

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

Новомосковский институт (филиал)

Сафонов Б.П.

Инженерное материаловедение

Сборник задач и справочных материалов

Учебное пособие

Изд. 5-е, стереотипное

**Новомосковск
2015**

УДК 669.017
ББК 30.3
С 217

Рецензенты:

доктор химических наук, профессор Ваграмян Т. А.

(ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева)

кандидат технических наук, доцент Лукьяница А.И.

(ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт)

Сафонов Б.П.

С 217 Инженерное материаловедение. Сборник задач и справочных материалов. Учебное пособие. Изд. 5-е, стереотипное /ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И.Менделеева, Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2015. – 142 с.

ISBN 978-5-7237-0648-4

В учебном пособии приведены оригинальные задачи по материаловедению, имеющие практическую направленность. Справочные материалы содержат информацию, необходимую для решения задач. В них представлены сведения о свойствах материалов их маркировке, применении, термической обработке.

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки, изучающих дисциплины «Материаловедение», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», «Электротехническое и конструкционное материаловедение». Справочные материалы, приведенные в пособии, могут быть полезны также студентам старших курсов при работе над курсовыми работами и проектами, а также при дипломном проектировании.

Каждая задача снабжена указанием номеров таблиц, содержащих дополнительную информацию, необходимую для решения данной задачи.

Табл. 78 . Библиогр. список 24 назв.

УДК 669.017
ББК 30.3

ISBN 978-5-7237-0648-4

© Б. П. Сафонов

© ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева»,

В системе общепрофессиональной подготовки студентов инженерных специальностей дисциплины машиноведческого цикла занимают центральное место. Предлагаемое читателю учебное пособие относится к так называемой инженерной серии. На кафедре «Оборудование химических производств» уже был опыт издания учебного пособия подобного типа. Так в 2004 г. было издано учебное пособие «Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений» авторов Б.П.Сафонова, А.В.Беговой. Отличительной особенностью учебных пособий инженерной серии является практическая направленность изложения учебного материала.

Задачи в данном учебном пособии подобраны таким образом, чтобы при их решении читателю пришлось привлекать дополнительную информацию из других тем курса материаловедения. Например, при решении задач №№1.3.14, 1.3.15 по составу сплавов приходится познакомиться с понятием межкристаллитной коррозии (МКК) или с терминами «вустит», «магнетит», «гематит» в задаче №1.3.8. При этом МКК относится к теме «Высоколегированные стали», а названия окислов железа встретятся студенту при изучении технологии конструкционных материалов в теме «Получение чугуна и стали». Таким образом, решая задачи, заинтересованный читатель вынужден в опережающем режиме знакомиться с терминологией, пополняя свой технический словарный запас, что для понимания материаловедения чрезвычайно важно. При такой углубленной работе над учебным материалом достигается устойчивое усвоение приобретаемых знаний.

Учебное пособие снабжено справочными материалами, в которых представлены сведения о строении материалов, их свойствах, маркировке и др. Табличная форма представления справочных материалов, а также унификация рубрики разделов 1 (условия задач) и 2 (справочные материалы), несомненно, облегчит пользование учебным пособием. Учебное пособие содержит новый раздел, посвященный расчетам промышленных сплавов.

Учебное пособие предназначено для студентов инженерных специальностей, оно может быть полезно также студентам старших курсов при работе над курсовыми проектами и при дипломном проектировании.

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.

Инженерное материаловедение представляет собой прикладную часть теоретического курса материаловедения, в которой на основе количественных причинно-следственных связей, имеющих место в материаловедении, решаются практические задачи. Например, определение свойств сплавов известного состава по диаграмме «состав-свойство» при решении прямой задачи материаловедения – задача анализа материала, или нахождение состава сплава, обладающего заданными свойствами, при решении обратной задачи материаловедения – задача синтеза материала и др.

Многие задачи предполагают получение числового ответа (число и соответствующая размерность), в ряде задач предполагается использовать графо-аналитическое решение. При решении задач с использованием уравнений регрессии, приведенных в справочных материалах, рекомендуем использовать программу *Excel*. Раздел «Справочные материалы» сформирован таким образом, что его структура в основном повторяет структуру раздела с условиями задач.

Решение каждой задачи следует начинать с проработки рекомендуемой для данной темы задач учебной и справочной литературы, ссылки на которую указаны в подстрочнике заголовка темы задач под рубрикой «Теория». Это относится особенно к задачам описательного характера. При решении задачи обратите внимание на таблицы, упомянутые в условии задачи. Задачи, отмеченные звёздочкой (*) относятся к задачам повышенной сложности, их решение требует определенного обобщения учебного материала и предполагает несколько действий для получения ответа.

В уравнениях регрессии, приведенных в разделе «Справочные материалы», размерные величины приведены с указанием их размерности. Приведенные в учебном пособии уравнения регрессии снабжены также указанием интервала значений аргумента и функции, внутри которых они дают достоверный результат.

Для взаимного перевода единиц технической и международной систем измерения используйте переводные коэффициенты: $1 \text{ кгс} = 9,81 \text{ Н}$; $1 \text{ Н} = 0,102 \text{ кгс}$; $1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,81 \text{ МПа}$; $1 \text{ МПа} = 0,102 \text{ кгс/мм}^2$; $1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 9,81 \text{ Дж}$; $1 \text{ Дж} = 0,102 \text{ кгс}\cdot\text{м}$.

1. Условия задач.

1.1. Кристаллическое строение металлов

Теория [1-9, 14].

№ 1.1.1. Изобразите схему элементарной ячейки ОЦК и рассчитайте ее базис. Какие металлы имеют кристаллическую решетку ОЦК? При решении используйте данные таблицы 2.1.1.

№ 1.1.2. Изобразите схему элементарной ячейки ГЦК и рассчитайте ее базис. Какие металлы имеют кристаллическую решетку ГЦК? При решении используйте данные таблицы 2.1.1.

№ 1.1.3. Укажите основные физические свойства железа. Какое практическое применение имеет железо в технике? При решении используйте данные таблиц 2.1.3, 2.1.13.

№ 1.1.4. Укажите основные физические свойства хрома. Какое практическое применение имеет хром в технике? При решении используйте данные таблицы 2.1.1. При решении используйте данные таблиц 2.1.3, 2.1.13.

№ 1.1.5. Укажите основные физические свойства вольфрама. Какое практическое применение имеет вольфрам в технике? При решении используйте данные таблиц 2.1.3, 2.1.13.

№ 1.1.6. Укажите основные физические свойства титана. Какое практическое применение имеет титан в технике? При решении используйте данные таблиц 2.1.3, 2.1.13.

№ 1.1.7. Укажите основные физические свойства алюминия. Какое практическое применение имеет алюминий в технике? При решении используйте данные таблиц 2.1.3, 2.1.13.

№ 1.1.8. Рассчитайте коэффициент самодиффузии по уравнению Аррениуса для железа при рабочей температуре 20 и 500°C. Прокомментируйте полученный результат. При решении используйте данные таблиц 2.1.9, 2.1.10.

№ 1.1.9. Рассчитайте коэффициент самодиффузии по уравнению Аррениуса для хрома при рабочей температуре 20 и 500°C. Прокомментируйте полученный результат. При решении используйте данные таблиц 2.1.9, 2.1.10.

№ 1.1.10. Рассчитайте коэффициент самодиффузии по уравнению Аррениуса для вольфрама при рабочей температуре 20° и 500°С. Прокомментируйте полученный результат. При решении используйте данные таблиц 2.1.9, 2.1.10.

№ 1.1.11–№ 1.1.13. Оцените протяженность линейных дефектов кристаллического строения в 1 см³ деформированного металла, если плотность дислокаций ρ составляет: **№ 1.1.11)** $\rho=10^8$ см⁻²; **№ 1.1.12)** $\rho=10^{10}$ см⁻²; **№ 1.1.13)** $\rho=10^{13}$ см⁻². Поясните влияние плотности дислокаций на прочность металла. При решении используйте данные таблицы 2.1.9.

№ 1.1.14. С помощью закона Холла-Петча поясните влияние на прочность металла размера зерна микроструктуры. При решении используйте данные таблицы 2.1.9.

№ 1.1.15. Какие аллотропические формы имеет железо? Каковы температурные интервалы существования аллотропических форм железа? При решении используйте данные таблицы 2.1.1.

№ 1.1.16. Какие аллотропические формы имеет титан? Каковы температурные интервалы существования аллотропических форм титана? При решении используйте данные таблицы 2.1.1.

1.2. Пластическая деформация, механические свойства сплавов

Теория [1-8].

№ 1.2.1. К какому виду деформации (холодной или горячей) следует отнести прокатку алюминия при температуре 200°С и деформацию железа при 400°С? При решении используйте данные таблицы 2.1.14.

№ 1.2.2. При какой температуре следует проводить холодную деформацию алюминия? При решении используйте данные таблицы 2.1.14.

№ 1.2.3. К какому виду деформации (холодной или горячей) следует отнести прокатку свинца при комнатной температуре и деформацию меди при 250°С? При решении используйте данные таблицы 2.1.14.

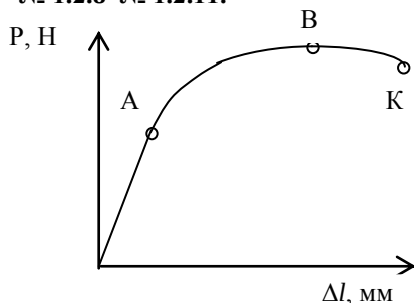
№ 1.2.4. При какой температуре следует проводить холодную деформацию свинца? При решении используйте данные таблицы 2.1.14.

№ 1.2.5. В чем состоит явление перекристаллизации и рекристаллизации? Какое из этих явлений носит более общий характер? При решении используйте данные таблиц 2.1.1, 2.1.14.

№ 1.2.6. Два сплава имеют равную прочность на различную пластичность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение-относительная деформация». При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

№ 1.2.7. Два сплава имеют равную пластичность на различную прочность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение-относительная деформация». При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

№ 1.2.8–№ 1.2.11.



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 2.1.5.

№ задачи	d_0 , мм	P_A , Н	P_B , Н
1.2.8.	5	4800	8100
1.2.9.	6	7000	12000
1.2.10.	8	13000	21000
1.2.11.	10	20000	33000

№ 1.2.12*–1.2.15*. На рисунке к задаче **№ 1.2.8** 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 2.1.5.

№ задачи	d_0 , мм	P_K , Н	ψ , %
1.2.12*.	5	8100	51
1.2.13*.	6	13500	46
1.2.14*.	8	26000	40
1.2.15*.	10	44000	34

№ 1.2.16–№ 1.2.19. 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 2.1.5.

№ задачи	l_0 , мм	l_K , мм
1.2.16.	25	31,3
1.2.17.	30	37,5

1.2.18.	40	50
1.2.19.	50	62,5

№ 1.2.20–№ 1.2.23. 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 2.1.5.

№ задачи	d_0 , мм	d_K , мм
1.2.20.	5	3,4
1.2.21.	6	4,0
1.2.22.	8	5,4
1.2.23.	10	6,7

№ 1.2.24–№ 1.2.26. Проводится определение твердости по Бринеллю образцов толщиной s из отожженной стали. Выберите оборудование и условия испытания (диаметр индентора и нагрузку) для данных образцов. **№ 1.2.24)** $s=9$ мм; **№ 1.2.25)** $s=2,5$ мм; **№ 1.2.26)** $s=1,5$ мм. При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

№ 1.2.27–№ 1.2.29. Проводится определение твердости по Роквеллу образцов. Выберите оборудование и условия испытания (вид индентора, суммарная нагрузка) для определения твердости данных образцов. **№ 1.2.27)** цветной сплав – дуралюмин; **№ 1.2.28)** закаленная сталь; **№ 1.2.29)** твердосплавная пластина для армирования режущего инструмента. При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

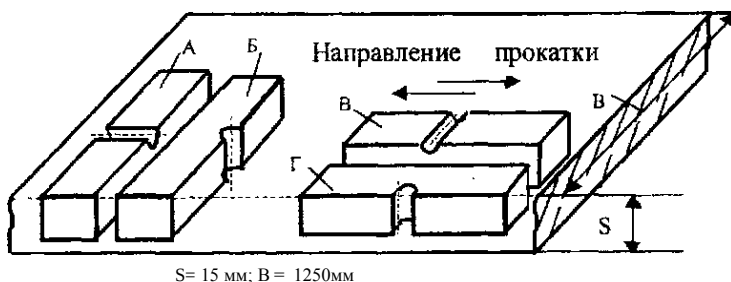
№ 1.2.30–№ 1.2.32. Проводится определение твердости по Бринеллю образцов толщиной s из алюминиевого сплава. Выберите оборудование и условия испытания (диаметр индентора и нагрузку) данных образцов. **№ 1.2.30)** $s=9$ мм; **№ 1.2.31)** $s=4$ мм; **№ 1.2.32)** $s=1,5$ мм. При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

№ 1.2.33–№ 1.2.35. Как определить твердость образцов толщиной s из чугуна (оборудование, условия испытания)? **№ 1.2.33)** $s=10$ мм; **№ 1.2.34)** $s=2,5$ мм; **№ 1.2.35)** $s=1,5$ мм. При решении используйте данные таблицы 2.1.5.

№ 1.2.36–№ 1.2.38. Определяли твердость четырех материалов. При этом использовали методы Бринелля и Роквелла. Расположите материалы в ряд по убыванию твердости: **№ 1.2.36)** 1 – HB 300, 2 – HRA 60, 3 – HRC 30, 4 – HRB 60; **№ 1.2.37)** 1 – HB 400, 2 – HRA 70, 3 – HRC 40, 4 – HRB 80; **№ 1.2.38)** 1 – HB 450, 2 – HRA 80, 3 – HRC 60, 4 – HRB 100. При решении используйте данные таблицы 2.1.11.

№ 1.2.39. Ударная вязкость сплава А определена на образцах с U-образным надрезом (образец типа I по ГОСТ 9454). Ударная вязкость сплава Б определена на образцах с V-образным надрезом (образец типа II 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 2.1.5.

№ 1.2.40*. Из котельного листа толщиной 15 мм вырезали образцы для испытания ударным изгибом (Менаже) по ГОСТ 9454-78, как показано на рисунке. У каких образцов и почему предполагается наибольшая и наименьшая ударная вязкость? При решении используйте данные таблиц 2.1.5, 2.1.12.



№ 1.2.41–№ 1.2.47. Выбрать тип надрезанного образца для определения ударной вязкости стального полуфабриката заданного размера: **№ 1.2.41)** сортовой прокат квадратный $a=11$ мм; **№ 1.2.42)** сортовой прокат круглый $d=16$ мм; **№ 1.2.24)** листовой прокат $s=9$ мм; **№ 1.2.43)** труба горячекатаная $d=350$ мм, $s=8$ мм; **№ 1.2.44)** швеллер $s=8$ мм; **№ 1.2.45)** двутавр $s=10$ мм; **№ 1.2.46)** уголок равнополочный $t=4$ мм; **№ 1.2.47)** уголок неравнополочный $t=16$ мм. При решении задачи использовать данные таблиц 2.1.15, 2.1.16.

№ 1.2.48–№ 1.2.51. Проводилось определение ударной вязкости стальных образцов разных типов с U-образным надрезом. Вычислить значение ударной вязкости стали, на основании следующих исходных данных: **№ 1.2.48)** образец типа 1, результаты испытания $KU_0 = 200$ Дж; $KU_{\text{ост}} = 120$ Дж; **№ 1.2.49)** образец типа 2, результаты испытания $KU_0 = 180$ Дж; $KU_{\text{ост}} = 120$ Дж; **№ 1.2.50)** образец типа 3, результаты испытания $KU_0 = 160$ Дж; $KU_{\text{ост}} = 120$ Дж; **№ 1.2.51)** образец типа 4, результаты испытания $KU_0 = 60$ Дж; $KU_{\text{ост}} = 48$ Дж. При решении задачи использовать данные таблиц 2.1.5, 2.1.15.

№ 1.2.52–№ 1.2.56. Проводилось исследование ударной вязкости стали при разной температуре. Определить упрощенным способом значение порога хладноломкости $t_{\text{хл}}$ стали по следующим исходным данным (см. таблицу).

№ задачи	КCU _{min}	КCU, Дж/см ² , при температуре испытания, град С				
	Дж/см ²	+20	-20	-40	-60	-70
1.2.52	30	110	68	47	—	10
1.2.53	35	157	109	86	—	27
1.2.54	40	73	52	48	37	—
1.2.55	57	78	71	64	53	—
1.2.56	41	55	47	45	42	—

При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.17.

№1.2.57–№ 1.2.59. Оценить предел прочности отожженной стали, зная её твёрдость: **№ 2.2.57)** HB = 175 кгс/мм²; **№ 2.2.58)** HB = 190 кгс/мм²; **№ 2.2.59)** HRB = 55; **№ 2.2.60)** HRB = 60. При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.18.

№ 2.2.61–№2.2.64. Оценить предел прочности термообработанной стали, зная её твёрдость: **№ 1.2.61)** HB = 370 кгс/мм²; **№ 1.2.62)** HB = 380 кгс/мм²; **№ 1.2.63)** HRC = 54; **№ 1.2.64)** HRC = 60. При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.18.

№ 1.2.65–№ 1.2.68. Оценить твёрдость HB или HRB отожженной стали, зная её предел прочности: **№ 1.2.65)** HB, $\sigma_B = 50$ кгс/мм²; **№ 1.2.66)** HB, $\sigma_B = 50$ кгс/мм²; **№ 1.2.67)** HRB, $\sigma_B = 35$ кгс/мм²; **№ 1.2.68)** HRB, $\sigma_B = 45$ кгс/мм². При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.18.

№ 1.2.69–№ 1.2.72. Оценить твёрдость HB или HRC термообработанной стали, зная её предел прочности: **№ 1.2.69)** HB, $\sigma_B = 140$ кгс/мм²; **№ 1.2.70)** HB, $\sigma_B = 150$ кгс/мм²; **№ 1.2.71.)** HRC, $\sigma_B = 260$ кгс/мм²; **№ 1.2.72)** HRC, $\sigma_B = 300$ кгс/мм². При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.18.

№ 1.2.73–№ 1.2.76. Перевести значения твёрдости HRC в значения единой шкалы твёрдости по Роквеллу C₉. **№ 1.2.73)** HRC 25; **№ 1.2.74)** HRC 35; **№ 1.2.75)** HRC 45; **№ 1.2.76)** HRC 55. При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.6.

№ 1.2.77–№1.2.80. Перевести значения единой шкалы твёрдости по Роквеллу C₉ в значения твёрдости HRC. **№ 1.2.77)** HRC₉ 25; **№ 1.2.78)** HRC₉ 35; **№ 1.2.79)** HRC₉ 45; **№ 1.2.80)** HRC₉ 55. При решении задачи использовать данные таблицы 2.1.6.

1.3. Кристаллизация, состав сплавов

Теория [1-8].

№ 1.3.1. Расплавы олова были охлаждены до 150 и 220°C. Какова степень переохлаждения металла при этом, каковы различия в строении слитков олова? При решении используйте данные таблицы 2.2.1.

№ 1.3.2. Расплавы меди были охлаждены до 850 и 1000°C. Какова степень переохлаждения металла при этом, каковы различия в строении слитков меди? При решении используйте данные таблицы 2.2.1.

№ 1.3.3. Рудой при производстве бария является минерал барит (BaSO_4). Определите массовую долю бария в барите. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.4. Рудой при производстве циркония является минерал циркон (ZrSiO_4). Определите массовую долю циркония в цирконе. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.5. Ферритные чугуны содержат углерод в свободном виде (графит). Определите объемную долю включений графита в ферритном чугуне, если массовая доля основных компонентов составляет: $x_{\text{Fe}}=96,7\%$, $x_{\text{Гр}}= 3,3\%$. При решении используйте данные таблиц 2.1.1, 2.1.2, 2.2.3.

№ 1.3.6. 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: $x_{\text{Cu}}=87\%$, $x_{\text{Sn}}= 10\%$, $x_{\text{Гр}}= 3\%$. При решении используйте данные таблиц 2.1.1, 2.1.2, 2.2.3.

№ 1.3.7. Апатитовые руды содержат до 20% фосфорного ангидрида P_2O_5 . Определите массовую долю фосфора в апатитовой руде. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.8. 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 2.2.3.

№ 1.3.9. 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 2.2.3.

№ 1.3.10. 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 2.2.3.

№ 1.3.11. Цементит Fe_3C является фазой заэвтектоидных сталей и чугунов. Определите массовую долю железа в цементите. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.12. 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 2.2.3.

№ 1.3.13. 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 2.2.3.

