 0,3÷3 мм) для работы в условиях жидкостного трения: 4 – Sb=7%, Cu=3%, Cd=1%; 5 – Sb=11%, Cu=6%; 6 – Sb=10%, Cu=6%, Pb=1%; 7 – Sb=16%, Cu=2%; 8 – Sn=10%, Sb=14%, As=1%, Ni=0,5%; 9 – Sb=6%, Cu=0,3%; 10 – буква «Л» в маркировке литого сплава; 11 – пористый композиционный материал на основе меди (пористость 20-25%), поры наполнены маслом; бронзографит имеет низкий коэффициент трения, высокую износостойкость $t_{\text{раб}}=80\div90^{\circ}\text{C}$; 12 – пористый композиционный материал на основе железа (пористость 17-27%), поры наполнены маслом; железографит имеет низкий коэффициент трения, высокую износостойкость; $t_{\text{раб}} = 100\div150^{\circ}\text{C}$; 13 – перлитно-ферритная структура; 14– добавка Cu; 15– добавка ZnS; 16 – добавка Cu_2S; III – основным эксплуатационным свойством является стабильно высокий коэффициент трения; фрикционные материалы применяют для работы в режиме сухого трения в дисковых и др. тормозах, муфтах сцепления автомобилей, фрикционных узлах приборов: 17 – спеченные сплавы Fe-Cu-Ni-C (графит) с добавками W, Cr, Cu_2S, BaSO_4, получаемые методами порошковой металлургии;		

Таблица 50. Сплавы твердые спечённые ГОСТ 3882–74

Подгруппа	Схема маркировки	Марки
Сплавы WC–Co	B+K+%Co WC - остальное	1. BK3; BK4; BK6; BK8 2. BK10; BK15 3. BK20; BK25
Сплавы Ti–WC–Co	T+%TiC+K+%Co WC - остальное	4. T30K4; T15K6; T5K10
сплавы Ti–TaC–WC–Co	TT+(TiC+TaC)+ K+%Co. WC - остальное	5. TT7K12; TT8K6
Применение: 1. для армирования режущего инструмента при обработке материалов, дающих прерывистую стружку; 2. для армирования волоочильных досок и бурового инструмента; 3. для армирования штампового инструмента. 4. для армирования инструмента для высокоскоростного резания ста-		

лей; 5. для армирования инструмента для тяжелых условий резания (черновая обработка стальных слитков, отливок, поковок).

Таблица 51. Припой – сплавы для образования паяных соединений

Группа	Схема маркировки	Марки
1. Оловянно-свинцовые ГОСТ 21930–76	ПОС+ЛЭ+%Sn+%ЛЭ	ПОС 90; ПОС 61; ПОС 40; ПОС 10; ПОССу 61-0,5 и др.
2. Оловянно-цинковые	ПОЦ+ЛЭ+%Sn+%ЛЭ	ПОЦ-90; ПОЦ-70; ПОЦ-60; ПОЦ-40
3. Медно-цинковые ГОСТ 23137–78	ПМЦ+%Cu	ПМЦ36; ПМЦ48; ПМЦ54
4. Латунь	см. таблицу 44	Л63, Л68
5. Латунь		ЛК62-05, ЛКН56-03-6
6-8. Серебряные ГОСТ19738–74	ПСр+ЛЭ+%Ag+%ЛЭ	6. ПСр 72, ПСр 62, ПСр 50
		7. ПСрМЦН 55-31-12-2
		8. ПСрМц 85-15, ПСрМНМц 65-28-2-5

Применение припоев

1. для лужения и пайки: ПОС 90 – внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры, $t_{\text{пл}}=183...220^{\circ}\text{C}$; ПОС 61 – электро- и радиоаппаратуры, печатных схем, точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев, $t_{\text{пл}}=183...190^{\circ}\text{C}$; ПОС 40 – электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами, $t_{\text{пл}}=183...238^{\circ}\text{C}$; ПОС 10 – контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле, для заливки и лужения контрольных пробок топок паровых котлов, $t_{\text{пл}}=268...299^{\circ}\text{C}$; ПОССу 61-05 – электрической аппаратуры, пайки элементов печатных плат, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при жёстких требованиях к температуре, $t_{\text{пл}}=183...189^{\circ}\text{C}$. **2.** Для пайки алюминиевых и магниевых сплавов. **3.** Для пайки большинства металлов и сплавов. **4.** Для пайки меди и стали. **5.** Для пайки чугуна. **6.** Для пайки и лужения меди, медных и медно-никелевых сплавов, никеля, титана, нейзильбера, латуней и бронз: ПСр 72, $t_{\text{пл}}=779^{\circ}\text{C}$; ПСр 62, $t_{\text{пл}}=723...650^{\circ}\text{C}$; ПСр 50, $t_{\text{пл}}=860...779^{\circ}\text{C}$. **7.** Для пайки твердосплавных пластин при армировании режущего инструмента. **8.** Кислотостойкие припои.

3. Примеры решения задач

Задача 3.1. Расчет состава сплава

Рудой при производстве бария является минерал барит (BaSO_4). Определите массовую долю бария в барите.

Дано:

Барит BaSO_4

$A_r(\text{Ba}) = 137$ относительная атомная масса бария (таблица 4)

$A_r(\text{S}) = 32$ пм - относительная атомная масса серы

$A_r(\text{O}) = 16$ пм - относительная атомная масса кислорода

Определить: $x(\text{Ba})$ - ?

Решение:

3.1.1. Определение атомных долей компонентов (таблица 3) из формулы барита (BaSO_4).

$$y(\text{Ba}) = \frac{1}{6}; \quad y(\text{S}) = \frac{1}{6}; \quad y(\text{O}) = \frac{4}{6}$$

3.1.2. Пересчет: атомные доли $\rightarrow$ массовые доли

$$\begin{aligned} x_{\text{Ba}} &= \frac{y_{\text{Ba}} \cdot A_r(\text{Ba})}{y_{\text{Ba}} \cdot A_r(\text{Ba}) + y_{\text{S}} \cdot A_r(\text{S}) + y_{\text{O}} \cdot A_r(\text{O})} \cdot 100\% = \\ &= \frac{1/6 \cdot 137}{1/6 \cdot 137 + 1/6 \cdot 32 + 4/6 \cdot 16} \cdot 100\% = 59\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{\text{S}} &= \frac{y_{\text{S}} \cdot A_r(\text{S})}{y_{\text{Ba}} \cdot A_r(\text{Ba}) + y_{\text{S}} \cdot A_r(\text{S}) + y_{\text{O}} \cdot A_r(\text{O})} \cdot 100\% = \\ &= \frac{1/6 \cdot 32}{1/6 \cdot 137 + 1/6 \cdot 32 + 4/6 \cdot 16} \cdot 100\% = 14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{\text{O}} &= \frac{y_{\text{O}} \cdot A_r(\text{O})}{y_{\text{Ba}} \cdot A_r(\text{Ba}) + y_{\text{S}} \cdot A_r(\text{S}) + y_{\text{O}} \cdot A_r(\text{O})} \cdot 100\% = \\ &= \frac{1/6 \cdot 16}{1/6 \cdot 137 + 1/6 \cdot 32 + 4/6 \cdot 16} \cdot 100\% = 27\% \end{aligned}$$

Проверка: $x_{\text{C}} + x_{\text{D}} + x_{\text{L}} = 100\%$

$$x_{\text{Ba}} + x_{\text{S}} + x_{\text{O}} = 59 + 14 + 27 = 100\%$$

Ответ: $x_{\text{Ba}} = 59\%$

Задача 3.2. Определение механических свойств сплавов при растяжении

На рисунке показана диаграмма растяжения стального образца. Диаметр рабочей части $d_0 = 4$ мм. Усилия на образце в точках А и В диаграммы растяжения $P_A = 3200$ Н, $P_B = 5900$ Н. Определите предел прочности и предел текучести металла образца.

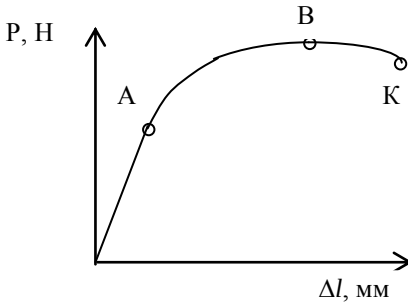


Рис. К задаче 3.2.

Дано:

$$d_0 = 4 \text{ мм}$$

$$P_A = 3200 \text{ Н}$$

$$P_B = 5900 \text{ Н}$$

Определить: $\sigma_B - ?$, $\sigma_{0,2} - ?$

Решение:

3.2.1. Анализ диаграммы – дана диаграмма растяжения для сталей без выраженной площадкой текучести, поэтому имеем: $P_A = P_{0,2}$ – нагрузка, соответствующая условной текучести металла (при этой нагрузке нарушается линейная связь нагрузка – удлинение), P_B – максимальная нагрузка, соответствующая образованию шейки на образце.