№ 1.3.14*. Развитие межкристаллитной коррозии сварных соединений аустенитных сталей связано с обеднением хромом металла по границам зерен, вызванное образованием карбидов Cr_{23}C_6 . Определите, как изменится среднее содержание хрома в зоне термического влияния сварного шва изделия из аустенитной стали (18% Cr ; 10% Ni ; 0,12% C) после охлаждения металла сварного шва, если равновесное содержание углерода в аустените составляет 0,03%. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.15*. Для предохранения аустенитных сталей от межкристаллитной коррозии (МКК) в них добавляют элементы-стабилизаторы. В этом качестве используются титан и ниобий. Защитное действие стабилизаторов состоит в связывании углерода стали в карбиды вида MeC , что препятствует обеднению хромом металла по границам зерен, вызванное образованием карбидов Cr_{23}C_6 . Сравните эффективность защитного действия от МКК Ti и Nb по расходу металла-стабилизатора на образование карбида MeC . При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.16–№ 1.3.18. При производстве титана в качестве руды используются минералы: ильменит (FeTiO_3), рутил (TiO_2) и титанит (CaTiSiO_5). Определите массовую долю титана в минералах: **№ 1.3.16** в ильмените, **№ 1.3.17** в рутиле, **№ 1.3.18** в титаните. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.19, № 1.3.20. Рудами при производстве цинка являются цинковая обманка (ZnS) и смитсонит (ZnCO_3). Определите массовую долю цинка в минералах: **№ 1.3.19** в цинковой обманке, **№ 1.3.20** в смитсоните. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№1.3.21. 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 2.2.3.

№ 1.3.22. 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 2.2.3.

№ 1.3.23. Ниобий получают восстановлением из пятиокси ниобия (Nb_2O_5). Определите массовую долю ниобия в Nb_2O_5 . При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.24. 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 2.2.3.

№ 1.3.25–№ 1.3.27. Сырьём для получения магнезия служат минералы брусит Mg(OH)_2 , магнезит MgCO_3 , доломит $\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$ и др. Определите содержание магнезия: **№ 1.3.25** в брусите; **№ 1.3.26** в магнезите; **№ 1.3.27** в доломите. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

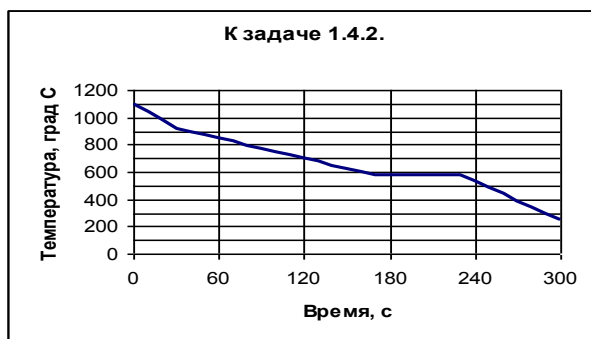
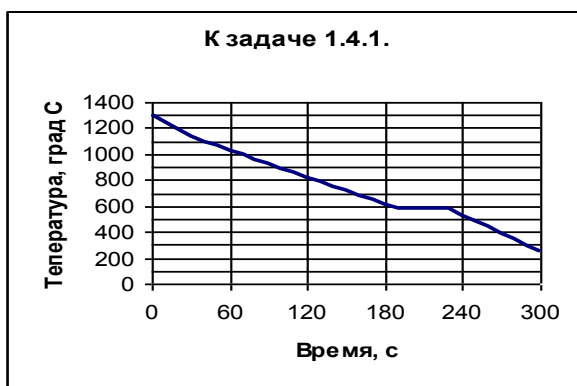
№ 1.3.28. Главным минералом молибденовых руд является молибденит (молибденовый блеск), являющийся сульфидом молибдена MoS_2 . Определите массовую долю молибдена в молибдените. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

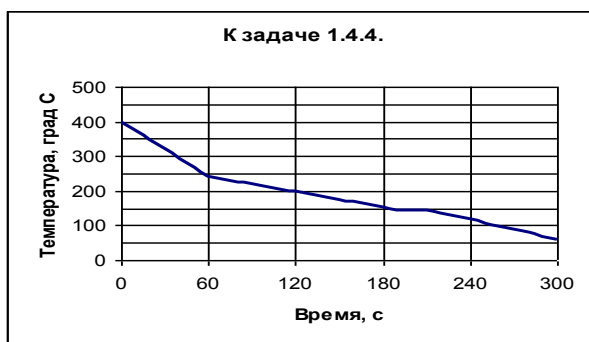
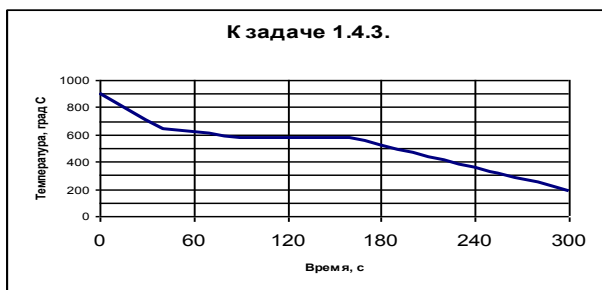
№ 1.3.29, № 1.3.30. Основными минералами вольфрамовых руд являются вольфрамит $(\text{FeMn})\text{WO}_4$ и шеелит CaWO_4 . Определите массовую долю вольфрама: **№ 1.3.29** в вольфрамите; **№ 1.3.30** в шеелите. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

№ 1.3.31. Главным минералом ванадиевых руд является ванадит, содержащий 19% пятиокси ванадия V_2O_5 . Определите массовую долю ванадия в ванадите. При решении используйте данные таблицы 2.2.3.

1.4. Критические точки сплава. Диаграммы состояния двойных систем
Теория [1-7].

№ 1.4.1–1.4.4. По данным хронометража охлаждения сплава построена кривая охлаждения (см. рисунок). Укажите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой). При решении задачи используйте данные таблиц 2.2.4, 2.2.5.





№ 1.4.5–1.4.8. По термокинетической диаграмме кристаллизации (см. рисунок) определите критические точки сплава. Определите вид сплава (без эвтектики, с эвтектикой, с вторичной кристаллизацией). При решении задачи используйте данные таблиц 2.2.4, 2.4.6.





№ 1.4.9–№ 1.4.12. Дана система Pb–Sb. Выполните фазовый анализ при температуре 350°C сплава, содержащего заданное количество сурьмы. **№ 1.4.9)** 30%; **№ 1.4.10)** 50%; **№ 1.4.11)** 70%; **№ 1.4.12)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.2.8, 2.2.9, 2.2.13.

№ 1.4.13*–№ 1.4.16*. Дана система Pb–Sb. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество сурьмы. **№ 1.4.13*)** 30%; **№ 1.4.14*)** 50%; **№ 1.4.15*)** 70%; **№ 1.4.16*)** 90%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 2.2.190, 2.2.13, 2.2.14.

№ 1.4.17–№ 1.4.20. Дана система Sn–Pb. Выполните фазовый анализ при температуре 200°C сплава, содержащего заданное количество свинца. **№ 1.4.17)** 10%; **№ 1.4.18)** 55%; **№ 1.4.19)** 65%; **№ 1.4.20)** 75%. При решении используйте данные таблиц 2.2.8, 2.2.9, 2.2.13.

№ 1.4.21*–№ 1.4.24*. Дана система Sn–Pb. Выполните структурный при комнатной температуре анализ сплава, содержащего заданное количество свинца. **№ 1.4.21*)** 10%; **№ 1.4.22*)** 55%; **№ 1.4.23*)** 65%; **№ 1.4.24*)** 75%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13, 2.2.14.

№ 1.4.25–№ 1.4.28. Дана система Zn–Sn. Выполните фазовый анализ при температуре 250°C сплава, содержащего заданное количество олова. **№ 1.4.25)** 15%; **№ 1.4.26)** 35%; **№ 1.4.27)** 55%; **№ 1.4.28)** 75%. При решении используйте данные таблиц 2.2.8, 2.2.9, 2.2.13.

№ 1.4.29*–№ 1.4.32*. Дана система Zn–Sn. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество олова. **№ 1.4.29*)** 15%; **№ 1.4.30*)** 35%; **№ 1.4.31*)** 55%; **№ 1.4.32*)** 75%. Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13, 2.2.14.

№ 1.4.33–№ 1.4.36. Дана система Al–Si. Выполните фазовый анализ при температуре 700°C сплава, содержащего заданное количество кремния. **№ 1.4.33)** 30%; **№ 1.4.34)** 50%; **№ 1.4.35)** 70%; **№ 1.4.36)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.2.8, 2.2.9, 2.2.13.

№ 1.4.37*–№ 1.4.40*. Дана система Al–Si.. Выполните структурный анализ при комнатной температуре сплава, содержащего заданное количество кремния. **№ 1.4.37*)** 30%; **№ 1.4.38*)** 50%; **№ 1.4.39*)** 70%; **№ 1.4.40*)** 90%. Si=60% . Нарисуйте схему микроструктуры сплава. При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13, 2.2.14.

№ 1.4.41*. 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 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.42*. Определите состав сплава системы Pb–Sb, если структура его состоит из кристаллов сурьмы и эвтектики примерно поровну. При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.43*. Определите состав сплава системы Pb–Sb, если структура его состоит из кристаллов свинца и эвтектики примерно поровну. При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.44*. 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 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.45*. 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 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.46*–№ 1.4.49*. 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. **№ 1.4.46*)** 20%; **№ 1.4.47*)** 40%; **№ 1.4.48*)** 60%; **№ 1.4.49*)** 80%. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.50*–№ 1.4.53*. Для пайки изделий из алюминиевых и магниевых сплавов применяют припой ПОЦ (система Zn–Sn). Определите относительное сужение при комнатной температуре металла паяного шва, содержащего заданное

количество олова. № 1.4.50*) 20%; № 1.4.51*) 40%; № 1.4.52*) 60%; № 1.4.53*) 80%.. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.54*. Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припой 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 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№.1.4.55*. Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припой 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 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.56*–№ 1.4.60*. Для лужения и пайки радиоаппаратуры и изделий из оцинкованного железа применяют припой ПОС (система Sn–Pb). Определите удельное электрическое сопротивление при комнатной температуре металла паяного шва, содержащего заданное количество олова. № 1.4.56*) 10%; № 1.4.57*) 25%; № 1.4.58*) 40%; № 1.4.59*) 55%; № 1.4.60*) 70%. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ . 1.4.61*. Вкладыши подшипников скольжения наплавляют сплавом системы Pb–Sb, содержащим 35% Pb. При нарушении условий смазки наплавленный слой вкладыша оплавился наполовину. До какой температуры нагрелся вкладыш при работе? Какова структура сохранившегося наплавленного металла? При решении используйте данные таблиц 2.2.10, 2.2.13.

№ 1.4.62*–№ 1.4.66*. Для пайки радиоаппаратуры необходим оловянно-цинковый припой ПОЦ (система Zn–Sn) с заданным удельным электросопротивлением. Определите состав сплава с требуемыми свойствами при комнатной температуре. № 1.4.62*) $20 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; № 1.4.63*) $17 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; № 1.4.64*) $15 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; № 1.4.65*) $14 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; № 1.4.66*) $12 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.67*–1.4.71*. В химическом машиностроении для изготовления кислотостойкой аппаратуры применяются сплавы гартблей системы Pb–Sb. Выберите состав сплава, имеющего заданную твердость HB (кгс/мм²) при комнатной температуре. № 1.4.67*) HB30; № 1.4.68*) HB25; № 1.4.69*) HB20; № 1.4.70*) HB15; № 1.4.71*) HB10; При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.72*–1.4.76*. В химическом машиностроении для изготовления кислотостойкой аппаратуры применяются сплавы гартблей системы Pb–Sb. Выберите состав сплава, имеющего заданное относительное сужение при комнатной температуре. **№ 1.4.72*)** 90%; **№ 1.4.73*)** 70%; **№ 1.4.74*)** 50%; **№ 1.4.75*)** 30%; **№ 1.4.76*)** 10%; При решении используйте правило Н.С. Курнакова, см. данные таблиц 2.1.3, 2.2.9, 2.2.11, 2.2.13.

№ 1.4.77–№ 1.4.80. Определите состав эвтектики системы: **№ 1.4.77)** Pb – Sb; **№ 1.4.78)** Sn – Pb; **№ 1.4.79)** Zn – Sn; **№ 1.4.80)** Al – Si. Исходные данные для решения задачи в таблице 2.2.9, 2.2.13.

1.5. Диаграмма состояния «железо-цементит», структурно-фазовый анализ железоуглеродистых сплавов

Теория [1-7].

№. 1.5.1. Укажите линии ликвидус, солидус и сольвус диаграммы состояния «Fe–Fe₃C». При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.2.

№ 1.5.2. Укажите линии полиморфного превращения диаграммы состояния «Fe–Fe₃C». При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.2.

№ 1.5.3. Цементит является одной из фаз Fe–C сплавов. Различают первичный, вторичный и третичный цементит. Чем отличаются друг от друга разные виды цементита, что у них общего? В каких сплавах каждый из них присутствует? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.4.

№ 1.5.4. Запишите эвтектическую и эвтектоидную реакции в железоуглеродистых сплавах. В чем их общность и отличие? Как называются сплавы с эвтектоидным и эвтектическим превращением? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.3.

№ 1.5.5–№ 1.5.8. По диаграмме состояния «Fe–Fe₃C» определите критические точки сплава, содержащего углерода: **№ 1.5.5)** 0,5%; **№ 1.5.6)** 1,5%; **№ 1.5.7)** 3%; **№ 1.5.8)** 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 2.3.1, 2.3.2.

№ 1.5.9–№ 1.5.16. Определите фазовый состав при эвтектической температуре Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода. **№ 1.5.9)** 2,5%; **№ 1.5.10)** 3%; **№ 1.5.11)** 3,5%; **№ 1.5.12)** 4,3%; **№ 1.5.13)** 5%; **№ 1.5.14)** 5,5%; **№ 1.5.15)** 6%; **№ 1.5.16)** 6,5%; Как называется сплав данного состава? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6.

№ 1.5.17–№ 1.5.24. Определите структурный состав при эвтектической температуре Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода. **№ 1.5.17)** 2,5%; **№ 1.5.18)** 3%; **№ 1.5.19)** 3,5%; **№ 1.5.20)** 4,3%; **№ 1.5.21)** 5%; **№ 1.5.22)** 5,5%; **№ 1.5.23)** 6%; **№ 1.5.24)** 6,5%; Как называется сплав данного состава? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6.

№ 1.5.25*. Какое минимальное количества перлита при комнатной температуре содержит заэвтектоидная сталь? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.26*. Какое количество перлита при комнатной температуре содержит эвтектический Fe–C сплав? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.27*–№ 1.5.29*. Сколько углерода при комнатной температуре содержит доэвтектоидный Fe–C сплав, если перлита в нем: **№ 1.5.27*)** 20%; **№ 1.5.28*)** 60%; **№ 1.5.29*)** 80%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.30–№ 1.5.32. Сколько феррита при комнатной температуре содержит доэвтектоидный Fe–C сплав, если углерода в нем: **№ 1.5.30)** 0,2%; **№ 1.5.31)** 0,5%; **№ 1.5.32)** 0,75%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.33–№ 1.5.35. Сколько углерода при комнатной температуре содержит заэвтектоидный Fe–C сплав, если перлита в нем: **№ 1.5.33)** 90%; **№ 1.5.34)** 85%; **№ 1.5.35)** 80%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.36–№ 1.5.38. Сколько цементита при комнатной температуре содержит заэвтектоидный Fe–C сплав, если углерода в нем: **№ 1.5.36)** 1%; **№ 1.5.37)** 1,5%; **№ 1.5.38)** 2%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.39–№ 1.5.44. Сколько перлита при температуре эвтектоидного превращения содержит Fe–C сплав, если углерода в нем: **№ 1.5.39)** 0,2%; **№ 1.5.40)** 0,5%; **№ 1.5.41)** 1%; **№ 1.5.42)** 1,5%; **№ 1.5.43*)** 4%; **№ 1.5.44*)** 5%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.45*–№ 1.5.50*. Сколько ледебурита при эвтектической температуре содержит Fe–C сплав, если углерода в нем: **№ 1.5.45*)** 2,5%; **№ 1.5.46*)** 3%; **№ 1.5.47*)** 4%; **№ 1.5.48*)** 5%; **№ 1.5.49*)** 5,5%; **№ 1.5.50*)** 6%? При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.5, 2.3.6.

№ 1.5.51–№ 1.5.55. Определите твёрдость по Бринеллю доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№ 1.5.51)** 0,15%; **№ 1.5.52)** 0,3%; **№ 1.5.53)** 0,45%; **№ 1.5.54)** 0,6%; **№ 1.5.55)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.56–№ 1.5.60. Определите предел прочности доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№ 1.5.56)** 0,15%; **№ 1.5.57)** 0,3%; **№ 1.5.58)** 0,45%; **№ 1.5.59)** 0,6%; **№ 1.5.60)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.61–№ 1.5.65. Определите относительное удлинение доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№ 1.5.61)** 0,15%; **№ 1.5.62)** 0,3%; **№ 1.5.63)** 0,45%; **№ 1.5.64)** 0,6%; **№ 1.5.65)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.66–№ 1.5.70. Определите относительное сужение доэвтектоидного Fe–C сплава, содержащего заданное количество углерода: **№ 1.5.66)** 0,15%; **№ 1.5.67)** 0,3%; **№ 1.5.68)** 0,45%; **№ 1.5.69)** 0,6%; **№ 1.5.70)** 0,75%. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.71*–№ 1.5.75*. Определите твёрдость по Бринеллю доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 1.5.71*)** 10%; **№ 1.5.72*)** 25%; **№ 1.5.73*)** 50%; **№ 1.5.74*)** 75%; **№ 1.5.75*)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6, 2.3.7.

№ 1.5.76*–№ 1.5.80*. Определите предел прочности доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 1.5.76*)** 10%; **№ 1.5.77*)** 25%; **№ 1.5.78*)** 50%; **№ 1.5.79*)** 75%; **№ 1.5.80*)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6, 2.3.7.

№ 1.5.81*–№ 1.5.85*. Определите относительное удлинение доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 1.5.81*)** 10%; **№ 1.5.82*)** 25%; **№ 1.5.83*)** 50%; **№ 1.5.84*)** 75%; **№ 1.5.85*)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6, 2.3.7.

№ 1.5.86*–№ 1.5.90*. Определите относительное сужение доэвтектоидной стали, если структура стали содержит перлита: **№ 1.5.86*)** 10%; **№ 1.5.87*)** 25%; **№ 1.5.88*)** 50%; **№ 1.5.89*)** 75%; **№ 1.5.90*)** 90%. При решении используйте данные таблиц 2.3.1, 2.3.6, 2.3.7.

№ 1.5.91–№ 1.5.95. Определение содержание углерода в доэвтектоидном Fe–C сплаве, имеющем заданную твёрдость НВ МПа. **№ 1.5.91)** 1000; **№ 1.5.92)** 1200; **№ 1.5.93)** 1400; **№ 1.5.94)** 1600; **№ 1.5.95)** 1800. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.96–№ 1.5.100. Определение содержания углерода в доэвтектоидном Fe–C сплав, имеющем заданный предел прочности σ_B МПа. **№ 1.5.96)** 300; **№ 1.5.97)** 500; **№ 1.5.98)** 650; **№ 1.5.99)** 700; **№ 1.5.100)** 800. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.101–№ 1.5.105. Определение содержания углерода в доэвтектоидном Fe–C сплав, имеющем заданное относительное удлинение δ %. **№ 1.5.101)** 45; **№ 1.5.102)** 35; **№ 1.5.103)** 30; **№ 1.5.104)** 25; **№ 1.5.105)** 20. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

№ 1.5.106–№ 1.5.110. Определение содержания углерода в доэвтектоидном Fe–C сплав, имеющем заданное относительное сужение ψ %. **№ 1.5.106)** 60; **№ 1.5.107)** 50; **№ 1.5.108)** 45; **№ 1.5.109)** 35; **№ 1.5.110)** 30. При решении используйте правило Н.С.Курнакова, см. данные таблиц 2.3.1, 2.3.7.

1.6. Маркировка, применение конструкционных и инструментальных сплавов

Теория [1-7, 13,15, 16, 20, 21].

№ 1.6.1–№ 1.6.3. Опираясь на марочное обозначение углеродистых сталей, укажите содержание в них углерода и вредных примесей. Охарактеризуйте также применение каждой стали. Марки сталей: **№ 1.6.1)** Ст3кп, 20, 65, У12; **№ 1.6.2)** Ст4пс, 30, 70, У8А; **№ 1.6.3)** Ст6сп, 45, 75, У13. При решении используйте данные таблиц 2.4.2, 2.4.4.