3.2.2. Условный предел текучести (таблица 6)

$$\sigma_{0,2} = P_{0,2} / F_0$$

$$F_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4 = 3,14 \cdot 4^2 / 4 = 12,56 \text{ мм}^2 \approx 13 \text{ мм}^2$$

$$\sigma_{0,2} = P_A / F_0 = 3200 / 13 = 246 \text{ Н/мм}^2 = 246 \text{ МПа.}$$

3.2.3. Предел прочности (таблица 6)

$$\sigma_B = P_B / F_0 = 5900 / 13 = 454 \text{ Н/мм}^2 = 454 \text{ МПа.}$$

Ответ: $\sigma_{0,2} = 246 \text{ МПа}$, $\sigma_B = 454 \text{ МПа}$.

Задача 3.3. Выбор условий испытаний твердости по Бринеллю

Проводится определение твердости по Бринеллю образцов толщиной $s = 10$ мм из отожженной стали. Выберите оборудование и условия испытания (диаметр индентора, нагрузка) для заданного образца.

Дано:

$s = 10 \text{ мм}$

материал - отожженная сталь

Определить: условия испытания D -?, P -?

Решение:

3.3.1. Выбор оборудования. Для определения твердости по Бринеллю используем твердомер ТШ-2М.

3.3.2. Выбор условий испытаний. Условия испытания выбираются в соответствии с ГОСТ 9012-59, исходя из предполагаемой твердости образца и его толщины (таблица 6).

Отожженная сталь имеет твердость $HB < 140$. Тогда для образца толщиной 10 мм выбираем: диаметр индентора $D = 10 \text{ мм}$, нагрузка $P = 3000 \text{ кгс}$ (30 кН).

Ответ: твердомер ТШ-2М, $D = 10 \text{ мм}$, $P = 3000 \text{ кгс}$ (30 кН).

Задача 3.4. Выбор условий испытаний по Роквеллу

Проводится определение твердости по Роквеллу образцов из закаленной стали. Выберите оборудование и условия испытания (вид индентора, суммарная нагрузка) для определения твердости данных образцов.

Дано:

материал - закаленная сталь

Определить: условия испытания и оборудование

Решение:

3.4.1. Выбор оборудования. Для определения твердости по Роквеллу используем твердомер ТК-2.

3.4.2. Выбор условий испытаний. Условия испытания выбираются в соответствии с ГОСТ 9013-59 (таблица 6).

HRC - безразмерная величина. Индентор – твердосплавный (или алмазный) конус 120° ; нагрузка $P_\Sigma = 150 \text{ кгс}$ (1500 Н)

Ответ: твердомер ТК-2, индентор – твердосплавный (или алмазный) конус 120° ; $P_\Sigma = 150 \text{ кгс}$ (1500 Н)

Задача 3.5. Определение ударной вязкости

Проводилось определение ударной вязкости стального образца типа 1 с U-образным надрезом. Вычислить значение ударной вязкости стали, на основании следующих исходных данных: результаты испытания $KU_0 = 220 \text{ Дж}$; $KU_{\text{ост}} = 140 \text{ Дж}$.

Дано:

Образец стальной - тип 1

 $KU_0 = 220 \text{ Дж}$ $KU_{\text{ост}} = 140 \text{ Дж}$ **Определить:** КСУ -?**Решение:**

3.5.1. Образец типа 1 с U-образным надрезом – это образец Менаже (радиус надреза 1 мм, см. таблицу 6). Эскиз образца (таблица 8)

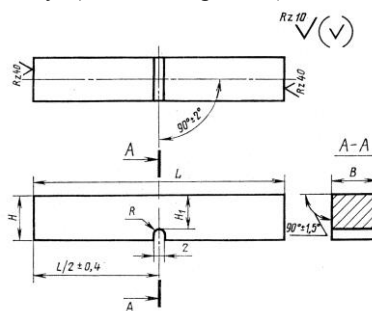


Рис. К задаче 3.5.