№ 1.6.4–№ 1.6.9. Опираясь на марочное обозначение легированных сталей, укажите содержание в них углерода, легирующих элементов, вредных примесей. Охарактеризуйте также применение каждой стали. Марки сталей: **№ 1.6.4)** 40Х, 55С2, 12МХ, 09Г2; **№ 1.6.5)** 40ХН, 60С2А, 12Х1МФ, 14Г2; **№ 1.6.6)** 30ХГСА, 60С3А, 20Х1М1Ф1ТР, 17ГС; **№ 1.6.7)** 30ХГС-Ш, 60С2Г, 25ХМФ, 16ГС; **№ 1.6.8)** 40ХМА, 60Г, 25Х2М1Ф, 09Г2С; **№ 1.6.9)** 45Х, 70Г, 18Х3МВ, 10Г2С1. При решении используйте данные таблиц 2.4.2, 2.4.4.

№ 1.6.10–№ 1.6.12. Опираясь на марочное обозначение легированных сталей, укажите содержание в них углерода и легирующих элементов. Охарактеризуйте также применение каждой стали. Марки сталей: **№ 1.6.10)** Х12М, 7ХЗ, Р18; **№ 1.6.11)** ХВГ, 4ХС, Р9; **№ 1.6.12)** Х, 5ХНМ, Р6М5. При решении используйте данные таблиц 2.4.2, 2.4.5.

№ 1.6.13–№1.6.15. Опираясь на марочное обозначение специальных сталей и сплавов, укажите их примерный состав, а также применение. Марки сталей и сплавов: **№ 1.6.13)** 40Х13, 40Х9С2, ХН60Ю; **№ 1.6.14)** 65Х18, 40Х10С2М, ХН70Ю; **№ 1.6.15)** 95Х18, 12Х18Н10Т, ХН78Т. При решении используйте данные таблиц 2.4.2, 2.4.4.

№ 1.6.16–№1.6.18. Опираясь на марочное обозначение сплавов меди, укажите их примерный состав, а также применение. Марки сплавов: **№ 1.6.16)** Л90, БрОФ6,5-0,15, МН19; **№ 1.6.17)** Л68, БрАМц9-2, МНЦ15-20; **№ 1.6.18)** Л60, БрАЖН10-4-4, МНА13-3. При решении используйте данные таблиц 2.4.8, 2.4.9.

№ 1.6.19–№1.6.21. Опираясь на марочное обозначение цветных сплавов, укажите их основу, а также применение. Марки сплавов: **№ 1.6.19)** АМг1, МА5, ВТ6; **№ 1.6.20)** Д16, МА11, ВТ14; **№ 1.6.21)** В95, МА14, ВТ22. При решении используйте данные таблиц 2.4.8, 2.4.9.

№ 1.6.22–№ 1.6.24. Опираясь на марочное обозначение литейных сплавов, укажите их состав или свойства. Марки сплавов: **№ 1.6.22)** 25Л, СЧ15, ЧС4МШ, МЛ5, ЛЦ40С; **№ 1.6.23)** 30Л, ВЧ45, МЛ8, ЧС5, ЛЦ38Мц2С2; **№ 1.6.24)** 45ФЛ, КЧ30-6, ЧХ22, МЛ10, ЛЦ30А3. При решении используйте данные таблиц 2.4.6, 2.4.10

№ 1.6.25–№ 1.6.27. Определите зарубежные аналоги (США, Германия, Япония) отечественных сталей марок: **№ 1.6.25)** Ст3сп, 40, У7, 15ХМ, ШХ15, 12Х18Н9, 20ХМЛ; **№ 1.6.26)** Ст4сп, 20, У8, 40Х, Х12М, 12Х18Н10Т, 20Х13Л; **№ 1.6.27)** Ст5сп, 10, У10, 30ХМА, 95Х18, ХН32Т, 50Л. При решении используйте данные таблиц 2.4.4, 2.4.5, 2.4.12, 2.4.13.

1.7. Эксплуатационные свойства и маркировка специальных сплавов

Теория [1-7, 13, 15, 16].

№ 1.7.1. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать проводниковые материалы? Приведите примеры маркировки проводниковых материалов. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.2.

№ 1.7.2. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать реостатные сплавы? Приведите примеры маркировки реостатных сплавов. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.2.

№ 1.7.3. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать сплавы для нагревательных элементов? Приведите примеры маркировки сплавов для нагревательных элементов на основе Fe–Cr–Al и Cr–Ni. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.2.

№ 1.7.4–№ 1.7.6. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать контактные материалы (материалы для электрических контактов)? Приведите примеры маркировки материалов для: **№ 1.7.4)** разрывных контактов; **№ 1.7.5)** скользящих контактов (токосъемники); **№ 1.7.6)** неподвижных контактов. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.2.

№ 1.7.7, № 1.7.8. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать магнитомягкие сплавы? Приведите примеры маркировки: **№ 1.7.7)** электротехнической стали; **№ 1.7.8)** магнитомягких сплавов на основе никеля.

№ 1.7.9–№ 1.7.11. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать магнитотвердые сплавы? Приведите примеры маркировки магнитотвердых сплавов: **№ 1.7.9)** Fe–C; **№ 1.7.10)** Fe–Ni–Al и Fe–Ni–Al–Co; **№ 1.7.11)** Fe–Co–Cr. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.3.

№ 1.7.12, № 1.7.13. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать сплавы для работы в условиях абразивного изнашивания? Приведите примеры маркировки сплавов: **№ 1.7.12)** для абразивного изнашивания и безударных нагрузок; **№ 1.7.13)** для абразивного изнашивания и ударных нагрузок. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.4.

№ 1.7.14–№ 1.7.17. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать сплавы для деталей трибосопряжений? Приведите примеры маркировки: **№ 1.7.14)** сплавов на основе железа для работы в условиях граничного трения; **№ 1.7.15)** сплавов на основе меди для работы в условиях граничного трения; **№ 1.7.16)** композиционных сплавов на основе железа и меди для работы в условиях недостаточной смазки; **№ 1.7.17)** спеченных сплавов для работы при сухом трении. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.4.

№ 1.7.18–№ 1.7.20. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать подшипниковые сплавы? Приведите примеры маркировки подшипниковых сплавов: **№ 1.7.18)** на основе олова и свинца; **№ 1.7.19)** на основе алюминия; **№ 1.7.20)** на основе цинка. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.4.

№№ 1.7.21–1.7.23. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать сплавы для армирования режущих инструментов? Приведите примеры маркировки сплавов системы: **1.7.21)** WC–Co; **1.7.22)** WC–TiC–Co; **1.7.23)** WC–TiC–TaC–Co. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.5.

№ 1.7.24–№ 1.7.27. Какими эксплуатационными свойствами должны обладать сплавы для паяных соединений (припои)? Приведите примеры маркировки и укажите применение припоев на основе: **№ 1.7.24)** Sn+Pb; **№ 1.7.25)** Sn+Zn; **№ 1.7.26)** Cu+Zn; **№ 1.7.27)** Ag. При решении используйте данные таблиц 2.5.1, 2.5.6.

1.8. Термическая и химико-термическая обработка сплавов

Теория [1-7, 17].

№ 1.8.1–№ 1.8.3. Пружина изготовлена из стальной проволоки (сталь марки 60). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки

пружины, если диаметр проволоки равен: № 1.8.1) 5 мм; № 1.8.2) 8 мм; № 1.8.3) 10 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.7, 2.6.12.

№ 1.8.4–№1.8.6. Пружина изготовлена из стальной проволоки (сталь марки У10). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки пружины, если диаметр проволоки равен: № 1.8.4) 6 мм; № 1.8.5) 9 мм; № 1.8.6) 12 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.7, 2.6.12.

№ 1.8.7–№ 1.8.9. Сверло изготовлено из стального прутка (сталь марки У12). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки сверла, если диаметр сверла равен: № 1.8.7) 8 мм; № 1.8.8) 10 мм; № 1.8.9) 12 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.7, 2.6.12.

№ 1.8.10–№ 1.8.12. Вал изготовлен из стального проката (сталь марки 45). Разработать технологию и режим упрочняющей термической обработки вала, если диаметр вала равен: № 1.8.10) 15 мм; № 1.8.11) 20 мм; № 1.8.12) 25 мм. Укажите оборудование, необходимое для выполнения термической обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.7, 2.6.12.

№ 1.8.13*. Разработать технологию термической обработки измерительного инструмента высокой точности из стали марки Х. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.14*. Разработать технологию термической обработки метчиков из стали марки Р6М5. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.15*. Разработать технологию термической обработки разверток из стали марки Р9М4К8. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.16*. Разработать технологию термической обработки штампа для холодного деформирования из стали марки Х12М. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.17*. Разработать технологию термической обработки штампа для горячего деформирования из стали марки 5ХНМ. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.

№ 1.8.18*. 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.

№ 1.8.19*. Разработать технологию термической обработки калибра высокой точности. Материал калибра – сталь марки ХГ. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.

№ 1.8.20*. Разработать технологию термической обработки измерительной скобы. Материал скобы – сталь марки 15Х. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.

№ 1.8.21*. Разработать технологию термической обработки плунжеров поршневого насоса. Материал плунжера – сталь марки ШХ15. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.

№ 1.8.22*. Разработать технологию термической обработки пружины, для работы в коррозионной среде. Материал пружины – сталь марки 40Х13. Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки.

№ 1.8.23*. Разработать технологию термической обработки лопаток газовой турбины. Материал лопаток – никелевый сплав марки ХН77ТЮР. Поясните назначение отдельных операций обработки.

№ 1.8.24*. Разработать технологию термической обработки дисков газовой турбины. Материал дисков – железоникелевый сплав марки ХН35ВТ. Поясните назначение отдельных операций обработки.

№ 1.8.25*. Разработать технологию термической обработки деталей котельной установки из стали марки 40Х9С2 (силхром). Поясните назначение отдельных операций упрочняющей обработки. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.26.–№ 1.8.29. Разработать технологию термической обработки изделий из алюминиевых сплавов марок: **№ 1.8.26)** Д16 (дуралюмин); **№ 1.8.27)** АК6 (ковочный); **№ 1.8.28)** В95 (высокопрочный); **№ 1.8.29)** АВ (авиаль). Поясните назначение отдельных операций термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.30. Разработать технологию термической обработки изделий из бронзы марки БрБ2. Поясните назначение отдельных операций термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.31, № 1.8.32. Разработать технологию термической обработки изделий из магниевых сплавов марок: **№ 1.8.31)** МА11; **№ 1.8.32)** МЛ5. Поясните цель проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.33. Разработать технологию термической обработки изделий из титанового сплава марки ВТ5. Поясните цель проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.34. Разработать технологию термической обработки изделий из титанового сплава марки ВТ9. Поясните цель проведения термической обработки изделий. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.35. 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 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.36*. 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 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.37*. Шнек экструдера для переработки полиэтилена изготовлен из стали марки 38Х2МЮА (нитраллой). Разработать рациональную технологию упрочняющей обработки шнека экструдера. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.7.

№ 1.8.38*–№ 1.8.44*. Определите критический диаметр вала, изготовленного из стали марок: **№ 1.8.38*)** 40; **№ 1.8.39*)** 50; **№ 1.8.40*)** 40Х; **№ 1.8.41*)** 50Х; **№ 1.8.42*)** 50Г; **№ 1.8.43*)** 40Х2Н2МА; **№ 1.8.44*)** 50ХН. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.9–2.6.11.

№ 1.8.45*–№ 1.8.47*. Подберите марку улучшаемой стали для изготовления вала, обеспечивающую ему сквозную прокаливаемость, если диаметр вала равен: **№ 1.8.45*)** 20 мм; **№ 1.8.46*)** 50 мм; **№ 1.8.47*)** 80 мм. При выборе марки рассмотрите стали, представленные в таблице 2.6.10. При решении используйте также данные таблиц 2.6.1, 2.6.9–2.6.11.

№ 1.8.48–№ 1.8.50. Выбрать марку стали с минимальным содержанием углерода, обеспечивающую после закалки поверхностную твердость изделия на уровне: **№ 1.8.48)** HRC 40; **№ 1.8.49)** HRC 50; **1.8.50)** HRC 60. При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.8.

№ 1.8.51–№ 1.8.53. Какую максимальную твердость после закалки может иметь изделие из стали марки: **№ 1.8.51)** У7; **№ 1.8.52)** У8) **№. 1.8.53)** У10? При решении используйте данные таблиц 2.6.1, 2.6.8.

1.9. Расчеты технических сплавов

Теория [1-7, 15, 16, 18, 19].

№ 1.9.1–№ 1.9.3. Опираясь на марочное обозначение углеродистых сталей, оцените их предел прочности в состоянии поставки. Марки сталей: **№ 1.9.1)** Ст3сп, 20; **№ 1.9.2)** Ст4сп, 40; **№ 1.9.3)** Ст5сп, 35. При решении используйте данные таблицы 2.7.1.

№ 1.9.4–№ 1.9.6. Опираясь на марочное обозначение углеродистых сталей, оцените их предел текучести в состоянии поставки. Марки сталей: **№ 1.9.4)** Ст3сп, 20; **№ 1.9.5)** Ст4сп, 30; **№ 1.9.6)** Ст5сп, 35. При решении используйте данные таблицы 2.7.1.

№ 1.9.7–№ 1.9.9. Опираясь на марочное обозначение углеродистых сталей, оцените их относительное удлинение в состоянии поставки. Марки сталей: **№ 1.9.7)** Ст4сп, 30; **№ 1.9.8)** Ст5сп, 35; **№ 1.9.9)** Ст3сп, 20. При решении используйте данные таблицы 2.7.1.

№ 1.9.10–№ 1.9.12. Для изготовления ёмкости холодной штамповкой необходима сталь с относительным удлинением в состоянии поставки (%): **№ 1.9.10)** 20; **№ 1.9.11)** 25; **№ 1.9.12)** 30. Выберите марку углеродистой стали, обеспечивающей требуемое условие. Поясните, требуется ли дополнительная термическая обработка готового изделия. При решении используйте данные таблицы 2.7.2.

№ 1.9.13–№ 1.9.15. Для изготовления вала необходима сталь, имеющая в состоянии поставки предел текучести (кгс/мм^2): **№ 1.9.13)** 30; **№ 1.9.14)** 35; **№ 1.9.15)** 40. Выберите марку углеродистой стали, обеспечивающей требуемое условие. Поясните, требуется ли дополнительная термическая обработка готового изделия. При решении используйте данные таблицы 2.7.2.

№ 1.9.16–№ 1.9.19. Для изготовления тяги необходима сталь, имеющая в состоянии поставки предел прочности (кгс/мм^2): **№ 1.9.16)** 40; **№ 1.9.17)** 50; **№ 1.9.18)** 60; **№ 1.9.19)** 65. Выберите марку углеродистой стали, обеспечивающей требуемое условие. Поясните, требуется ли дополнительная термическая обработка готового изделия. При решении используйте данные таблицы 2.7.2.

№ 1.9.20–№ 1.9.22. Для изготовления U-образного трубного пучка теплообменника необходима стальная труба, имеющая в состоянии поставки относительное сужение: **№ 1.9.20)** 45%; **№ 1.9.21)** 50%; **№ 1.9.22)** 55%. Выберите марку углеродистой стали, обеспечивающей требуемое условие. Поясните, требуется ли дополнительная термическая обработка готового изделия. При решении используйте данные таблицы 2.7.2.

№ 1.9.23*. Определите эквивалент цинка (Zn_3) латуни ЛЦ33А6ЖЗМц2 ($\text{Zn}=33\%$, $\text{Al}=6\%$, $\text{Fe}=3\%$, $\text{Mn}=2\%$, Cu -остальное). Запишите структурную формулу данного сплава. При решении используйте данные таблицы 2.7.3.

№ 1.9.24*. Определите эквивалент цинка (Zn_3) латуни ЛАЖ60-1-1 ($\text{Cu}=60\%$, $\text{Al}=1\%$, $\text{Fe}=1\%$, Zn -остальное). Запишите структурную формулу данного сплава. При решении используйте данные таблицы 2.7.3.

№ 1.9.25*–№ 1.9.27*. Сравните стоимость проката одного размера из сталей: **№ 1.9.25*)** 20, 20Х, 20Х13; **№ 1.9.26*)** 40Х, 40ХА, 40Х13; **№ 1.9.27*)** 20Х2, 20ХМА, 20ХГТ. При решении задачи необходимо учитывать легирование и группу качества стали. Содержание Мо и Ti в сталях следует принять в соответствии с ГОСТ4543. При решении используйте данные таблицы 2.7.4.

№ 1.9.28–№ 1.9.30. При рабочих температурах стального изделия выше 550°C и наличии химически активной среды следует применять жаростойкие стали. Жаростойкость стали определяется в основном содержанием в ней хрома. Определите допустимую рабочую температуру хромистых сталей: **№ 1.9.28)** 20Х; **№ 1.9.29)** 20Х13; **№ 1.9.30)** 20Х28. При решении используйте данные таблицы 2.7.5.

№ 1.9.31–№ 1.9.33. При рабочих температурах стального изделия выше 550°C и наличии химически активной среды следует применять жаростойкие стали. Жаростойкость стали определяется в основном содержанием в ней хрома. Определите марку хромистой стали для рабочей температуры: **№ 1.9.31)** 550°C ; **№ 1.9.32)** 800°C ; **№ 1.9.33)** 1000°C . При решении используйте данные таблицы 2.7.5.

№ 1.9.34*–№ 1.9.37*. Определите структурный класс высоколегированных сталей, опираясь на эквиваленты $\text{Cr}_{\text{экв}}$ и $\text{Ni}_{\text{экв}}$: **№ 1.9.34*)** 12Х17; **№ 1.9.35*)**

07X17; № 1.9.36*) 12X21H5T; № 1.9.37*) 12X18H10T. При расчете $Cr_{экв}$ и $Ni_{экв}$ опирайтесь на марочное обозначение стали. При решении используйте диаграмму Шеффлера, см. таблицу 2.7.6.

№ 1.9.38*. Учитывая аустенитообразующую способность марганца, рассчитайте состав Cr–Ni–Mn стали, структурно эквивалентной стали 12X18H10. Содержание никеля в Cr–Ni–Mn стали принять равным 4%. Сравните стоимость сталей 12X18H10 и Cr–Ni–Mn стали. При решении используйте данные таблицы 2.7.6.

№ 1.9.39*–№ 1.9.41*. Определите структурную принадлежность серого чугуна заданного состава (C, Si, Mn, P, S) и оцените его предел прочности. Состав чугуна (%): № 1.9.39*) 3,6; 2,4; 0,65; 0,3; 0,15; № 1.9.40*) 3,4; 1,9; 0,85; 0,2; 0,15; № 1.9.41*) 3,0; 1,4; 0,9; 0,2; 0,12. При решении используйте данные таблицы 2.7.7.

№ 1.9.42*–№ 1.9.44*. Определите структурную принадлежность серого чугуна заданного состава (C, Si, Mn, P, S) и оцените его твердость HB. Состав чугуна (%): № 1.9.42*) 3,5; 2,3; 0,60; 0,35; 0,2; № 1.9.43*) 3,6; 2,4; 0,85; 0,2; 0,15; № 1.9.44*) 3,1; 1,5; 0,9; 0,25; 0,15. При решении используйте данные таблицы 2.7.7.

№ 1.9.45–№ 1.9.47. Оцените склонность к растрескиванию при термической обработке сварных конструкций из стали: № 1.9.45) Ст3сп; № 1.9.46) 15ХМ; № 1.9.47) 30ХГСА. Состав сталей уточните по соответствующему ГОСТу. При решении используйте критерии Накамуры и Ито, см. таблицу 2.7.8.

№ 1.9.48–№ 1.9.50. Сравните свариваемость сталей марок: № 1.9.48) 20, 20Х; 20Х13; № 1.9.49) Ст3сп, Ст4сп, Ст6сп; № 1.9.50) 15; 15ХМ; 15ХГТ. Состав сталей уточните по соответствующему ГОСТу. При решении используйте эквивалент углерода, см. таблицу 2.7.8.

№ 1.9.51*–№ 1.9.53*. Определите требуемую температуру подогрева при сварке трубы с толщиной стенки 5 мм из стали: № 1.9.51*) 12ХМ; № 1.9.52*) 22К; № 1.9.53*) Ст5сп. Состав сталей уточните по соответствующему ГОСТу. При решении используйте методику Сефериана, см. таблицу 2.7.9.