Концентра- тор	Тип	R	$L \pm 0,6$	B	$H \pm 0,1$	H_1
		мм				
U (Менаже)	1	$1 \pm 0,1$	55	$10 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$

3.5.2. Вычисление ударной вязкости

$$КСУ = (KU_0 - KU_{\text{ост}}) / F_n$$

где $F_n = B \times H_1 = 10 \times 8 = 80 \text{ мм}^2 = 0,8 \text{ см}^2$ – площадь сечения образца в надрезе

$$\text{тогда } КСУ = (220 - 140) / 0,8 = 64 \text{ Дж/см}^2$$

Ответ: $КСУ = 64 \text{ Дж/см}^2$

Задача 3.6. Определение порога хладноломкости стали

Проводилось исследование ударной вязкости стали при разной температуре испытания. Определить упрощённым способом значение порога хладноломкости $t_{\text{хл}}$ стали по следующим исходным данным (см. таблицу).

$КСУ_{\text{min}}$	КСУ, Дж/см ² , при температуре испытания, град С				
Дж/см ²	+20	-20	-40	-60	-70

30	50	35	20	8	-
----	----	----	----	---	---

Дано:

$$KCU_{\min} = 30 \text{ Дж/см}^2$$

$$KCU_{+20} = 50 \text{ Дж/см}^2$$

$$KCU_{-20} = 35 \text{ Дж/см}^2$$

$$KCU_{-40} = 20 \text{ Дж/см}^2$$

$$KCU_{-60} = 8 \text{ Дж/см}^2$$

Определить: $t_{\text{хл}}$ - ?

Решение:

3.6.1. Упрощённый метод определения порога хладноломкости $t_{\text{хл}}$ состоит в использовании табличных значений ударной вязкости стали и нормативного запаса вязкости $KC_{\min}$ стального изделия.

Построение графика – температурная зависимость ударной вязкости для исследуемой стали, т.е. зависимости температуры испытаний от величины ударной вязкости (см. таблицу 9). График можно строить, используя программу Microsoft Excel, либо вручную на миллиметровой бумаге.

3.6.2. Проводим линию, соответствующую уровню нормированного запаса ударной вязкости для стального изделия $KCU_{\min}=30 \text{ Дж/см}^2$ и параллельную оси абсцисс. Находим точку пересечения линии с графиком, опускаем из этой точки перпендикуляр на ось абсцисс – это есть температурный порог хладноломкости этой стали.

3.6.3. Согласно построениям $t_{\text{хл}} = -27^\circ\text{C}$.

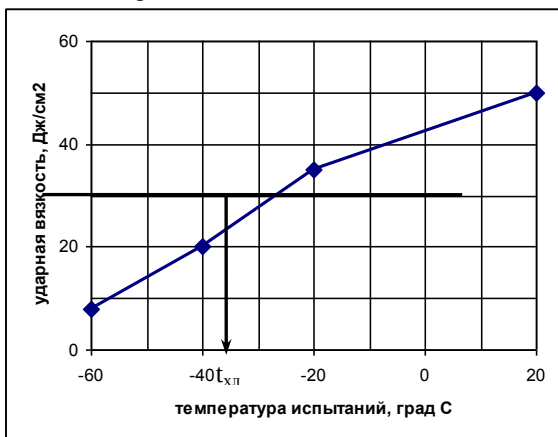


Рис. К задаче 3.6.

Ответ: $t_{\text{хл}} = -27^\circ\text{C}$.

Задача 3.7. Определение критических точек сплава

По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). Укажите области сплава: Ж; Ж+Тв; Тв; Тв+Тв_{II}

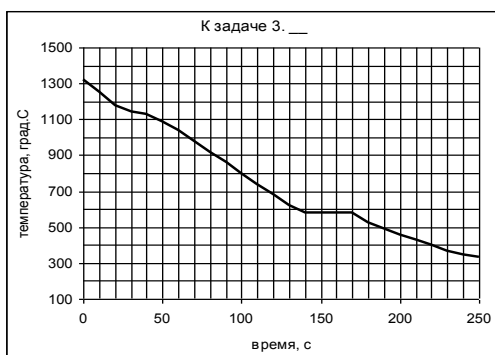


Рис. 1. К задаче 3.7.

Дано:

Кривая охлаждения

Решение:

3.7.1. Определение критических точек

В критических точках сплава изменяется ход кривой охлаждения. Обозначим эти переходы точками А, В и С (см.рис. далее). Из рисунка видно, что в точке А – первый перегиб, т.А является точкой ликвидус $t_A = t_L$ (1130°C). В точке В – второй перегиб, т.В является точкой солидус $t_B = t_S$ (580°C) (таблица 12).

3.7.2. Определение структурного вида сплава

Наличие горизонтальной площадки по ходу кривой охлаждения указывает на то, что данный сплав относится к сплаву с эвтектикой (таблица 13).

3.7.2. Фазовые области сплава

$t > t_L$ – сплав находится в жидком состоянии – область **Ж** (рис. ниже)

$t_L > t > t_S$ – сплав находится в твердожидком состоянии – область **Ж+Тв**

$t < t_S$ – сплав находится в твердом состоянии – область **Тв**. Указываем области на рисунке.

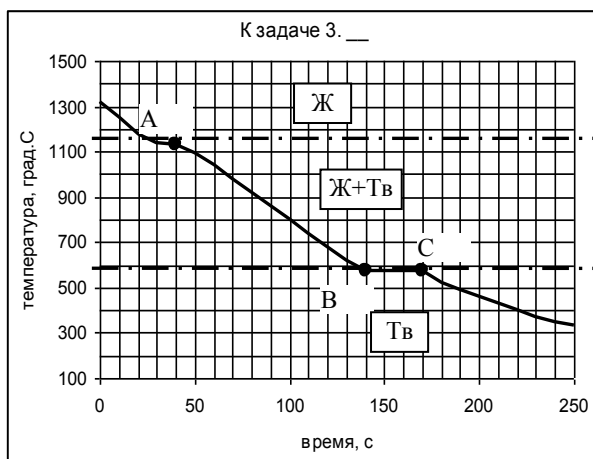


Рис. 2. К задаче 3.7.

Ответ: сплав с эвтектикой , $t_A = t_L = 1130^\circ\text{C}$, $t_B = t_S = 580^\circ\text{C}$.

Задача 3.8. Фазовый анализ сплава

Дана система Ag-Cu. Выполните фазовый анализ сплава, содержащего 80% меди при температуре 900°C .

Дано:

Сплав 80% меди+20% серебра

$t = 900^\circ\text{C}$

Выполнить:

фазовый анализ сплава

Решение:

3.8.1. Находим в таблице 17 прототип заданной диаграммы состояния (электронная версия находится по адресу www.nirhtu.ru→ресурсы→система поддержки учебных курсов→регистрация (логин и пароль) →курс → поток→диаграммы состояния двойных систем). Обозначаем фазовые области сплава.

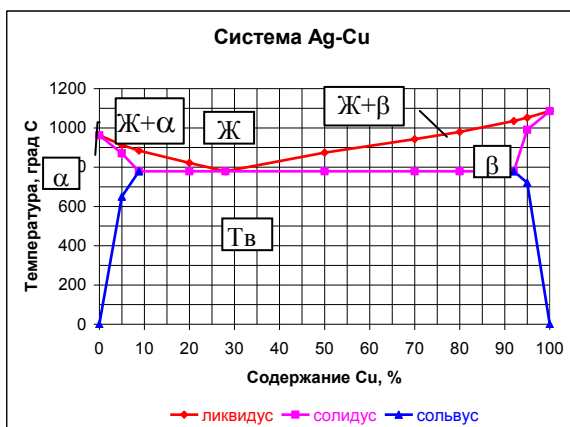


Рис. 1. К задаче 3.8.

3.8.2. Определение состава фаз сплава по диаграмме состояния (правило концентраций, таблица 15).

Состав фаз сплава точка k (80% Cu + 20%Ag) характеризуется абсциссами соответствующих концов коноды. Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого сплава, температура исследуемого сплава t_k . Конфигуративная точка сплава k (80% Cu, 900°C). На изотерме t_x строим коноду lks. Определяем абсциссы концов коноды l' , s' .

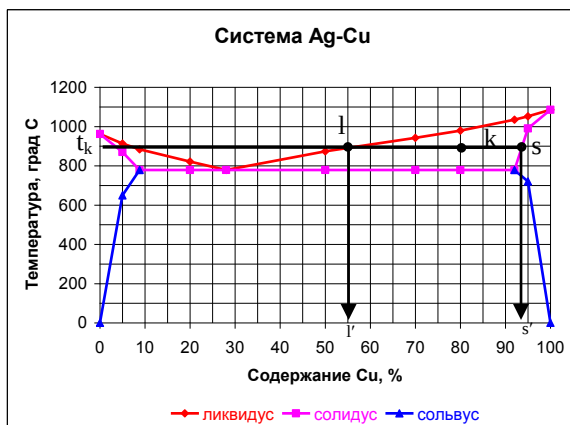


Рис. 2. К задаче 3.8.