№ 1.9.54*–№ 1.9.56*. Определите требуемую температуру подогрева при сварке листа толщиной стенки 7 мм из стали: № 1.9.54*) 15ХМ; № 1.9.55*) 20; № 1.9.56*) Ст4сп. Состав сталей уточните по соответствующему ГОСТу. При решении используйте методику Сефериана, см. таблицу 2.7.9.

№ 1.9.57–№ 1.9.59. Выполнена сварка образцов из стали 15Х1М1Ф. Температура подогрева при сварке 150–220°C. После сварки выполнен отпуск сварного соединения при температуре 550°C. Определить твердость металла

околошовной зоны, если продолжительность отпуска сварного соединения составила: № 1.9.57) 1 час; № 1.9.58) 2 часа; № 1.9.59) 3 часа. При решении используйте параметр Холомона, см. таблицу 2.7.10.

№ 1.9.60*–№ 1.9.62*. Выполнена сварка образцов из стали 15X1M1Ф. Температура подогрева при сварке 150–220°C. После сварки выполнен отпуск сварного соединения при температуре 550°C. Как изменится твердость металла околошовной зоны, если продолжительность отпуска увеличить с 2 часов до: № 1.9.60*) 5 часов; № 1.9.61*) 10 часов; № 1.9.62*) 15 часов. При решении используйте параметр Холомона, см. таблицу 2.7.10.

№ 1.9.63*. Выполнена сварка с подогревом образцов из стали 15X1M1Ф. После сварки выполнен отпуск сварного соединения при температуре 650°C продолжительностью 6 часов. Как изменится твердость металла околошовной зоны, если температуру подогрева со 150°C увеличить до 300°C? При решении используйте параметр Холомона, см. таблицу 2.7.10.

№ 1.9.64–№ 1.9.67. Выбрать марку конструкционной стали, обеспечивающей несущую способность изделию при прочности на уровне $\sigma_B=80$ кгс/мм², для изделия заданного диаметра: № 1.9.64) 50 мм; № 1.9.65) 70 мм; № 1.9.66) 90 мм; № 1.9.67) 100 мм. Предложите несколько вариантов решения. При решении используйте данные таблицы 2.7.11.

№ 1.9.68–№ 1.9.72. Силовая деталь имеет диаметр 60 мм. Выбрать марку конструкционной стали, обеспечивающей этой детали несущую способность при прочности (σ_B , кгс/мм²) на заданном уровне: № 1.9.68) 70; № 1.9.69) 75; № 1.9.70) 80; № 1.9.71) 85; № 1.9.72) 90. Предложите несколько вариантов решения. При решении используйте данные таблицы 2.7.11.

№ 1.9.73–№ 1.9.79. Определить уровень прочности при сохранении несущей способности изделия диаметром 80 мм из стали заданной марки: № 1.9.73) 30; № 1.9.74) 35СГ; № 1.9.75) 35ХА; № 1.9.76) 30НЗ; № 1.9.77) 33ХСА; № 1.9.78) 34ХМА; № 1.9.79) 30ХНЗ. При решении используйте данные таблицы 2.7.11.

№ 1.9.80–№ 1.9.86. Определить максимальный диаметр изделия при сохранении несущей при уровне прочности $\sigma_B=85$ кгс/мм² из стали заданной марки: № 1.9.80) 30; № 1.9.81) 35СГ; № 1.9.82) 35ХА; № 1.9.83) 30НЗ; № 1.9.84) 33ХСА; № 1.9.85) 34ХМА; № 1.9.86) 30ХНЗ. При решении используйте данные таблицы 2.7.11.

№ 1.9.87–№ 1.9.89. Расположите инструментальные сплавы по возрастанию теплостойкости: № 1.9.87) P18; BK3; У7; ХВГ. № 1.8.88) Т30К4; 9ХВГ; Р9; У9.

№ 1.9.89) У12; ТТ7К12; 6ХС; Р6М5. При решении используйте данные таблицы 2.7.12.

2. Справочные материалы

2.1. Общие сведения о материалах и их свойствах

Металлические материалы являются основными производственными материалами для машино- и приборостроения. Из 110 известных химических элементов (2000 г.) металлами являются более 80 элементов. По объему применения можно составить следующий ряд металлов (в порядке убывания): Fe (90%), Al (4%), Mg (1,5%), Cu (1%), Zn (1%) и остальные металлы в сумме $\approx 2,5\%$. В чистом виде в технике нашли применение алюминий и медь. Остальные металлы применяются в виде сплавов двух и более компонентов. Компонентами сплавов могут быть как металлы так и неметаллы.

Таблица 2.1.1. Типы кристаллических решеток некоторых металлов

Название, хим. символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атомный радиус, пм)	Кристаллические модификации ³ (параметры элемент. ячейки, пм)	Температура существования кристаллической модификации, °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

Название, хим. символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атомный радиус, пм)	Кристаллические модификации ³ (параметры элемент. ячейки, пм)	Температура существования кристаллической модификации, °С
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; c=318,13)	13-232
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

Название, хим. символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атомный радиус, пм)	Кристаллические модификации ³ (параметры элемент. ячейки, пм)	Температура существования кристаллической модификации, °С
Цирконий, Zr	91 (40; 160)	Г12 (a=323,21; c=514,77)	До 862
		К8 (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: **К12** – кубическая гранецентрированная (число атомов на ячейку (**базис**) n=4; **коэффициент компактности** η =74%; **координационное число** k=12); **К8** – кубическая объемноцентрированная (n=2; η =68%; k=8); **Ромб.** – ромбоэдрическая; **Г12** – гексагональная плотноупакованная (n=6; η =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 2.1.2. Физические свойства некоторых неметаллов

Название, хим. символ	A_r^1 (№ в ПС ² ; атомный радиус, пм)	$t_{пл}$, °С	$t_{кип}$, °С	ρ , г/см ³ (25°С)
Азот, N	14 (7; 70)	-210	-196	1,25·10 ⁻³
Водород, H	1 (1; 30)	-259	-253	0,09·10 ⁻³
Кислород, O	16 (8; 66)	-218	-183	1,43·10 ⁻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, P	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 пм = 10⁻¹² м.				

Таблица 2.1.3. Физико-механические свойства некоторых металлов

Символ	$t_{пл},$ °C	$\rho,$ 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. 1.4).

Таблица 2.1.4. Характеристики физико-химических свойств материалов

Определяемые показатели свойств	Для каких материалов используется, характерные значения
Жаростойкость	
Скорость окисления (г/м ² ·ч) или скорость роста оксидной пленки	Для материалов, работающих в химически активной среде при высоких температурах

Определяемые показатели свойств	Для каких материалов используется, характерные значения
(мкм/ч).	(выше 500°С).
Допустимая рабочая температура, при которой скорость окисления материала не превышает допустимого значения.	
Коррозионная стойкость	
Скорость электрохимической коррозии (г/м ² ·ч) или скорость изменения линейных размеров образца (мкм/ч).	Для материалов, работающих в химически активной среде при наличии электролитов на поверхности металлов и ее электрохимической неоднородности.
Степень изменения механических свойств материала под влияния среды.	
Плотность	
Масса единицы объема вещества, ρ [кг/м ³ ; г/см ³]. Максимальную плотность имеют материалы с ненаправленными металлическими связями.	Значения ρ в г/см ³ : Fe – 7,8; Al-2,7; Cu-8,9; вода – 1; воздух – 0,00129
Температура плавления	
Температура фазового перехода Ж↔ТВ (жидкость↔твёрдое) Для чистых компонентов фазовый переход происходит при постоянной температуре t _{пл} . Для сплавов фазовый переход происходит в интервале температур ликвидус-солидус.	Значения t _{пл} в °С (К) Fe – 1539 (1812); Al – 660 (933); Cu – 1083 (1356); W – 3380 (3653); H ₂ O – 0 (273); CO ₂ – -205 (68); водород – – 259 (14); кислород – – 219 (54)
Дипольный момент	
Электрический дипольный момент векторная величина, модуль которой равен произведению величины q заряда на радиус-вектор l, проведенный от центра отрицательного заряда к положительному : μ = q·l, Кл·м	Характеризует электрические свойства системы заряженных частиц.
Удельное электрическое сопротивление	
1 Ом·метр (Ом·м) равен удельному электрическому сопротивлению вещества, при котором участок (выполненный из этого вещества) электрической цепи длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м ² имеет сопротивление 1 Ом.	Проводники: ρ _{эл} =10 ⁻⁸ ...10 ⁻⁵ Ом·м. ρ _{эл} возрастает с ростом температуры. Ag-1,6·10 ⁻⁸ ; Cu-1,8·10 ⁻⁸ ; Al-2,7·10 ⁻⁸ ; Fe-10·10 ⁻⁸ ; нихром-112·10 ⁻⁸ . Полупроводники: ρ _{эл} =10 ⁻⁵ ...10 ⁸ Ом·м. ρ _{эл} уменьшается с ростом температуры. Si-1·10 ⁻³ ; Те-4,4·10 ⁻³ ; Se-10·10 ⁻³ ; Ge-460·10 ⁻³ . Диэлектрики: ρ _{эл} = ρ _{эл} =10 ⁸ ...10 ¹⁶ Ом·м.

Определяемые показатели свойств	Для каких материалов используется, характерные значения
	стекло– 10^{11} ; слюда– 10^{14} ; фарфор– 10^{14} ; бумага– 10^{15} ; эбонит– 10^{16} .
Удельная электрическая проводимость	
1 Сименс/метр (См/м) равен удельной электрической проводимости участка цепи, имеющего удельное электрическое сопротивление 1 Ом·м. $\gamma = 1/\rho_{эл}$	Проводники: $\gamma = 10^5 \dots 10^8$ См/м Полупроводники: $\gamma = 10^{-8} \dots 10^5$ См/м Диэлектрики: $\gamma = 10^{-16} \dots 10^{-8}$ См/м
Магнитная проницаемость	
Магнитная проницаемость , физическая величина, характеризующая связь между магнитной индукцией B и магнитным полем H в веществе. $\mu = B/H$, безразмерная величина	Ферромагнетики – $\mu \approx 10^4 \dots 10^5$ Пермаллой – 50000; Ni – 300; Fe – 600 Парамагнетики – $\mu \approx 1$ Al, Pt, воздух Диамагнетики – $\mu < 1$: Cu, стекло
Коэрцитивная сила	
Коэрцитивная сила H_C (А/м) – напряженность поля, которая должна быть приложена к образцу для того, чтобы его размагнитить.	Магнитомягкие материалы (сердечники трансформаторов) $H_C = 50 \div 100$ А/м Магнитотвердые материалы (постоянные магниты) $H_C \leq 560$ кА/м
Коэффициент линейного расширения	
Коэффициент линейного расширения α_t (1/град) характеризует термическое расширение образца единичной длины при нагревании на 1 град	Значения $\alpha_t \cdot 10^6$, 1/град сталь – 11,3; медь – 16,7; алюм. сплав – 22,8; инвар (Н36) – 1,5; платинит (Н48) – 9,0; суперинвар (Н31К6) – 1,0.
Теплопроводность	
Теплопроводность λ (Вт/(м·К)) представляет собой перенос тепловой энергии в твердых телах, жидкостях и газах при макроскопической подвижности частиц	Значения λ , Вт/(м·К) медь – 399; алюминий – 236; железо – 80; стекло – 0,7; вода – 0,25; фторопласт-4 – 0,24; воздух – 0,034
Удельная теплоемкость	
Удельная теплоемкость C (Дж/кг·К) – количество энергии, поглощаемой единицей массы вещества при нагреве на один градус.	Металлы имеют удельную теплоемкость в пределах 100-2000 Дж/(кг·К) Значения C , Дж/(кг·К) Cu – 385; Fe – 465; Al – 896; вода – 4190; воздух: $c_p=1009$; $c_v=720$

Таблица 2.1.5. 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

Определяемые показатели свойств	Использование показателей свойств в инженерной практике
	$s < 2$ 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 твердости (закаленная сталь) HRC $\rightarrow 20 \div 67$
Твердость по Виккерсу. Оборудование: твердомер Виккерса	
12.HV= $P/F_{\text{отп}}$, 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) $KCU = (KU_0 - KU_{\text{ост}})/F_n$, 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) $KCV = (KV_0 - KV_{\text{ост}})/F_n$, 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	Для изделий из жаропрочных

Определяемые показатели свойств	Использование показателей свойств в инженерной практике
σ_{τ}^t , МПа; кгс/мм ²	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.

Дополнительные пояснения

1, 2, 3, 4, 5, 6: P_t – соответствующая нагрузка на образце (см. ниже схему диаграммы растяжения); F_0, F_K – площадь поперечного сечения образца до и после испытания; l_0, l_K – длина рабочей части образца до и после испытания; **7:** M – изгибающий момент на образце; W_x – осевой момент сопротивления образца; **8, 12:** P – нагрузка на индентор; $F_{отп}$ – площадь поверхности отпечатка; **13, 14:** KU_0 – $KU_{ост}$; KV_0 – $KV_{ост}$ – энергия, затраченная на разрушение образца Менаже и Шарпи, соответственно; F_H – площадь сечения образца в надрезе; **15, 16:** σ_R, σ_{-1} – предел выносливости по нормальным напряжениям; τ_R, τ_{-1} – то же по касательным напряжениям; **17:** σ_{τ}^t – напряжение, которое вызывает разрушение материала при температуре t за время τ ; **18:** $\sigma_{\delta/\tau}^t$ – напряжение, под действием которого материал при температуре t деформируется на величину δ за время τ ; **19:** ε – отношение износа образца к износу некоторого эталона, измеренных в определенных единицах.

Диаграмма растяжения «Р–Δl»

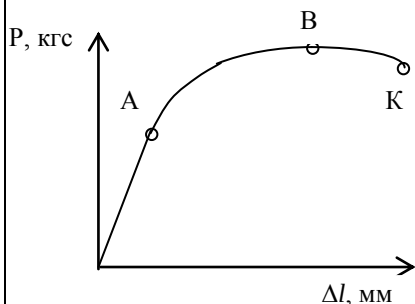


Диаграмма растяжения «Р–Δl» представляет собой графическую зависимость растягивающего усилия (P) от абсолютного удлинения (Δl) разрывного образца.
 $P_A = P_T$ – усилие текучести; P_B – усилие образования шейки; P_K – усилие разрушения.

Дополнительные пояснения

Таблица 2.1.6. Единая шкала твердости C_{ρ} 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_{ρ} по Роквеллу</i> (ГОСТ 8.064-79). Все образцовые и рабочие средства измерения твердости настроены и поверяются по шкале C_{ρ} . Твердость, измеренную по шкале C_{ρ} , воспроизводимой этим эталоном, обозначают HRC_{ρ} , в отличие от обозначения HRC ранее применявшегося в промышленности.
Пересчет: $HRC \rightarrow HRC_{\rho}^*$
$HRC_{\rho} = 2,6958 + 0,9714 \cdot HRC$; $HRC = 20-65$.
Пересчет: $HRC_{\rho} \rightarrow HRC^*$
$HRC = -2,775 + 1,0294 \cdot HRC_{\rho}$; $HRC_{\rho} = 22,1-65,8$.
* Данные [23]

Таблица 2.1.7. Нормативная документация на техническую продукцию

Виды нормативной документации
В России используются следующие основные виды нормативной документации на техническую продукцию: ГОСТы, ОСТы, ТУ и др. ГОСТ – это аббревиатура от словосочетания «государственный стандарт». Соответствующие ГОСТы разрабатываются различными организациями, специализирующимися на определенных областях деятельности. Разработанные ГОСТы регистрирует Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. ГОСТ – одна из основных категорий стандартов в РФ. Федеральный Закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. в целях гармонизации российской системы технического регулирования с международной предусматривает постепенную замену ГОСТов техническими регламентами. До тех пор пока

Виды нормативной документации		
не разработаны технические на промышленные сплавы, ГОСТы обязательны, если речь идет о безопасности людей, сохранности окружающей среды и имущества (муниципального, государственного, частного). На продукцию разрабатывают стандарты общих технических условий, которые содержат общие требования к группам однородной продукции, и технических условий, которые содержат требования к конкретной продукции. ОСТ – отраслевой стандарт устанавливаются на те виды продукции, которые являются объектами государственной стандартизации; на нормы, правила, требования, понятия и обозначения, регламентация которых необходима для обеспечения оптимального качества продукции данной отрасли. Объектами отраслевой стандартизации в частности могут быть отдельные виды продукции ограниченного применения, технологическая оснастка и инструмент, предназначенные для применения в данной области, сырье, материалы, полуфабрикаты внутриотраслевого применения, отдельные виды товаров народного потребления. Также объектами могут быть технические нормы и типовые технологические процессы, специфичные для данной отрасли, нормы, требования и методов в области организации проектирования; производства и эксплуатации промышленной продукции и товаров народного потребления. ТУ – технические условия, это документ, устанавливающий технические требования, которым должны удовлетворять конкретное изделие, материал, вещество и пр. или их группу. Кроме того, в них должны быть указаны процедуры, с помощью которых можно установить, соблюдены ли данные требования. Технические условия является техническим документом, который разрабатывается по решению разработчика (изготовителя) или по требованию заказчика (потребителя) продукции. Технические условия являются неотъемлемой частью комплекта конструкторской или другой технической документации на продукцию, а при отсутствии документации должны содержать полный комплекс требований.		
Маркировка основных видов нормативных документов		
Аббревиатура	Расшифровка	Схема маркировки
ГОСТ	Государственный стандарт СССР	ГОСТ+№*+год**
ГОСТ-Р	Государственных стандарт России	ГОСТ-Р+№*+год**
ОСТ	Отраслевой стандарт	ОСТ+№*+год**
ТУ	Технические условия	ТУ+№*+год**
РД	Руководящий	РД+№*+год**

	документ	
ВН	Ведомственная норма	ВН+№ [*] +год ^{**}
ВНП	Ведомственная норма проектирования	ВНП+№ [*] +год ^{**}
ВНТП	Ведомственная норма технологического проектирования	ВНТП+№ [*] +год ^{**}
ВСН	Ведомственная строительная норма	ВСН+№ [*] +год ^{**}
Примечание: № – регистрационный номер в уполномоченном государственном органе; год – год введения в действие НТД		
Стандарты на методы механических испытаний материалов и металлических полуфабрикатов		
ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытания на растяжение.		
ГОСТ 2999–75. Металлы. Метод измерения твёрдости алмазной пирамидой по Виккерсу.		
ГОСТ 3248–81. Металлы. Метод испытания на ползучесть.		
ГОСТ 3565–80. Металлы. Метод испытания на кручение.		
ГОСТ 3728–78. Трубы. Метод испытания на загиб.		
ГОСТ 3845–75. Трубы металлические. Метод испытания гидравлическим давлением.		
ГОСТ 8693–80. Трубы металлические. Метод испытания на бортование.		
ГОСТ 8694–75. Трубы. Метод испытаний на раздачу.		
ГОСТ 8695–75. Трубы. Метод испытаний на сплющивание.		
ГОСТ 9012–59. Металлы. Методы испытаний. Измерение твёрдости по Бринеллю.		
ГОСТ 9013–59. Металлы. Методы испытаний. Измерение твёрдости по Роквеллу.		
ГОСТ 9450–76. Измерение микротвёрдости вдавливанием алмазных наконечников.		
ГОСТ 9454–78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенной температурах.		
ГОСТ 10145–81. Металлы. Метод испытания на длительную прочность.		
ГОСТ 11150–84. Металлы. Методы испытания на растяжение при пониженных температурах.		
ГОСТ 14019–2003. Металлы. Методы испытания на изгиб.		
ГОСТ 23273–78. Металлы и сплавы. Измерение твёрдости методом упругого отскока бойка (по Шору).		
ГОСТ 26007–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на релаксацию напряжений.		
ГОСТ 27208–87 Отливки из чугуна. Методы механических испытаний.		

Стандарты на методы механических испытаний материалов и металлических полуфабрикатов
Стандарты на методы испытания сварных соединений
ГОСТ 3242–79. Швы сварных соединений. Методы контроля качества.
ГОСТ 6996–66. Сварные соединения. Методы определения механических свойств.
ГОСТ 22161–76. Машины, механизмы, паровые котлы, сосуды и аппараты судовые. Нормы и правила гидравлических и воздушных испытаний.