Состав жидкой фазы $Ж \rightarrow l' = 55\% \text{ Cu} + 45\% \text{ Ag}$,
 Состав твердой фазы $ТВ \rightarrow s' = 94\% \text{ Cu} + 6\% \text{ Ag}$.

3.8.3. Определение относительного количества фаз сплава по диаграмме состояния (правило отрезков, таблица 16).

Количество фаз в сплаве характеризуется отрезками коноды; отрезки коноды между точкой сплава k и точками l и s , определяющими состав фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Рассматриваем сплав в твердо-жидком состоянии. Состав исследуемого сплава 80% Cu, температура исследуемого сплава 900°C. Конфигуративная точка сплава k (80%Cu, 900°C). На изотерме t_x строим коноду lks . Измеряем длину коноды lks и составляющих её отрезков lk и ks в мм.

Относительное количество жидкой фазы

$$Ж = \frac{ks}{lks} = \frac{10}{28} = 0,36$$

Относительное количество твердой фазы

$$ТВ = \frac{lk}{lks} = \frac{18}{28} = 0,64$$

Проверка: $Ж + ТВ = 0,36 + 0,64 = 1$

Ответ: состав жидкой фазы $Ж = 55\% \text{ Cu} + 45\% \text{ Ag}$, состав твердой фазы $ТВ = 94\% \text{ Cu} + 6\% \text{ Ag}$. Относительное количество жидкой фазы $Ж = 0,36$. Относительное количество твердой фазы $ТВ = 0,64$

Задача 3.9. Структурный анализ сплава

Дана система Ag-Cu. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего 60% меди. Приведите схему микроструктуры сплава.

Дано:

Сплав 60% меди + 40% серебра

Выполнить:

структурный анализ сплава

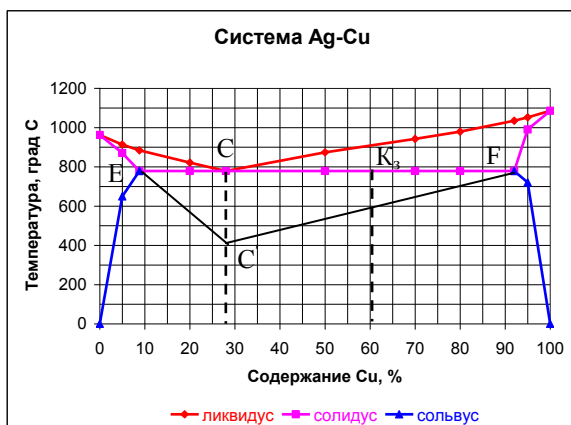
Решение:

3.9.1. Находим в таблице 17 прототип заданной диаграммы состояния (электронная версия находится по адресу www.nirhtu.ru→ресурсы→система поддержки учебных курсов→регистрация (логин и пароль) →курс → поток→диаграммы состояния двойных систем).

3.9.2. Определение относительного количества эвтектики в структуре сплава по диаграмме состояния (правило треугольника)

Относительное количество эвтектики в сплаве определяется из треугольника эвтектики и характеризуется длиной катета, совпадающего с концентрационным уровнем сплава (таблица 18).

На эвтектической прямой ECF строим два треугольника ECC' (доэвтектические сплавы) и FCC' (заэвтектические сплавы). Длину катета CC' выбирается произвольно, например 15 мм. В задаче задан заэвтектический сплав.



Количество эвтектики в заэвтектическом сплаве

$$\mathfrak{Q}_3 = \frac{FK_3}{FC} = \frac{20}{22} = 0,91$$

3. Схема микроструктуры сплава (таблица 19). (электронная версия находится по адресу www.nirhtu.ru→ресурсы→система поддержки учебных курсов→регистрация (логин и пароль) →курс → поток→шаблоны схем микроструктуры сплавов с эвтектикой).

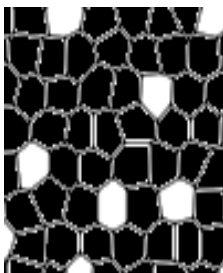


Схема микроструктуры сплава, содержащего 0,91 эвтектики.

Ответ: количество эвтектики в заэвтектическом сплаве $\mathfrak{Q}_3 = 0,91$

Задача 3.10. Выбор режимов термообработки сплавов

Задача 3.10а

Вал изготовлен из стального проката (сталь марки 40). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки (т.о.) вала, если диа-

метр вала равен 10 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки.