Таблица 2.1.8. Значения характеристик механических свойств материалов при комнатной температуре

Металл (символ); сплав, марка	НВ	σ _в	δ	ψ
	МПа		%	
Материалы в равновесном состоянии				
Бериллий (Be)		550	2	
Железо (Fe _α)	850	280	50	70
Олово (Sn _β)	50	20	40	90
Свинец (Pb)	35	15	70	95
Сурьма (Sb)	320	110	0,5	0
Цинк (Zn)	330	130	0,5	0
Эвтектоидная сталь, У8	2200	820	15	20
Эвтектический чугун	8000	—	0	0
Цементит Fe ₃ C	9000	—	0	0
Титановый сплав, BT5		800	12	
Латунь, Л90	530	260	45	80
Латунь, ЛМц58-2	850	400	40	52,5
Латунь, ЛЦ40С	750	215	16	
Бронза, БрОФ4-0,25	630	340	50	85
Бронза, БрО10Ф1	900	270	6	10
Деформируемый сплав, АМц	300	130	20	
Деформируемый сплав, АМг6	700	170	20	
Литейный сплав, АК12	500	130	2	
Сплавы после термического упрочнения				
Улучшенная сталь, 40	3500	500	15	52
Улучшенная сталь, 40ХН2МА		1100	12	50
Низкоотпущенная сталь, 40ХГСН3ВА		2000	11	43
Сталь после ВТМО, 30Х5М2СФА		2200		40
Мартенситно-стареющая сталь, 03Х12К15М10		2500	6	30

Металл (символ); сплав, марка	НВ	σ_B	δ	ψ
	МПа		%	
Метастабильная аустенитная сталь (трипсталь), 30Х9Н8М4Г2С2		1800... 2000	20-30	
Инструментальная сталь, У13	HRC64	—	—	—
Титановый сплав, BT22	400	1450	6	KCU =30 Дж/см ²
Бронза, БрБ2	400	1250	2,5	
Деформируемый сплав, Д16	1050	440	20	
Деформируемый сплав, В95	1500	540	10	
Литейный сплав, АК9	750	260	4	
Композиционные материалы				
Спеченная алюминиевая пудра, САП-1 (6-8% Al ₂ O ₃)	300	70	11*	
Спеченная алюминиевая пудра, САП-4 (18-22% Al ₂ O ₃)	450	15	17*	
Волокна (средний диаметр волокна, мкм)				
Углерод или графит (5,8-7,6)		1700... 3400	110-210*	
Бор на вольфрамовой проволоке (102-142)		2710... 4060	110-160*	
Al ₂ O ₃ (3)		2030	66*	
Сталь 18Х15Н5АМ3 (150)		3500... 3800	48*	
Нитевидные монокристаллы (средний диаметр волокна, мкм)				
Сапфир, Al ₂ O ₃ (0,51-11)		4000... 23600	110-620*	
Карборунд, SiC (0,51-11)		13500... 40600	440-1320*	
Материалы высокой твердости, химическая формула или марка				
Алмаз	HV100000 МПа			
Кубический нитрид бора, BN	HV90000 МПа			
Твердый сплав, ВК3	HRA89,5; σ_H = 1100 МПа			
Твердый сплав, ВК25	HRA82; σ_H =2000 МПа			
Примечания: * Удельная прочность (отношение предела прочности к удельному весу $\sigma_B/(\rho \cdot g)$, км); физически характеризует длину проволоки из данного материала, обрывающейся под собственным весом.				

Таблица 2.1.9. Дефекты кристаллического строения металлов

Наименование дефекта	Проявление дефекта
Вакансии	Реализация явления диффузии
Дислокации	Явление упрочнения
Границы зерен	Зернистость структуры влияет на прочность металла
Количественные соотношения, связанные с проявлением дефектов	
Закон Фика. Количество вещества, диффундирующего через единицу площади поверхности раздела в единицу времени, прямо пропорционально градиенту концентрации $m = -D \cdot (dc/dx), \quad (1)$ здесь D [$\text{м}^2/\text{с}$] – коэффициент самодиффузии.	
Формула Аррениуса для определения коэффициента самодиффузии $D = -D_0 \cdot e^{-Q/RT}, \quad (2)$ D_0 [$\text{м}^2/\text{с}$] – предэкспоненциальный множитель; Q [Дж/моль] – энергия активации; $R = 8,31$ Дж/(моль·град) – универсальная газовая постоянная; T [К] – температура.	
Плотность дислокаций ρ [см^{-2}] характеризует суммарную длину дислокаций в единице объема металла $\rho = 1/V.$ Влияние ρ в кристаллической решётке сплавов на их прочность характеризует диаграмма И.А. Одингa [4, с. 68]. Увеличения прочности металла можно добиться уменьшением плотности дислокаций менее 10^6 см^{-2} (бездислокационные кристаллы) или увеличением ρ более 10^8 см^{-2} (сплавы, упрочнённые легированием, термообработкой и др.).	
Закон Холла-Петча характеризует влияние зернистости микроструктуры металла на его прочность $\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}, \quad (3)$ здесь σ_T – предел текучести металла; σ_0 – постоянное слагаемое; k – размерный множитель; d – размер зерна микроструктуры;	

Таблица 2.1.10. Значение параметров самодиффузии для некоторых металлов

Металл (символ)	$T_{пл}$, К	D_0 , $\text{м}^2/\text{с}$	Q , кДж/моль
Вольфрам (W)	3653	$5,4 \cdot 10^{-5}$	504,5
Тантал (Ta)	3273	$2,0 \cdot 10^{-4}$	460,5
Молибден (Mo)	2873	$5,0 \cdot 10^{-5}$	405,7
Хром (Cr)	2148	$2,0 \cdot 10^{-5}$	308,6
Железо (Fe)	1812	$2,0 \cdot 10^{-4}$	251,2
Примечания: $T_{пл}$ – температура плавления; D_0 – предэкспоненциальный множитель в уравнении для коэффициента диффузии (см. формулу для определения коэффициента самодиффузии в таблице 2.1.9); Q – энергия активации.			

Таблица 2.1.11. Количественное сравнение значений твёрдости, определенной разными методами

Обоснование: Среди методов определения твёрдости, указанных в таблице 2.1.5, 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
$HV(HB) = 50 + 0,482301 HB + 0,001149 HB^2 \quad (1)$
$HV(HRA) = 2331 - 81,4776 HRA + 0,7657 HRA^2 \quad (2)$
$HV(HRB) = 252 - 5,7681 HRB + 0,0561 HRB^2 \quad (3)$
$HV(HRC) = 318 - 10,527673 HRC + 0,304221 HRC^2 \quad (4)$
Примечания: Уравнения 1-4 получены обработкой данных по твердости сталей и сплавов [16]. 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 [16]. 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	—
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

HV	HB	HRA	HRC	HRB	HV	HB	HRA	HRC	HRB
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 [16].

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 2.1.12. Анизотропия свойств кристаллов и металлических полуфабрикатов

Анизотропия – различие свойств кристалла в зависимости от направления испытания. **А.** монокристалла обусловлена различной насыщенностью атомами разных направлений вследствие наличия кристаллического строения. Поликристаллы являются изотропными, т.е. у них отсутствует **А.** свойств.

Анизотропия свойств металлических полуфабрикатов

Стальные металлические полуфабрикаты имеют полосчатую феррито-перлитную структуру, ориентированную вдоль прокатки. Наличие такой полосчатой структуры вызывает сильную **А.** свойств металла, т.е. различие свойств образцов, вырезанных вдоль и поперек прокатки. **А.** свойств проката характеризуют отношением свойств металла в поперечном $X_{\text{поп}}$ и продольном $X_{\text{прод}}$ направлениях. В основном снижение поперечных свойств проката проявляется на характеристиках пластичности (ψ) и вязкости (KCU), прочностные свойства при этом менее чувствительны к полосчатости структуры металла. Обычно ударная вязкость имеет коэффициент анизотропии 0,5 ($KCU_{\text{поп}}/KCU_{\text{прод}}=0,5$).

Свойства металла проката могут быть улучшены путем повышения чистоты металла по сере и кислороду, используя современные методы выплавки (вакуумирование металла) или уменьшения строчечности проката совершенствованием методов прокатки («поперечная прокатка»), коэффициент анизотропии ударной вязкости при этом достигает значений до 0,7-0,8.

Для стального горячекатаного проката наблюдается **А.** свойств также по толщине листа. Так в поверхностном слое листа наблюдаются микронадрывы, волосовины и другие дефекты. Поэтому при использовании горячекатаных листов предусматривается припуск толщины листовой заготовки для удаления дефектного слоя.

Таблица 2.1.13. Практическое применение некоторых металлов

Алюминий

В промышленности алюминий (**А.**) применяется как в чистом виде, так и в виде

Алюминий
сплавов. Конструкционные сплавы А. (силумины Al–Si, дуралюмины Al–Cu–Mn, магнилии Al–Mg) обладают высокой удельной прочностью. В алюминиевых резервуарах большой ёмкости хранят и транспортируют жидкие газы (метан, кислород, водород и т. д.), азотную и уксусную кислоты, чистую воду, перекись водорода и пищевые масла. А. широко применяют для изготовления оборудования и аппаратов пищевой промышленности, для упаковки пищевых продуктов (в виде фольги), для производства разного рода бытовых изделий. Пудра алюминиевая комкованная (САП) применяется для изготовления спеченных и деформированных алюминиевых сплавов. В настоящее время резко возросло потребление сплавов А. для отделки зданий, архитектурных, транспортных и спортивных сооружений. Сверхчистый А. употребляют в производстве электрических конденсаторов и выпрямителей, действие которых основано на способности окисной плёнки А. пропускать электрический ток только в одном направлении. А., очищенный зонной плавкой, применяется для синтеза полупроводниковых соединений типа $A_{III}B_V$, применяемых для производства полупроводниковых приборов. Чистый А. используют в производстве разного рода зеркал отражателей. А. высокой чистоты применяют для предохранения металлических поверхностей от действия атмосферной коррозии (плакирование, алюминиевая краска). Обладая относительно низким сечением поглощения нейтронов, А. применяется как конструкционный материал в ядерных реакторах. Порошок алюминиевый применяется для синтеза алюминийорганических соединений.
Бериллий
Основные достоинства сплавов бериллия (Б.) – высокая удельная прочность (порядка 30 км) и удельная жёсткость до температур 600...800°C, высокая теплоёмкость и малое поперечное сечение захвата нейтронов; основные недостатки – низкая пластичность при комнатной и криогенных температурах, токсичность. Изделия и полуфабрикаты из сплавов Б. получают главным образом методами порошковой металлургии, реже литьём. В промышленности используется бериллизация – поверхностное диффузионное насыщение стали и др. сплавов Б. В результате этого повышается твёрдость стали, жаростойкость при 800...1000°C и коррозионная стойкость. Б. и его сплавы (главным образом с медью – бериллиевые бронзы) применяются в электротехнике, электронике, промышленности средств связи, ядерном реакторостроении (замедлители и отражатели тепловых нейтронов), аэрокосмической технике.
Ванадий
95% ванадия (В.) применяется в металлургии для легирования сталей

(быстрорежущие, низколегированные инструментальные и и струкционные). Чистый металлический В. используют в атомной энергетике (оболочки для тепловыделяющих элементов, трубы) и в производстве электронных приборов. Соединения В. применяют в химической промышленности как катализаторы, в сельском хозяйстве и медицине, в текстильной, лакокрасочной, резиновой, керамической, стекольной, фото и кинопромышленности.
Вольфрам
В виде компонента сплавов вольфрам (В.) используется в легированных конструкционных и инструментальных сталях, инструментальных сплавах на основе карбида вольфрама (WC), в жаропрочных сплавах на Fe+Ni и Ni основе. В чистом виде вольфрам В. применяют для нитей накала электроламп, а также для изготовления деталей электровакуумных приборов в радиоэлектронике и рентгентехнике.
Железо
Железо (Ж.) – важнейший металл современной техники. Более 90% металлических материалов являются сплавами Ж. (стали, чугуны). Сплавы Ж. применяются как конструкционные, инструментальные и специальные материалы.
Кобальт
Кобальт используют в качестве легирующего элемента в жаропрочных и жаростойких сталях и сплавах, для изготовления постоянных магнитов, для легирования быстрорежущей стали, для наплавочных материалов и др.

Магний

Основное применение металлического магния (**М.**) – производство сплавов на его основе. Сплавы **М.** пригодны для работы при криогенных, нормальных и повышенных температурах. Благодаря малой плотности, высокой удельной прочности, способности поглощения энергии удара и вибрационных колебаний, отличной обрабатываемости резанием сплавы **М.** широко используются в машиностроении, прежде всего для снижения массы изделий, повышения их жёсткости. **М.** широко применяют в металлургических процессах получения трудновосстанавливаемых и редких металлов (Ti, Zr, Hf, U и других), используют для раскисления и десульфурации металлов и сплавов. Смеси порошка **М.** с окислителями служат как осветительные и зажигательные составы.

Медь

Использование меди (**М.**) в технике обусловлено её высокой электропроводностью, пластичностью, теплопроводностью. Свыше 50 % добываемой **М.** применяют в электротехнической промышленности. Около 30-40 % **М.** используют в виде различных конструкционных сплавов, среди которых наибольшее значение имеют латуни (Cu+Zn), различные виды бронз (оловянная, алюминиевая, свинцовая, бериллиевая и др.), а также

медноникелевые сплавы (мельхиор, нейзильбер, манганин, константан и др.).
Молибден
70-80 % добываемого молибдена (М.) идёт на производство легированных сталей. Металлический М. используют для изготовления анодов, сеток, катодов, держателей нити накала в электролампах. Молибденовые проволока и лента широко используются в качестве нагревателей для высокотемпературных печей.
Никель
Подавляющая часть никеля (Н.) используется для получения сплавов с др. металлами (Fe, Cr, Cu и др.), отличающихся высокими механическими, антикоррозионными, магнитными или электрическими и термоэлектрическими свойствами. В связи с развитием реактивной техники и созданием газотурбинных установок особенно важны жаропрочные и жаростойкие хромоникелевые сплавы. Н. используется также для производства щелочных аккумуляторов и антикоррозионных покрытий. Ковкий Н. в чистом виде применяют для изготовления листов, труб и т.д. Н. используется также в химической технологии как катализатор многих химических процессов.
Ниобий
Из чистого ниобия или его сплавов изготавливают: детали летательных аппаратов; оболочки для урановых и плутониевых тепловыделяющих элементов; контейнеры и трубы для жидких металлов; детали электрических конденсаторов; «горячую» арматуру электронных (для радарных установок) и мощных генераторных ламп (аноды, катоды, сетки и др.); коррозионноустойчивую аппаратуру в химической промышленности. Феррониобий вводят в нержавеющие хромоникелевые стали для предотвращения их межкристаллитной коррозии, в стали др. типов – для улучшения их свойств.
Олово
До 40% олова (О.) идёт на лужение консервной жести, остальное расходуется на производство припоев, подшипниковых и типографских сплавов. Двуокись О. SnO_2 применяется для изготовления жаростойких эмалей и глазурей. Соль О. станнит натрия $\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ используется в протравном крашении тканей. Кристаллический SnS_2 («сусальное золото») входит в состав красок, имитирующих позолоту. Станнид ниобия Nb_3Sn – один из наиболее используемых сверхпроводящих материалов.
Свинец
Свинец применяют: в производстве свинцовых аккумуляторов; для изготовления заводской аппаратуры, стойкой в агрессивных газах и жидкостях; как материал для защиты от действия рентгеновских лучей (контейнеры для хранения радиоактивных веществ, аппаратура рентгеновских кабинетов и др.); для изготовления оболочек электрических

кабелей, защищающих их от коррозии и механических повреждений. Свинцовые сплавы применяют: в качестве припоев; подшипниковых сплавов; типографских сплавов; для отливки дробы и сердечников пуль; для решеток свинцовых аккумуляторов.

Сурьма

Сурьма применяется в основном в виде сплавов на основе свинца и олова для подшипниковых сплавов, аккумуляторных пластин, кабельных оболочек, сплавов, применяемых в полиграфии (гарт), и др.

Титан

Основная часть титана (**Т.**) расходуется на нужды авиационной и ракетной техники и морского судостроения. **Т.** (ферротитан) используют в качестве лигирующей добавки к качественным сталям и как раскислитель. Технический **Т.** идет на изготовление емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов, клапанов и других изделий, работающих в агрессивных средах. Из компактного **Т.** изготавливают сетки и другие детали элетктровакуумных приборов, работающих при высоких температурах. Карбид **Т.** (TiC), обладающий высокой твёрдостью, входит в состав инструментальных твёрдых сплавов, используемых для изготовления режущих инструментов и в качестве абразивного материала. Двоокись **Т.** (TiO_2) и титанат бария ($BaTiO_3$) служат основой титановой керамики, а титанат бария – важнейший сегнетозлектрик.

Хром

Использование хрома (**Х.**) основано на его жаропрочности и устойчивости против коррозии. **Х.** применяют: для выплавки хромистых сталей (хромаль, хромель, хромансиль). Аллюмино- и силикотермический **Х.** используют для выплавки хромоникелевых сплавов (нихром, нимоник). **Х.** используют для получения декоративных коррозионно-стойких покрытий (хромирование). Порошковый **Х.** применяют в производстве металлокерамических изделий и материалов для сварочных электродов. Из смеси хромита ($FeCr_2O_4$) и магнезита ($MgCO_3$) изготавливают огнеупорные изделия.

Цинк

Около половины производимого цинка (**Ц.**) расходуется на защиту стали от коррозии (цинкование). Цинковые сплавы применяются в качестве конструкционных (латунь, нейзильбер) и специальных (подшипниковые сплавы). **Ц.** применяется для рафинирования свинца от благородных металлов. В виде порошка **Ц.** служит восстановителем в ряде химико-технологических процессов: в производстве гидросульфита, при осаждении золота из промышленных цианистых растворов, меди и кадмия при очистке растворов цинкового купороса и др. Многие соединения **Ц.** являются люминофорами, например три основных цвета на экране кинескопа зависят

от $\text{ZnS} \cdot \text{Ag}$ (синий цвет), $\text{ZnSe} \cdot \text{Ag}$ (зелёный цвет) и $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Mn}$ (красный цвет). Наиболее распространённые химические источники тока (например, Лекланше элемент, окиснортутный элемент) имеют в качестве отрицательного электрода **Ц**.

Таблица 2.1.14.

Рекристаллизация сплавов

При холодной деформации (см. ниже) металл приобретает волокнистую структуру, происходит деформационное упрочнение (наклёп) металла (повышается прочность, снижается пластичность). При этом структура металла становится термодинамически неустойчивой. Последующее нагревание выше определённой температуры ($t_{\text{ПР}}$) приводит к разупрочнению металла (снижается прочность, восстанавливается пластичность).

Рекристаллизация – процесс зарождения и роста новых зёрен с меньшим количеством дефектов строения, чем в волокнистой структуре деформированного металла. В отличие от перекристаллизации (изменение типа кристаллической решётки при нагревании вследствие полиморфного превращения), присущей некоторым металлам, рекристаллизация является явлением, присущим всем металлам и сплавам.

А.А.Бочвар получил формулу для определения температурного порога рекристаллизации ($T_{\text{ПР}}$, $t_{\text{ПР}}$)

$$T_{\text{ПР}} = k \cdot T_{\text{ПЛ}}, \quad \text{К}$$

$T_{\text{ПЛ}}$ – температура плавления металла (для сплавов температура солидус), К; k – коэффициент, зависящий от вида металла ($k=0,15$ для чистых металлов; $k=0,4$ технически чистые металлы; $k=0,55$ сплавы).

Переход от «Кельвинов» к «Градусам Цельсия» $\rightarrow t_{\text{ПР}} = T_{\text{ПР}} - 273$.

В зависимости от соотношения температуры обработки давлением $t_{\text{ОБР}}$ и температуры рекристаллизации $t_{\text{ПР}}$ различают следующие виды деформации: холодная $\rightarrow t_{\text{ОБР}} < t_{\text{ПР}}$; горячая $\rightarrow t_{\text{ОБР}} > t_{\text{ПР}}$.

Рекристаллизационный отжиг – термическая обработка, служащая для восстановления пластичности металла после холодного деформирования.

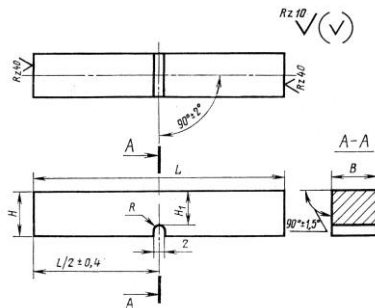
$$t_{\text{РЕКР.ОТЖ}} > t_{\text{ПР}}$$

Температуры рекристаллизации, рекристаллизационного отжига и горячей обработки металлов давлением

Металл, символ	Температура, град С		
	$t_{\text{ПР}}$ для $k=0,4$	$t_{\text{РЕКР.ОТЖ}}$	горячей обработки давлением
Железо, Fe	450	600...700	1300...800
Сталь	450	600...700	1300 (1100)...800
Медь, Cu	270	450...500	800...600
Латунь	250	400...500	750...600
Алюминий, Al	100	250...350	460...350
Молибден, Mo	900	1400...1600	1400...2000

Таблица 2.1.15. Надрезанные образцы для ударного изгиба

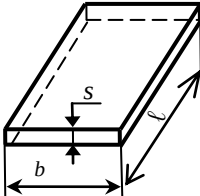
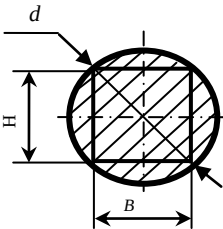
По ГОСТ 9454–78 ударная вязкость КСУ (образец Менаже), КСВ (образец Шарпи), КСТ (образец с трещиной нормированной глубины) определяется на надрезанных образцах по результатам их испытания ударным изгибом на маятниковом копре (см. таблицу 2.1.5). На рисунке показан образец с U-образным надрезом (образец Менаже). Рекомендуемые ГОСТ 9454–78 размеры образцов с U-образным и V-образным надрезом представлены в таблице.

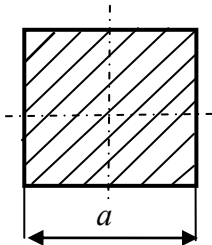


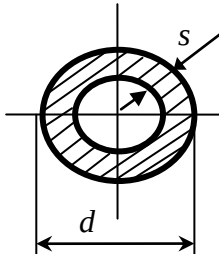
Концентратор	Тип	R	$L \pm 0,6$	B	$H \pm 0,1$	H_1
мм						
U (Менаже)	1	$1 \pm 0,1$	55	$10 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$
	2			$7,5 \pm 0,1$	10	$8 \pm 0,1$
	3			$5 \pm 0,05$	10	$8 \pm 0,1$
	4			$2 \pm 0,05$	8	$6 \pm 0,1$
	5			$10 \pm 0,1$	10	$7 \pm 0,1$
	6			$7,5 \pm 0,1$	10	$7 \pm 0,1$
	7			$5 \pm 0,05$	10	$7 \pm 0,1$
	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	$6 \pm 0,1$

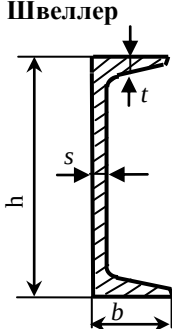
Образцы типа 1–4 являются предпочтительными при решении задач №№ 1.2.41–1.2.56.

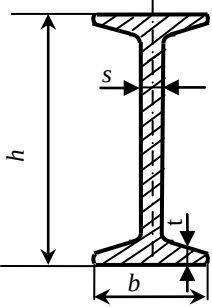
Таблица 2.1.16. Некоторые виды металлических полуфабрикатов

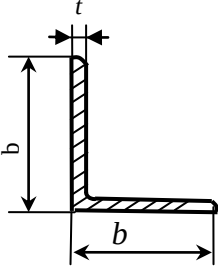
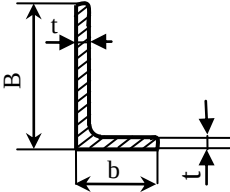
Вид сечения	ГОСТ; размеры, мм
Листовой прокат	
	Прокат горячекатаный ГОСТ 19903-90 $s=0,4-160$ мм; $b= \dots$ мм ; $l= \dots$ мм Прокат холоднокатаный ГОСТ 19904-90 $s=0,35-5$ мм; $b=500-2350$ мм; $l=1000-6000$ мм. Виды листового проката $s < 0,2$ мм – фольга $s = 0,2-4$ мм – тонкий лист $s > 4$ мм – толстый лист s, b, l – толщина, ширина, длина
Сортовой прокат	
Круглый 	Прокат обычной точности ГОСТ 2950-88 $d=5-200$ мм Прокат калиброванный ГОСТ 7417-75 $d=3-100$ мм Прокат со специальной отделкой поверхности (серебрянка) ГОСТ 14955-77 $d=0,2-50$ мм B, H – размеры сечения надрезанного образца (см. таблицу 1 учебного пособия) Соотношение между диаметром проката и размерами сечения надрезанного образца $d^2 = B^2 + H^2$
Квадратный	ГОСТ 2591-88 $a=6-200$ мм

Сортовой прокат	
	

Сортовой прокат Трубы	
	Трубы бесшовные горячедеформированные ГОСТ 8732-78 $d = 25-820$ мм; $s = 2,5-75$ мм Виды труб $d/s > 40$ – особотонкостенные $d/s = 12,5-40$ – тонкостенные $d/s = 6-12,5$ – толстостенные $d/s < 6$ – особотолстостенные d – наружный диаметр; s – толщина стенки

Фасонный прокат	
Швеллер 	ГОСТ 8240-89 $h = 50-400$ мм; $b = 32-115$ мм; $s = 4,4-8,0$ мм; $t = 7-13,5$ мм h – высота; b – ширина полки; s – толщина стенки; t – толщина полки
Двутавр	ГОСТ 8239-89 $h = 100-600$ мм; $b = 55-190$ мм; $s = 4,5-12,0$ мм;

Фасонный прокат	
	$t = 7, 2-17,8 \text{ мм}$ h – высота; b – ширина полки; s – толщина стенки; t – толщина полки

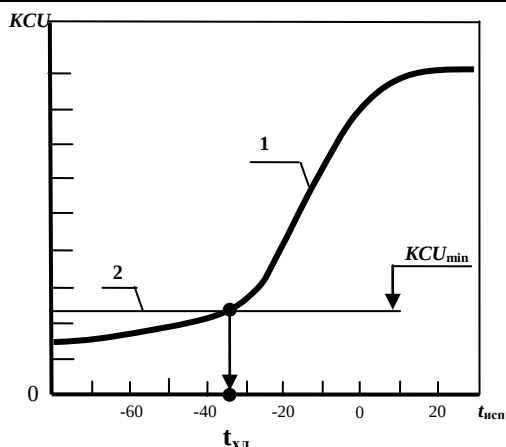
Фасонный прокат	
Уголок равнополочный 	ГОСТ 8509-93 $b = 20-250 \text{ мм}$; $t = 7, 2-17,8 \text{ мм}$ b – ширина полки; t – толщина полки
Уголок неравнополочный 	ГОСТ 8510-93 $B = 25-200 \text{ мм}$; $b = 16-125 \text{ мм}$; $t = 3-16 \text{ мм}$ B, b – ширина полок; t – толщина полок
Пояснения	

Пояснения

При выборе типа образца лимитирующим является размер исследуемого полуфабриката, ограничивающий сечение ударного образца. Для листового и фасонного проката тип образца согласуйте с толщиной s или t . При этом необходимо также предусмотреть возможность снятия дефектного слоя на поверхности проката при изготовлении образца, чтобы избежать анизотропии свойств металла по толщине надрезанного образца. Минимальный припуск на механическую обработку составляет 0,5 мм на сторону. При выборе типа образца следует отдавать предпочтение образцам типа 1, 2, 3, 4. (таблица 2.1.15).

Таблица 2.1.17. Порог хладноломкости стали

Под порогом хладноломкости принято понимать интервал температур испытания, в котором разрушение металла образца переходит от вязкого разрушение 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. Упрощенный 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 2.1.18. 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)	
$\sigma_B = 0,34 \cdot HB - 2$	$HB = 177-450$
$\sigma_B = 38,8 \cdot e^{0,0303HRC}$	$HRC = 20-67$
$HB = 2,92 \cdot \sigma_B + 5$	$\sigma_B = 60-155$
$HRC = 32,86 \cdot \ln \sigma_B - 120$	$\sigma_B = 77-310$
*Уравнения регрессии получены по данным [22]. Размерность величин, входящих в эмпирические формулы: $[\sigma_B]$, $[HB]$ в кгс/мм². Для перехода к размерности механических напряжений СИ используйте приближенный пересчёт 1 кгс/мм² $\approx$ 10 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.	

2.2. Двойные сплавы

Таблица 2.2.1. Основные термины и понятия по теме «Двойные сплавы»

Термин – определение. Пояснения.
Чистый металл – металл, имеющий суммарное количество примесей 0,001÷0,01 %. Ч.м. используются для электротехнических целей, реализации химических технологий и др.
Технически чистый металл – металл, имеющий суммарное количество примесей 0,1÷0,5 %. Т.ч.м. используются для получения технических сплавов.

Термин – определение. Пояснения.
Сплав – вещество, полученное сплавлением двух и более компонентов. С. обозначаются символами компонентов сплава: Fe–C, Cu–Zn, Cu–Ni и др. Обобщенно С. обозначается А–В. Классификация сплавов представлена в таблице 2.2.2. Состав сплавов характеризуется массовыми, атомными или объемными долями (таблица 2.2.3).
Компонент сплава – составляющая сплава. К. с. может быть металлом (Fe, Cu, Ni, Al и др.), неметаллом (C, Si и др.), соединением (Fe₃C, WC, CuAl₂ и др.).
Фаза – обособленная часть сплава, отделенная от других частей сплава поверхностью раздела, при переходе через которую свойства сплава изменяются скачкообразно. В сплаве Ф. представляют собой: чистые компоненты (А, В), твердые растворы (А(В), В(А)), химические соединения (А_тВ_п).
Критическая точка – температура, при которой в сплаве происходят фазовые превращения (изменения фазового состава). В зависимости от характера превращения К.т. имеют собственные имена: ликвидус, солидус, сольвус и др. (таблица 2.2.4).
Кристаллизация – образование кристаллов из паров, растворов, расплавов, веществ, находящихся в твёрдом состоянии (аморфном или другом кристаллическом), в процессе электролиза и при химических реакциях. К. является примером фазового перехода 1-го рода и сопровождается выделением теплоты (скрытая теплота кристаллизации).
К. первичная – переход металла из жидкого или парообразного состояния в твёрдое с образованием кристаллической структуры.
К. вторичная – образование новых кристаллов в твёрдом кристаллическом веществе.
Для начала К. необходимо, чтобы процесс был выгоден системе и сопровождался уменьшением её свободной энергии.
Кристаллит – монокристалл неправильной формы, не имеющий характерной кристаллической огранки. К К. относят дендриты, зерна кристаллические металлических слитков, горных пород, минералов и т.д.
Температура кристаллизации – температура, при которой происходит переход вещества в кристаллическое состояние (см. таблицу 2.2.4).
Степень переохлаждения – разность между теоретической и фактической температурой кристаллизации. Увеличение С.п. сплава приводит к измельчению зёрен слитка.

Термин – определение. Пояснения.
Твердый раствор A(B) или α, β – раствор одного компонента (растворенное вещество (B)) в другом (растворитель (A)). Т.р. имеет кристаллическую решётку растворителя и однотипные зёрна структуры. Различают Т.р. замещения и внедрения. Т.р. замещения возможны при различии атомных радиусов компонентов сплава не более 15% (размерный фактор), примеры: Cu(Ni), Cu(Au), Bi(Sb), Ge(Si) и др. Т.р. внедрения возникают при сплавлении металлов с неметаллами, имеющими малый атомный радиус (H, N, C, B), примеры: феррит – Fe$_{\alpha}$ (C); аустенит – Fe$_{\gamma}$(C) и др. Т.р. существует в интервале концентраций, растворимость компонентов Т.р. увеличивается с ростом температуры.
Химическое соединение A$_n$B$_m$ – фаза, образующаяся в случае, когда компоненты сплава вступают в химическую реакцию. Х.с. имеет ионный или металлический тип межатомной связи. С неметаллами (Н) металлы (Ме) в сплавах образуют Х.с. вида Ме$_n$Н$_m$ (оксиды, сульфиды, карбиды и др.). Такие Х.с. являются фазами постоянного состава. Между собой в сплавах металлы образуют Х.с. переменного состава, называемые металлическими соединениями или интерметаллидами (FeCr, FeSb, NiSb и др.).
Механическая смесь компонентов сплава образуется, когда они не способны к взаимному растворению в твердом состоянии и не вступают в химическую реакцию друг с другом. М.с., образующаяся из жидкой фазы при постоянной температуре называется эвтектикой (например, ледебурит Fe–C сплавов) из твердой фазы – эвтектоидом (например, перлит Fe–C сплавов). Составляющие М.с. сохраняют свою кристаллическую решётку. М.с. могут представлять собой: [A+B], [A+β], [A+ A$_m$B$_n$] и др. варианты.
Диаграмма состояния системы – графическое изображение фазового (или структурно-фазового) состава сплавов системы в зависимости от температуры (ось ординат) и концентрации компонентов (ось абсцисс). Д.с. обозначаются символами компонентов: Pb–Sb, Zn–Sn и др. Первый символ в обозначении находится на правой ординате Д. с., второй – на левой. Ось абсцисс принято маркировать содержанием второго компонента Д. с., иногда ось абсцисс имеет двойную маркировку (например, Д.с. Fe–Fe$_3$C маркируется по углероду и цементиту). Некоторые Д.с., используемые в задачах сборника, представлены в таблице 2.2.13.
Фазовый состав сплава – совокупность фаз, образующих сплав данного состава при данной температуре $\Phi C = \sum \Phi_i$. При анализе Ф.с. сплава определяют компонентный состав фаз (правило концентраций), и их относительное количество (правило отрезков).

Термин – определение. Пояснения.	
Структурно-фазовый состав	сплава – совокупность элементов структуры сплава данного состава при комнатной температуре. В сплавах, не имеющих в структуре элементов в виде механических смесей (эвтектика или эвтетоид), С-ф.с. и фазовый состав идентичны $СФС \equiv ФС$. Количество эвтектики или эвтектоида в сплаве определяется по правилу треугольника.
Структура	– наблюдаемое строение сплава. В зависимости от способа наблюдения строения сплава различают макро- и микроструктуру.
Макроструктура	– строение сплава, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении в 30-40 раз. М. можно исследовать по излому и на макрошлифах (темплетах). Исследованием макрошлифа можно определить: форму и расположение зёрен в литом металле; волокна (деформированные кристаллиты) в поковках и штамповках; макродефекты, нарушающие сплошность металла (усадочная рыхлость, газовые пузыри, раковины, трещины и т.д.); химическую неоднородность (ликвация) сплава, вызванную процессом неравновесной кристаллизации или созданную термической или химико-термической (цементация, азотирование и др.) обработкой.
Микроструктура	– строение металла, наблюдаемое с помощью микроскопа (оптического или электронного). Элементами М. являются зёрна (сечение кристаллитов плоскостью шлифа). Зёрна могут быть фазами или механическими смесями компонентов сплава (эвтектиками или эвтектоидами). Для наблюдения М. в оптическом микроскопе из исследуемого сплава изготавливают микрошлиф (небольшой фрагмент металла, помещенный в оправку, который шлифуют, полируют и подвергают травлению для выявления границ зерен). Световой микроскоп позволяет проводить наблюдение М. при увеличении до 2000 раз. Для исследования поверхности изломов применяются растровые электронные микроскопы (РЭМ), которые обладают большой глубиной резкости и имеют разрешающую способность до $3 \cdot 10^{-8}$ м.
Тонкая структура (субструктура)	– структура металла, имеющая размеры, близкие к межатомным расстояниям. Т.с. наблюдается с помощью электронного микроскопа в режиме отражения или на просвет. Электронный микроскоп позволяет исследовать объекты до $2 \cdot 10^{-10}$ м.

Таблица 2.2.2.

Классификация сплавов

Опорный признак	Наименование вида сплава
Число компонентов	Двойной
	Тройной и др.
Число фаз	Однофазный (фаза: твердый раствор, интерметаллид)
	Многофазный (фазы: чистый компонент, твердый раствор, химическое соединение)
Основа	Железный

Опорный признак	Наименование вида сплава
	Алюминиевый
	Медный
	Никелевый и др.
Основной легирующий элемент	Хромистая сталь
	Бериллиевая бронза и др.
Назначение	Конструкционный (для деталей машин, воспринимающих нагрузки)
	Инструментальный (для режущего, деформирующего и мерительного инструмента)
	Специальный (обладает определённым физико-химическим свойством)
Основное эксплуатационное свойство	Антифрикционный
	Жаропрочный
	Жаростойкий
	Износостойкий
	Химически стойкий
	С особыми физическими свойствами (тепловые, магнитные, электрические)
Технология изготовления изделий	Деформируемый (для получения металлических полуфабрикатов)
	Литейный (для получения фасонных отливок)
	Спеченный (изделия получают методами порошковой металлургии)
Технология упрочнения	Термически упрочняемый
	Термически неупрочняемый
	Химико-термическое упрочнение
	Деформационное упрочнение
	Другие виды упрочнения

Таблица 2.2.3. 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: $x_C = \frac{m_C}{m_{СПЛ}} \cdot 100\% ; x_D = \frac{m_D}{m_{СПЛ}} \cdot 100\% ; x_L = \frac{m_L}{m_{СПЛ}} \cdot 100\% ;$

Проверка: $x_C + x_D + x_L = 100\%$	
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; $n_{СПЛ}$ – 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: $y_C = \frac{n_C}{n_{СПЛ}} \cdot 100\% ; y_D = \frac{n_D}{n_{СПЛ}} \cdot 100\% ; y_L = \frac{n_L}{n_{СПЛ}} \cdot 100\% ;$	
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 2.1.1, 2.1.2.	
Примечание: Атомные доли используются преимущественно при анализе взаимосвязи состав ↔ 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 → 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 2.2.4. Критические точки металлов и сплавов

Название точки (обозначение)	Фазовое превращение при охлаждении (нагревании)	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 $t_{пл}$, т.е. $t_{пл} = t_L = t_S$
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</i>	Не связано с перекристаллизацией. $Ni - 360\text{ }^\circ\text{C}$

Название точки (обозначение)	Фазовое превращение при охлаждении (нагревании)	Примечания
	<i>ферромагнитных свойств твердой фазой).</i>	$Fe - 768\text{ }^{\circ}\text{C}$ $Co - 1150\text{ }^{\circ}\text{C}$
Полиморфное превращение, $t_{\alpha\beta}$ (точка перекристаллизации) $TB_{\alpha} \leftrightarrow TB_{\beta}$	Переход высокотемпературной TB_{β} аллотропической формы в низкотемпературную TB_{α} (переход низкотемпературной аллотропической формы в высокотемпературную)	Для сплавов перекристаллизация проходит в интервале температур

Таблица 2.2.5. 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).

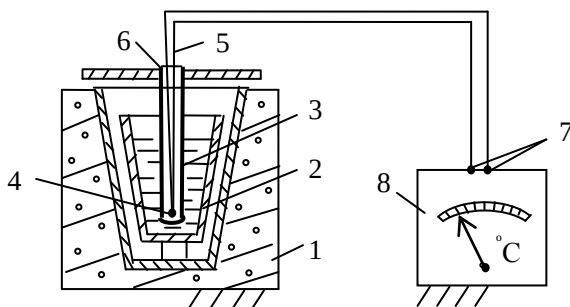


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования кинетики охлаждения сплава при кристаллизации: 1 плавильная печь; 2 тигель; 3 расплав навески исследуемого сплава; 4 горячий спай термопары; 5 провода термопары; 6 защитный колпачок термопары; 7 холодный спай термопары; 8 гальванометр.

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

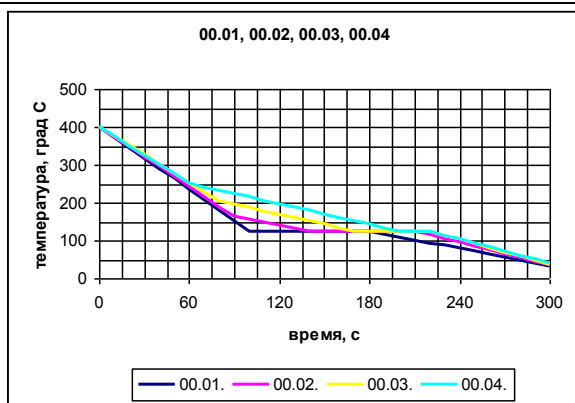


Рис. 2. Кривые охлаждения сплавов: 00.01 – эвтектический сплав; 00.02–00.04 – сплавы с эвтектикой.

Критические точки сплава (см. таблицу 2.2.4) определяются по кривой охлаждения, как абсциссы точек перегибов кривой охлаждения.