Дано:

$d_{\text{вал}} = 10 \text{ мм}$

материал вала - сталь 40

Разработать:

Режим т.о.-?

Решение:

3.10а.1. Выбор режима термообработки предполагает назначение температуры нагрева, времени выдержки в печи и скорости охлаждения, которая регламентируется выбором соответствующего охладителя.

Вал - это силовая деталь, поэтому термообработка будет состоять из полной заковки и высокого отпуска (улучшение, таблица 29, 31).

Сталь 40 – сталь качественная конструкционная, содержание углерода 0,4%.

3.10а.2. Режим заковки

Температура заковки t_3

Дозвтектоидная сталь – 0,4%С

$$t_3 = A_{c3} + 30 \dots 50^\circ \text{C}$$

где A_{c3} – температура превращения феррита в аустенит $\alpha \rightarrow \gamma$ (табл. 21, диаграмма «Fe-Fe₃C, линия GS).

$$t_3 = A_{c3} + 30 \dots 50^\circ \text{C} = 800 + 50 = 850^\circ \text{C}$$

Время выдержки τ изделия в печи

$$\tau = k \cdot d, \text{ мин}$$

где $k = 1 \dots 1,5 \text{ мин/мм}$ – числовой коэффициент ($k = 1$ для углеродистой стали, $k = 1,5$ для легированной стали); d – линейный размер (диаметр, толщина) закаливаемого изделия, мм.

$$\tau = k \cdot d = 1 \cdot 10 = 10 \text{ мин.}$$

Охладитель: вода

3.10а.3. Режим отпуска

Высокий отпуск – нагрев закаленной стали до 450-650⁰С, выдержка до 1 часа. Охладитель: воздух

4. Основное оборудование термического цеха: нагревательная печь, закалочная ванна, твердомер Роквелла и кузнечные клещи.

Ответ: Заковка: $t_3 = 850^\circ \text{C}$; $\tau = 10 \text{ мин}$; охладитель - вода. Отпуск: $t_{\text{отп}} = 450-650^\circ \text{C}$; $\tau = 1 \text{ час}$; охладитель – воздух.

Задача 106

Для мерительного инструмента из стали У12А с линейным размером 12 мм выбрать режим термической обработки (закалка+отпуск), обеспечивающий максимальную твердость и стабильность размеров. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки.

Дано:

$D_{\text{инстр}} = 12 \text{ мм}$

материал инструмента - сталь У12А

Разработать:

Режим т.о. - ?

Решение:

3.106.1. Выбор режима термообработки предполагает назначение температуры нагрева, времени выдержки в печи и скорости охлаждения, которая регламентируется выбором соответствующего охладителя.

Для мерительного инструмента термообработка будет состоять из закалки (неполная с нагревом в соляной ванне и охлаждением из воды в масле) + отпуск низкий (воздух) (см. таблица 29, 31).

Сталь У12А – сталь легированная инструментальная, содержание углерода 1,2%.

3.106.2. Режим закалки

Температура закалки t_3

Заэвтектоидная сталь – 1,2%С

$$t_3 = A_{C1} + 30 \dots 50^\circ\text{C}$$

A_{C1} - температура $\alpha \rightarrow \gamma$ полиморфного превращения перлита в аустенит.

$$t_3 = 727 + 30 \dots 50^\circ\text{C} = 780^\circ\text{C}$$

(табл. 21, диаграмма «Fe-Fe₃C, линия PSK).

Время выдержки τ изделия в печи

$$\tau = k \cdot d, \text{ мин}$$

где $k = 1 \dots 1,5 \text{ мин/мм}$ – числовой коэффициент ($k = 1$ для углеродистой стали, $k = 1,5$ для легированной стали); d – линейный размер (диаметр, толщина) закаливаемого изделия, мм.

$$\tau = k \cdot d = 1 \cdot 12 = 12 \text{ мин.}$$

Охладитель: вода + масло

3.1063. Режим отпуска

Низкий отпуск – нагрев закаленной стали до $150\text{--}200^\circ\text{C}$, выдержка от 1 до 8 ч. Охладитель: воздух

4. Основное оборудование термического цеха: нагревательная печь, закалочная ванна, твердомер Роквелла и кузнечные клещи.

Ответ Закалка: $t_3 = 780^\circ\text{C}$; $\tau = 12 \text{ мин}$; охладитель – вода+масло. Отпуск: $t_{\text{отп}} = 150\text{--}200^\circ\text{C}$; $\tau = 1\text{--}8 \text{ час}$; охладитель – воздух.

Задача 3.11. Определение критического диаметра изделия по номограмме Блантера

Определите критический диаметр вала, изготовленного из стали 30, если характеристическое расстояние стали равно $X_{ПМ} = 4$ мм.

Решение:

3.11.1. Определение полумартенситной твердости стали (таблица 34)

$$HRC_{ПМ} = 18,756 + 20,011 \cdot C + 198,63 \cdot C^2 - 230,07 \cdot C^3 = 18,756 + 20,011 \cdot 0,3 + 198,63 \cdot 0,3^2 - 230,07 \cdot 0,3^3 = 36,42 \approx 36$$

3.11.2. Определение идеального критического диаметра D_{∞} вала по номограмме прокаливаемости Блантера (таблица 36)

Если $X_{ПМ} = 4$ мм, то $D_{\infty} = 28$ мм

3.11.3. Определение критического диаметра вала при закалке в воде $D_{КВ}$ (для легированных сталей определяется критический диаметр изделия при закалке в масле $D_{КМ}$, см. ключ на номограмме прокаливаемости Блантера таблица 36)

Если $D_{\infty} = 28$ мм, то $D_{КВ} = 19,5$ мм.

Ответ: $D_{КВ} = 19,5$ мм

Рекомендуемая литература

1. Технология конструкционных материалов./А.М. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. М. Барсукова и др. Под ред. А. М. Дальского, Н. П.Дубинина, Э. Л.Макарова, Е. А.Попова. – М.: Машиностроение, 1977, с. 664 с.
2. Сафонов Б.П., Саяпин В.В. Терминологический словарь по материаловедению и технологии конструкционных материалов: Учебное пособие / РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт. Новомосковск, 2006. – 198с., электронное приложение 60 МБ. (Электронная версия находится по адресу www.nirhtu.ru → ресурсы→система поддержки учебных курсов→регистрация(логин и пароль)→курс→поток→терминологический словарь. В электронной версии словаря следует отыскать нужный термин и скопировать статью по этому термину).
3. Справочник сварщика. Под ред. В.В.Степанова. М.: Машиностроение, 1975, 520 с.
4. Марочник сталей и сплавов. /А.С.Зубченко, М.М.Колосков, Ю.В.Каширский и др.; Под общ. ред А.С.Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. 484 с.
5. Йех Я. Термическая обработка стали. Справочник – Пер. с чешского. М.: Металлургия, 1979. – 264 с.
6. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник – Л: Машиностроение, 1983. – 464 с.
7. Геллер А.Ю., Рахштадт Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. М.: Металлургия, 1984, 384 с.
8. Марочник сталей и сплавов/В.Г.Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г .Сорокина. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

Приложения**Приложение П1****Образец титульного листа контрольной работы**

Министерство образования и науки РФ

Российский химико-технологический университет

им. Д.И.Менделеева

Новомосковский институт (филиал)

Кафедра «Оборудование химических производств»

Контрольная работа №1

по материаловедению и технологии конструкционных материалов

Преподаватель

(личная подпись, дата)

(Ф.И.О.)

Студент

(личная подпись, дата)

(Ф.И.О.)

Группа

Шифр

Новомосковск 201_

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
1. Задачи контрольной работы	6
2. Справочные материалы	33
3. Примеры решения задач	98
3.1. Расчет состава сплава	98
3.2. Определение механических свойств сплавов при растяжении	99
3.3. Выбор условий испытаний твердости по Бринеллю	99
3.4. Выбор условий испытаний по Роквеллу	100
3.5. Определение ударной вязкости	100
3.6. Определение порога хладноломкости стали	101
3.7. Определение критических точек сплава	103
3.8. Фазовый анализ сплава	104
3.9. Структурный анализ сплава	106
3.10. Выбор режимов термообработки сплавов	107
3.11. Определение критического диаметра изделия по номограмме Блантера	110
Рекомендуемая литература	111
Приложения	112

Учебное издание

Сафонов Борис Петрович
Бегова Анастасия Владимировна

***Материаловедение
и технология конструкционных материалов***

Учебное пособие для студентов заочного факультета

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Редактор Туманова Е.М.

Подписано в печать Формат 60×84¹/₁₆

Бумага «Снегурочка». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л.6,7. Уч. изд. л. 5,5.

Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

Адрес университета: 125047, Москва, Миусская пл., 9

Адрес института: 301650, Новомосковск, Тульская обл., ул. Дружбы, 8

Для заметок