Таблица 2.2.6. Термокинетическая диаграмма кристаллизации сплава

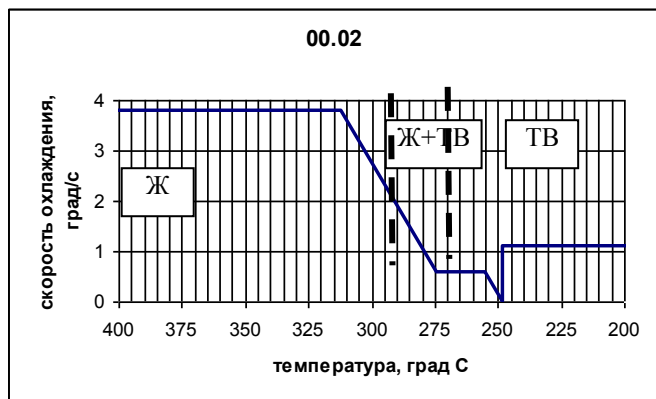
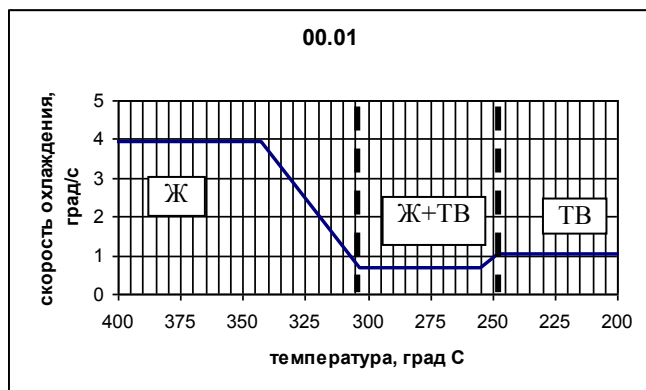
Термокинетическая диаграмма кристаллизации (ТКДК) сплава – зависимость скорости охлаждения сплава от температуры. Для исследования кинетики кристаллизации в лабораторных работах используются виртуальные сплавы двойных систем, имеющие эвтектическое превращение: Ag–Cu, Al–Si, Bi–Cd, Cd–Pb, Cd–Zn, Pb–Bi,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



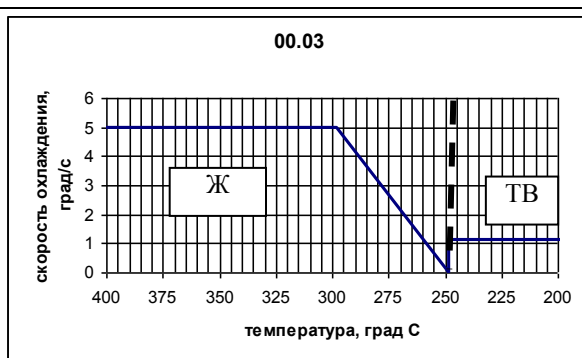


Рис. 3. ТКДК
эвтектического
сплава ($t_L =$
 $t_S = t_{ЭВТ} = 248^\circ\text{C}$)

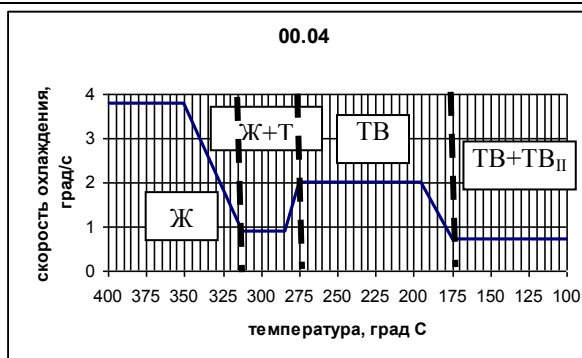


Рис. 4.
ТКДК сплава,
имеющего
вторичную
кристаллизацию
($t_L = 312^\circ\text{C}$;
 $t_S = 275^\circ\text{C}$; $t_C = 175^\circ\text{C}$)

Таблица 2.2.7. 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.

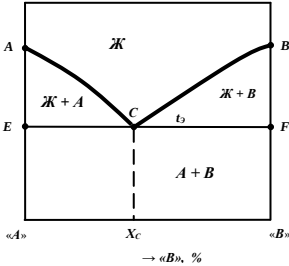
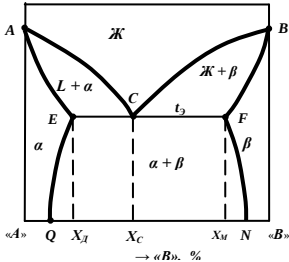
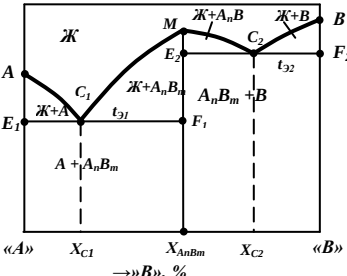
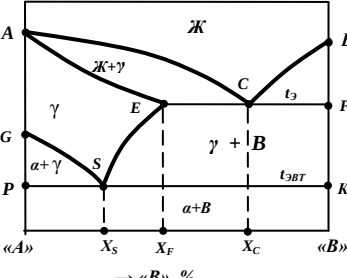
1	2
 «А» X_C «В» → «В», %	Компоненты сплава образуют эвтектику из чистых компонентов. Линии: ACB – ликвидус; AECFB – солидус. Системы: Al – Si, Bi – Cd, Cd – Pb, Zn – Sn и др.
 «А» Q X_d X_C X_M N «В» → «В», %	Компоненты сплава образуют эвтектику из твердых растворов, ограниченная растворимость в твердом состоянии. Линии: ACB– ликвидус; AECFB– солидус; EQ, FN– сольвус. Системы: : Cd – Zn, Ag – Cu, Pb – Sb, Pb – Sn и др.
 «А» X_{C1} X_{AnBm} X_{C2} «В» → «В», %	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.
 «А» X_S X_F X_C «В» → «В», %	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 2.2.8. Определение состава фаз сплава по диаграмме состояния (правило концентраций)

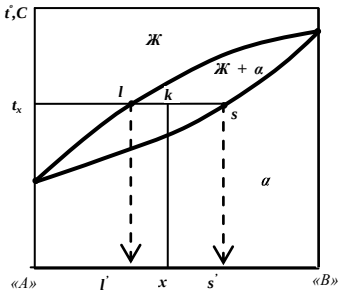
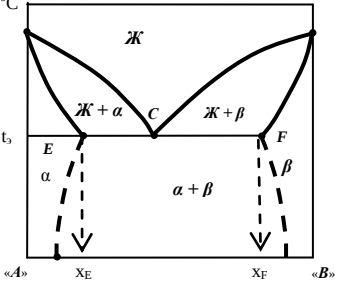
Определение: Состав фаз сплава k_i характеризуется абсциссами соответствующих концов коноды.	
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого сплава x температура исследуемого сплава t_x. Конфигуративная точка сплава $k(x, t_x)$. На изотерме t_x 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 $\alpha_3 + \beta_3$. Определены абсциссы концов эвтектической прямой x_E, x_F.	
	Расчетные формулы Состав твёрдого раствора α_3 $\alpha_3 \rightarrow x_E$ Состав твёрдого раствора β_3 $\beta_3 \rightarrow x_F$ Примечание: ось абсцисс диаграммы состояния обычно маркируется в % компонента «В».

Таблица 2.2.9. Определение относительного количества фаз сплава по диаграмме состояния (правило отрезков)

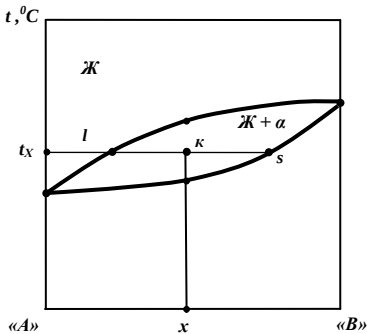
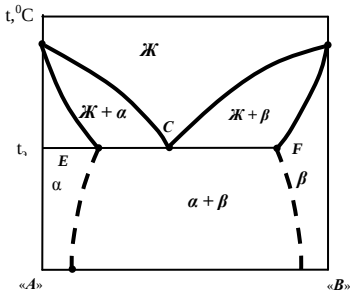
Определение: Количество фаз в сплаве характеризуется отрезками коноды; отрезки коноды между точкой сплава k_i и точками l_i и s_i, определяющими состав фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.	
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердожидком состоянии. Состав исследуемого 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.	
	Расчетные формулы Относительное количество жидкой фазы $Ж = \frac{ks}{lks}$ Относительное количество твердой фазы $ТВ = \frac{lk}{lks}$ Примечание: длины отрезков подставляются в масштабе построения диаграммы состояния.
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии при эвтектической температуре t_3. Эвтектический сплав имеет состав x_C. Роль коноды выполняет эвтектическая прямая EF. Измерена длина эвтектической прямой EF и составляющих её отрезков EC и CF.	
	Расчетные формулы $\alpha_3 = \frac{CF}{EF}$ $\beta_3 = \frac{EC}{EF}$ Примечание: соотношение фаз в эвтектике постоянно для всех сплавов, содержащих эвтектику

Таблица 2.2.10. Определение относительного количества эвтектики в структуре сплава по диаграмме состояния (правило треугольника)

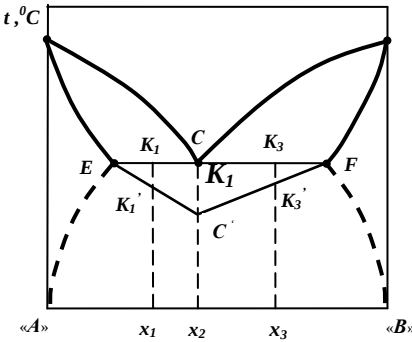
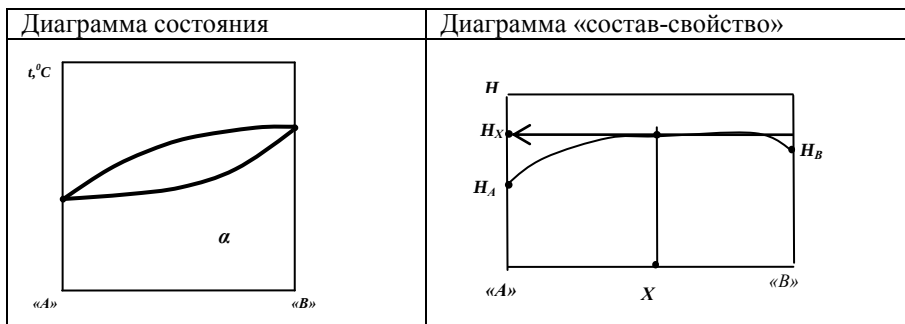
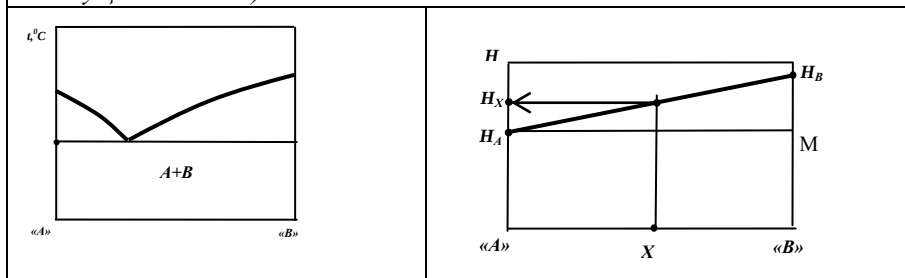
Определение: Относительное количество эвтектики в сплаве определяется из треугольника эвтектики и характеризуется длиной катета, совпадающего с концентрационным уровнем сплава.	
Исходные данные и выполняемые действия: Рассматриваем сплав в твердом состоянии. На эвтектической прямой ECF построены два треугольника ECC' (доэвтектические сплавы) и FCC' (заэвтектические сплавы). Обращаем внимание, что длина катета CC' 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.	
	Расчетные формулы Количество эвтектики в доэвтектическом сплаве $\mathfrak{Z}_1 = \frac{EK_1}{EC}$ Количество эвтектики в эвтектическом сплаве $\mathfrak{Z}_2 = \frac{EK_2}{EC} = \frac{FK_2}{FC} = 1$ Количество эвтектики в заэвтектическом сплаве $\mathfrak{Z}_3 = \frac{FK_3}{FC}$

Таблица 2.2.11. Прогнозирование физико-механических свойств сплавов по диаграмме состояния (правило Н.С.Курнакова)

Общие пояснения: H_A, H_B – свойства компонентов сплава при комнатной температуре; x – состав исследуемого сплава; x_{AnBm} – состав сплава, соответствующий химическому соединению; H_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»



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%.

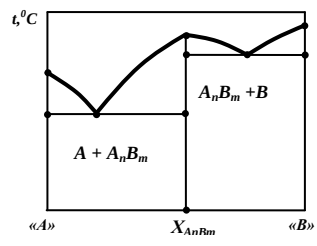
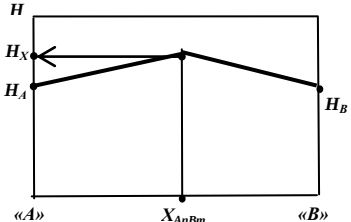
Диаграмма состояния	Диаграмма «состав-свойство»
	
Пояснения: Для сплавов, соответствующих химическому соединению на диаграмме «состав-свойство» имеет место сингулярная (особая) точка, при этом свойства сплава достигают экстремума.	

Таблица 2.2.12. Прогнозирование технологических свойств сплавов по диаграмме состояния (правило А.А. Бочвара)

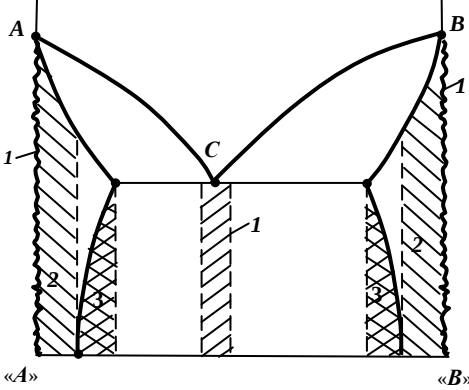
	1 – преимущественно литейные сплавы; 2 – преимущественно деформируемые сплавы; 3 – сплавы, упрочняемые термообработкой.
Пояснения: 1. Эвтектические сплавы и чистые компоненты обладают высокой жидкотекучестью и несклонны к образованию горячих трещин при сварке. 2. Сплавы в области однофазных твердых растворов обладают высокой технологической пластичностью (хорошо куется, прокатываются и т.п.). 3. Сплавы, имеющие выделение вторичных фаз, термически упрочняются по схеме «закалка+старение».	

Таблица 2.2.13. Диаграммы состояния некоторых двойных систем

Диаграмма состояния	№№ задач
---------------------	----------

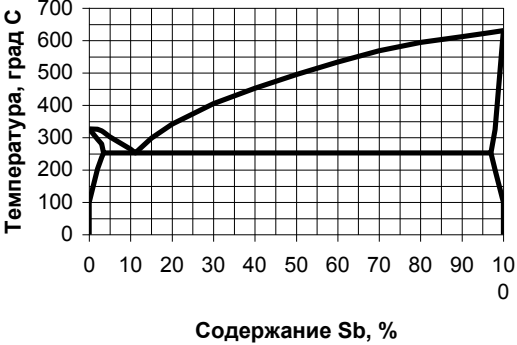
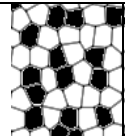
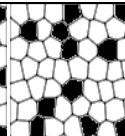
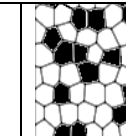
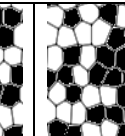
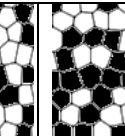
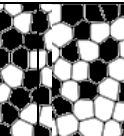
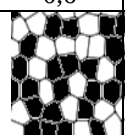
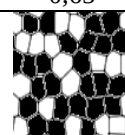
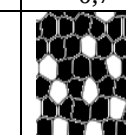
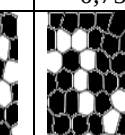
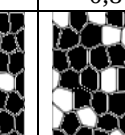
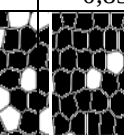
Диаграмма состояния	№№ задач
Система Pb-Sb  Температура, град С Содержание Sb, %	1.4.9.–1.4.16, 1.4.41– 1.4.43, 1.4.61, 1.4.67– 1.4.77
Система Sn-Pb  Температура, град С Содержание Pb, %	1.4.17–1.4.24, 1.4.54– 1.4.60, 1.4.78

Диаграмма состояния	№№ задач
Система Zn-Sn	1.4.25–1.4.32, 1.4.44– 1.4.53, 1.4.62–1.4.66, 1.4.79
Система Al-Si	1.4.33–1.4.40, 1.4.80

Таблица 2.2.14. 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 микроструктуры см. www.nirhtu.ru → кафедра ОХП→ учебно-метод. материалы→ электронная библиотека→ М.ТКМ, ТМ		

2.3. Диаграмма состояния «Fe–Fe₃C»

Таблица 2.3.1. Узловые точки диаграммы состояния «Fe–Fe₃C»

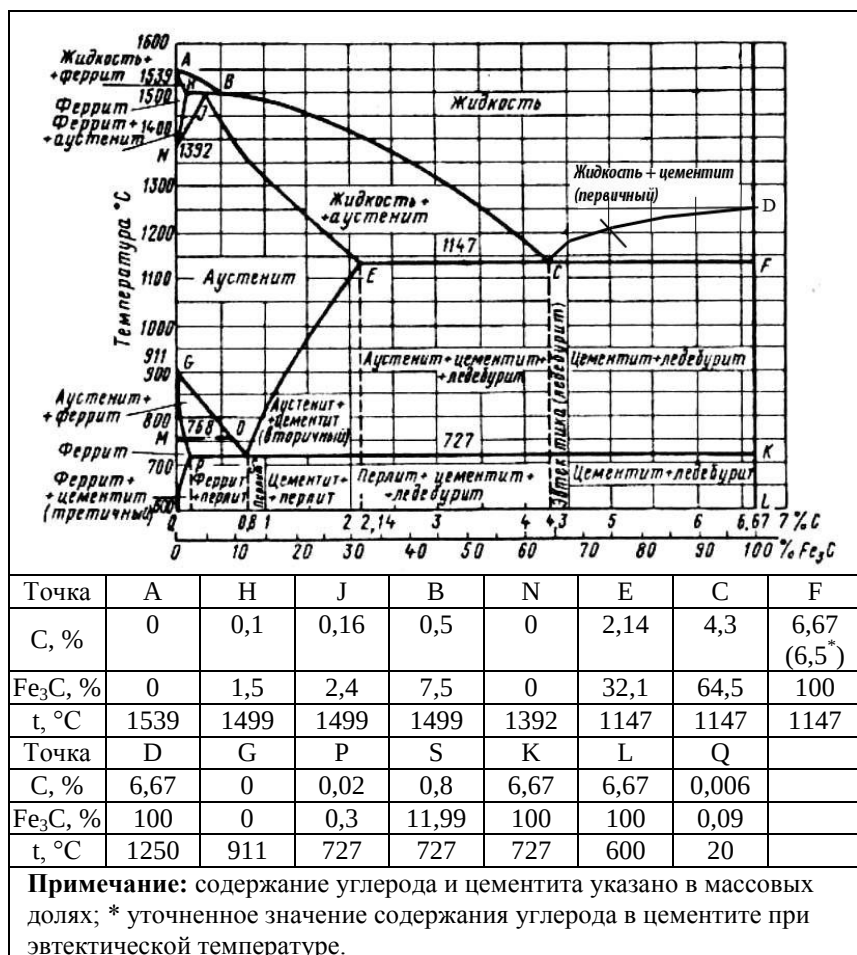


Таблица 2.3.2. Описание узловых точек диаграммы состояния «Fe–Fe₃C»

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

Точка	Описание точки
	(перитектическая изотерма 1499°C), АНЕССД (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: АНЕССД (солидус), SE (сольвус)
C	Эвтектическая точка; пересечение линий: ABCD (ликвидус), АНЕССД (солидус)
F	Точка цементита, лежащая ЕСF(эвтектическая изотерма 1147°C)
D	Точка плавления цементита; пересечение линий: ABCD (ликвидус), АНЕССД (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 2.3.3. Изотермические превращения Fe–C сплавов

Наименование превращения	Изотермическая реакция
Перитектическое превращение на линии HJB при 1499°C	$\Phi_H + \mathcal{K}_B \rightarrow A_J$
Эвтектическое превращение на линии ЕСF при 1147°C	$\mathcal{K}_C \rightarrow [A_E + \mathcal{C}] = \mathcal{L}$
Эвтектоидное превращение на линии PSK при 727°C	$A_S \rightarrow [\Phi_P + \mathcal{C}] = \mathcal{P}$
Обозначения: $\mathcal{K}_B, \mathcal{K}_C$ – жидкость с концентрацией точки B, C; Φ_H, Φ_P – феррит с концентрацией точки H, P; A_E, A_S – аустенит с концентрацией точки E, S; $\mathcal{C}$ – цементит; $\mathcal{L}$ – ледебурит; $\mathcal{P}$ – перлит.	

Таблица 2.3.4. Фазы и структурные составляющие Fe–C сплавов

Термин	Определение, характеристика
Феррит	Феррит (Ф) – твердый раствор углерода в α -железе: $\text{Fe}_\alpha(\text{C})$, Ф. Ф. существует в сплавах при температуре ниже 727°C . При 727°C Ф содержит 0,02% углерода (точка Р), при 20°C – 0,006% углерода (точка Q). Свойства Ф : $\text{HB}=900$ МПа, $\sigma_{\text{B}}=280$ МПа, $\delta=50\%$, $\psi=70\%$.
Аустенит	Аустенит (А) – твердый раствор углерода в γ -железе: $\text{Fe}_\gamma(\text{C})$, А. А существует в сплавах при температуре выше 727°C . При 727°C А содержит 0,8% углерода (точка S), при 1147°C – 2,14% углерода (точка E).
Цементит	Цементит (Ц) – карбид железа, химическое соединение: Fe_3C , Ц. При любой температуре Ц содержит 6,67% углерода (точки D, F, K, L).
Ледобурит	Ледобурит (Л) – механическая смесь аустенита и цементита (эвтектика). Л содержит 4,3% углерода. При температуре ниже 727°C аустенит ледобурифта распадается на перлит и цементит.
Перлит	Перлит (П) – механическая смесь феррита и цементита (эвтектоид). П содержит 0,8% углерода. Свойства П : $\text{HB}=1900$ МПа, $\sigma_{\text{B}}=850$ МПа, $\delta=15\%$, $\psi=20\%$.
Графит	Графит (Г) – свободный углерод, образующийся в сплавах Fe–C в результате графитизации белых доэвтектических чугунов.

Таблица 2.3.5. Структурная классификация Fe–C сплавов

C, %	Название сплава	Структура при 20°C	Применение
0,006 – 0,02	Техническое железо	Ф+Ц_{III}	Сердечники трансформаторов
0,02 – 0,8	Доэвтектоидная сталь	Ф+П	Детали машин и конструкций
0,8	Эвтектоидная сталь	П	Режущий и мерительный инструмент
0,8 – 2,14	Заэвтектоидная сталь	П+Ц_{II}	
2,14 – 4,3	Доэвтектический чугун 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. в таблице 2.3.4.

Пояснения:

В Fe – C сплавах различают три вида цементита **Ц_I**, **Ц_{II}**, **Ц_{III}**. **Ц_I** (первичный **Ц**.) кристаллизуется из жидкой фазы в виде кристаллов игольчатой формы; наблюдаются в структуре заэвтектических чугунов. **Ц_{II}** (вторичный **Ц**.), **Ц_{III}**

(третичный Ц.) образуются при вторичной кристаллизации из аустенита и феррита, соответственно. Ц_ц обнаруживается в виде сетки по границам зерен аустенита.

Примечания:

1– Различают доэвтектический белый чугун (весь углерод в сплаве находится в виде цементита Fe₃C) и конструкционный чугун (углерод помимо цементита находится в свободном виде в виде графита); структура доэвтектических конструкционных чугунов характеризуется структурой матрицы (Ф, Ф+П, П) и формой графитных включений (серый чугун – пластинчатый графит Г_{пл}, ковкий – хлопьевидный графит Г_{хл} и высокопрочный – шаровидный графит Г_ш). Наличие в структуре свободного графита определяет многие эксплуатационные свойства чугунов (антифрикционность и др.), а наличие эвтектики – ледебурита определяет их хорошие литейные свойства. Конструкционные чугуны подпадают под определение композиционного материала.

Таблица 2.3.6. Расчеты фазового и структурного состава Fe–С сплавов

Определение содержания углерода в стали по микроструктуре	
Доэвтектоидная 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 2.2.6). Относительное количество фаз в сплаве определяется по правилу отрезков (см. таблицу 2.2.7).	
Структурный анализ сплавов	
Определение количества эвтектики – ледебурита (Л) и эвтектоида – перлита (П) проводится по правилу треугольника (см. таблицу 2.2.8).	
Доэвтектический чугун	$Л = \frac{Ек}{ЕС} \times 100, \%$
Заэвтектический чугун	$Л = \frac{Fк}{FC} \times 100, \%$
Доэвтектоидная сталь	$П = \frac{Рк}{PS} \times 100, \%$
Заэвтектоидная сталь	$П = \frac{Kк}{KS} \times 100, \%$
Пояснения: k– конфигуративная точка сплава (расположена на соответствующей изотерме); Ек, ЕС, Fк, FC – отрезки эвтектической прямой	

ECF, Pk, PS, Kk, KS – отрезки эвтектоидной изотерме PSK. Отрезки линий диаграммы состояния в расчетные формулы подставляются в масштабе построения.

Таблица 2.3.7. 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 2.3.6). 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...0,8 %; HB=900...1900 МПа; σ_B=280...850 МПа; δ=15...50%; ψ=20...70%.	

2.4. Конструкционные и инструментальные сплавы

Таблица 2.4.1. Условное обозначение легирующих элементов при маркировке сплавов железа

Элемент (символ)	Буква ¹	Элемент (символ)	Буква ¹
Азот (N)	A ²	Медь (Cu)	Д
Алюминий (Al)	Ю	Молибден (Mo)	М
Бор (B)	Р	Никель (Ni)	Н
Ванадий (V)	Ф	Ниобий (Nb)	Б
Вольфрам (W)	В	Свинец (Pb)	С ⁴
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 элементы в сплавах железа; 4 – при маркировке конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием (автоматная сталь).

Таблица 2.4.2. 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)
$\text{Si}=0,15-0,35\%$	сталь спокойная («сп» в конце марки)
	<i>Качество (содержание серы и фосфора)</i>
$\text{S}=0,055-0,06 \%$ $\text{P}=0,05-0,07 \%$	сталь обыкновенного качества
$\text{S, P по } 0,035 \%$	сталь качественная
$\text{S, P по } 0,025 \%$	сталь высококачественная («А» указывается в конце марки)
$\text{S, P по } 0,015 \%$	сталь особовысококачественная («-Ш» указывается в конце марки)
	<i>Применение² (содержание углерода)</i>
$\text{C}<0,2\%$	строительная – сталь для сварных конструкций; машиностроительная – сталь цементуемая (для цементации)
$0,3<\text{C}<0,5\%$	сталь для силовых деталей машин (улучшаемая)
$0,5<\text{C}<0,7\%$	рессорно-пружинная сталь – для упругих элементов машин
$0,7<\text{C}<2,5\%$	инструментальная сталь – сталь для режущего, мерительного и деформирующего инструмента (подробнее см. таблицу 2.4.3)
$2,5<\text{C}<4,0\%$	чугун – литейный конструкционный материал; – литой или наплавочный материал для работы в условиях абразивного изнашивания

Примечания: 1. Легирующие элементы **Л. э.** обозначаются в марке сплава

Количественный признак	Название сплавов в соответствии с классификационным признаком
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.).	

Таблица 2.4.3. Функциональная классификация сталей

Применение	ГОСТ	С, %
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

Применение	ГОСТ	С, %
Для силовых деталей, работающих в особых условиях		0,08–0,2
Для деталей смешанного применения, работающих в особых условиях		0,2–0,4
Для инструмента и пружин, работающих в особых условиях		0,4–0,95

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 2.4.4. 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	65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 70Г, 55С2, 55С2А, 60С2, 60С2А, 60С3А, 60С2Г, 50ХГ, 55ХГР, 50ХФА,

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
	марки	60С2Н2А
Сталь низколегированная универсальная ⁵ , ГОСТ 19282–73	%С×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 , ГОСТ 5781–82	%С×100+ЛЭ+ %ЛЭ	18Г2С, 20ХГ2Ц, 25Г2С, 35ГС
Сталь теплоустойчивая ⁷ , ГОСТ 20072–74	%С×100+ЛЭ+ %ЛЭ	перлитная: 12МХ; 12Х1МФ; 20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1Б1; 25Х1МФ; 25Х2М1Ф; 18Х3МВ; 20Х3МВФ; мартенситная: 15Х5; 15Х5М; 15Х5ВФ; 12Х8ВФ
Сталь высоколегированная ⁸ , ГОСТ 5632–72	%С×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 $C=0,07 \cdot N_0$; **2** – применение определяется содержанием углерода (см. таблицу 2.4.2); **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 2.4.3); **9** – преимущественно коррозионностойкие сплавы; **10** – преимущественно жаростойкие сплавы $t_{раб} > 550^\circ\text{C}$; **11** – преимущественно жаропрочные сплавы $t_{раб} > 550^\circ\text{C}$.

Таблица 2.4.5. Деформируемые инструментальные стали

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Марки
Сталь нелегированная инструментальная ¹ , ГОСТ 1435–99	У+ ⁰ %С×10+ группа качества («А»)	У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А
Сталь легированная инструментальная, ГОСТ 5950–2000	%С×10+ЛЭ+ ⁰ %ЛЭ	2 – 9ХФ, 13Х12Х1, 9ХВГ, 9Г2Ф, 8Х6НФТ и др. 3 – 7Х3, 5ХНМ, 5ХНВ, 4ХС, 3Х3М3Ф и др.
	ЛЭ+ ⁰ %ЛЭ (С>1%)	2 – ХВ4Ф, Х, ХВГ, Х12 и др.
Сталь подшипниковая ⁴ , ГОСТ 801–78	ШХ+ ⁰ %Сг×10+ ЛЭ+ ⁰ %ЛЭ	ШХ4, ШХ15, ШХ15-Ш, ШХ15СГ, ШХ15СГ-Ш, ШХ20СГ и др.
Сталь быстрорежущая ⁵ , ГОСТ 19265–73	Р+ ⁰ %W+ ЛЭ+ ⁰ %ЛЭ (С=0,7...1,1%; Сг=2%; V=1...3%)	Р18, Р9, Р6М5, 11РЗАМЗФ2, Р6М5Ф3, Р12Ф3, Р18К5Ф2, Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8, Р2АМ9К5

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 (С=0,7...1,1%, Сг V); **5** – для станочного режущего инструмента.

Таблица 2.4.6. Литейные сплавы железа

Группа сплавов, ГОСТ	Схема маркировки	Группы марок
Сталь литейная, ГОСТ 977–88	%С×100+Л	1
	%С×100+ЛЭ+ ⁰ %ЛЭ+Л	2; 3; 4; 5; 6; 7
Чугун с пластинчатым графитом (серый), ГОСТ 1412–85	СЧ+ σ_B кгс/мм ²	1
Чугун с шаровидным графитом (высокопрочный). ГОСТ 7293–85	ВЧ+ σ_B кгс/мм ²	2
Чугун с вермикулярным графитом, ГОСТ 28394–89	ЧВГ+ σ_B кгс/мм ²	3
Чугун ковкий, ГОСТ 1215–79	КЧ+ σ_B кгс/мм ² + δ %	4
Чугун легированный, ГОСТ 7769–82	Ч+ЛЭ+ ⁰ %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 быстрорежущая: 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 2.4.1): 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 маломagnetные – ЧН11Г7Ш, ЧН15Д3Ш, ЧН19Х3Ш; жаропрочный, хладостойкий, маломagnetный – ЧН20Д2Ш.

Таблица 2.4.7. Подгруппы сталей и сплавов никеля, имеющие собственные названия

Подгруппа, марки, особенности применения
Сталь легированная конструкционная ГОСТ 4543–71
<i>Хромансили</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>Нитраллоу</i>
Среднеуглеродистая сталь хромоалюминиевая с молибденом марки 38Х2МЮА. Применяется для изготовления азотируемых деталей. Поверхностный азотированный слой имеет большую твердость (до 1200 HV) и износостойкость.
Сталь высоколегированная ГОСТ 5632–72
<i>Сильхромы</i>

Среднеуглеродистые жаростойкие и жаропрочные стали. Марки: 40X9C2, 40X10C2M. 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

Хастеллоу

Коррозионностойкие никелевые сплавы типа Ni – Мо и Ni – Cr – Мо, содержат 15-30% Мо, 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°C после термообработки закалка+старение. Однако максимальное упрочнение **Х.** соответствует минимуму коррозионной стойкости.

Нимоники

Дисперсионно твердеющие жаропрочные сплавы на основе никеля, содержащие Cr, Ti, Al. Марки: ХН77ТЮ, ХН77ТЮР и др. **Н.** применяются для лопаток турбин реактивных двигателей.

Инконели

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°C, нечувствительностью к надрезам при низких (до -78 °C) 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

Гадфильда сталь

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 2.4.8. 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)	основа ⁶ , 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)	основа ⁷ , Ц
Медь (Cu)	основа ⁴ , 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, припои ПМЦ; 5–оловянные баббиты, припои ПОС, ПОЦ; 6–свинцовые баббиты; 7-латуни, подшипниковые сплавы, припои ПОЦ

Таблица 2.4.9. 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
Магнєвые 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; БрОФ6,5-0,4; 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	

Схема маркировки	Марки
МН+ЛЭ+%Ni+%ЛЭ Cu – остальное	МН95-5; МН25; МНА6-1,5 (куниаль-Б); МНА13-3 (куниаль А); МНЦ15-20, МНЦ12-24, МНЦ18-20, МНЦ16- 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
(α + β)-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 2.4.10. Литейные цветные сплавы

Алюминиевые сплавы ГОСТ 1583–93
<i>А+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 (Cu – остальное)</i>
ЛЦ40С, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ30А3, ЛЦ23А6Ж3Мц2, ЛЦ16К4, ЛЦ14К3С3
Бронза (основа Cu)
Бронза оловянная ГОСТ 613–79
<i>Бр+ЛЭ+% ЛЭ (Cu – остальное)</i>
БрО3Ц7С5Н1, БрО3Ц12С5, БрО4С17, БрО5Ц5С5, БрО10Ц2, БрО10Ф1
Бронза безоловянная ГОСТ 493–79
<i>Бр+ЛЭ+% ЛЭ+Л² (Cu – остальное)</i>
БрА9Мц2Л; БрА10Мц2Л; БрА9Ж3Л; БрА10Ж3Мц2Л; БрА10Ж4Н4Л;

БрА11Ж6Н6; БрА9Ж4Н4Мц1; БрА7Мц15Ж3Н2Ц2; БрС30; БрСу3Н3Ц3С20Ф
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 2.4.9).

Таблица 2.4.11. Подгруппы цветных сплавов, имеющие собственные названия

Сплавы системы Cu–Ni
<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°С. 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, поволоков 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/мм ²). Д. широко применяют в авиации. Из сплава Д1 изготавливают 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: подmotorные 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°С) и старение (140°С, 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), АМгбл (АЛ23), АМг10 (АЛ27), АМг11 (АЛ22), АМг7 (АЛ29). Литейные М. имеют прочность $\sigma_{\text{в}} = 340-380 \text{ МПа}$ (34-38 кгс/мм ²), $\delta = 10-20\%$; деформируемые сплавы имеют прочность $\sigma_{\text{в}} = 80-340 \text{ Мн/м}^2$ (8-34 кгс/мм ²), $\delta = 20-40\%$. 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

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 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 2.4.12. Принципы маркировки некоторых групп сталей по стандартам индустриальных стран

Россия	США	Германия	Япония
Деформируемые стали			
Обыкновенного качества			
Ст + № марки	№ стандарта + Grade Grade–марка: A, B, C, D Grade– марка: σ_T , ksi*	St + σ_B , кгс/мм ²	SS + σ_B , МПа
Углеродистые качественные			
% C × 100	$Y_1 Y_2 Y_3 Y_4$ $Y_1 = 1; Y_2 = 0;$ $Y_3 Y_4 = \% C \times 100$	Ck + % C × 100	S + % C × 100 + C

Россия	США	Германия	Япония
Конструкционные низколегированные			
$\% C \times 100 + ЛЭ + \% ЛЭ$	$Y_1 Y_2 Y_3 Y_3$ $Y_1 = ЛЭ; Y_2 =$ $\% ЛЭ;$ $Y_3 Y_3 = \% C \times 100$	$\% C \times 100 +$ $ЛЭ + \% ЛЭ \times K$ К-коэффициент	$S + ЛЭ + N_{\text{гр.}} + \% C \times 100$
Высоколегированная конструкционная			
$\% C \times 100 + ЛЭ + \% ЛЭ$	$X_1 X_2 X_2$ $X_1 = ЛЭ$ $X_2 X_2 = N_{\text{марки}}$	$X + \% C \times 100 + ЛЭ + \% ЛЭ$	SUS + N _{марки} AISI
Инструментальная			
$Y + \% C \times 10$ $\%$ $C \times 10 + ЛЭ + \% ЛЭ$ $ЛЭ + \% ЛЭ$	$N_{\text{гр.}} + \% C \times 100$	$\% C \times 100 +$ $ЛЭ + \% ЛЭ \times K$ $X + \% C \times 100 +$ $ЛЭ + \% ЛЭ$ К-коэффициент	SK + N _{марки} SKD + N _{марки}
Быстрорежущая			
$P + \% W$	A 600 T N _{марки}	$S + \% W + \% Mo + \% V$ $+ \% Co$	SKH + N _{марки}
Литейные стали			
Нелегированные			
$\% C \times 100 + Л$	N _{марки} стандарта + Grade Grade – марка; $\sigma_B - \sigma_T$ в МПа	$GS + \sigma_B, \text{ кгс/мм}^2$ $GS + C + \% C \times 100$	SC + σ_B , МПа
Низколегированные			
$\% C \times 100 + ЛЭ +$ $\% ЛЭ + Л$	N _{марки} стандарта + марка марка: буквы и цифры	$GS + \% C \times 100$ $+ ЛЭ + \% ЛЭ \times K$ К-коэффициент	SC + ЛЭ + категория SC + марка марка: буквы и цифры
Высоколегированные			
$\% C \times 100 + ЛЭ +$ $\% ЛЭ + Л$	J + N _{марки} UNS	$GS + X + \% C \times 100 +$ $ЛЭ + \% ЛЭ$	SCS + N _{марки}
Примечания: 1ksi = 1lbf/in ² (фунт-сила на квадратный дюйм) – единица измерения механического напряжения, основанная на неметрических единицах силы (фунт) и линейного размера (дюйм), применяемая в Великобритании и США. 1 ksi = 6,9 МПа = 0,69 кгс/мм ² . Пример: $\sigma_T = 70 \text{ ksi} = 485 \text{ МПа} = 48,5 \text{ кгс/мм}^2$.			

Таблица 2.4.13. Зарубежные аналоги некоторых отечественных сталей

Россия	США	Германия	Япония
Сталь обыкновенного качества			
Ст3 сп	ASTM A283 C*	St 37-3	–
Ст4 сп	ASTM A131 A*	St 44-2	SM41 A
Ст5 сп	–	St 50-2	SS50
Ст6 сп	–	St 60-2	–
Сталь качественная конструкционная			
10	ASTM A29M 1010*	Ck10	S10C
20	ASTM A29M 1020*	Ck22	S20C
30	ASTM A29M 1030*	Ck30	S30C
40	ASTM A29M 1040*	Ck40	S40C
50	ASTM A29M 1050*	Ck50	S50C
60	ASTM A29M 1060*	Ck60	S58C
Сталь низколегированная конструкционная			
15XA	ASTM A29M 5115*	15Cr3	SCr415
12XH3A	–	14NiCr10	SNC815H
40X	ASTM A29M 5140*	41Cr4	SCr440
15XM	–	–	SMC415
30XMA	ASTM A304 4130H*	25CrMo4	SMC432
38X2MЮА	ASTM A355 ClassA*	41CrAlMo5	SACM645
Сталь рессорно-пружинная			
60C2A	ASTM A322 9260*	65Si7	SUP7
50ХГА	ASTM A304 5155H*	55Cr3	SUP9A
Сталь подшипниковая			
ШХ15	ASTM A535 52100*	100Cr6	SUI2
Сталь углеродистая инструментальная			
У7	–	C70W2	SK7
У8	–	–	SK6

Россия	США	Германия	Япония
У9	ASTM A686 W 1-81/2*	–	–
У10	ASTM A686 W 1-91/2*	–	SK4
У11	ASTM A686 W 1-101/2*	–	SK3
У12	ASTM A686 W 1-111/2*	–	SK2
Сталь легированная инструментальная			
X12M	AISI D2**	X165CrMoV12	SKD11
4X5MΦ1C	AISI H13**	X40CrMoV5.2	SK61
Сталь быстрорежущая			
P18K5Φ2	ASTM A600 T4*	S18-2-5	SKH3
Сталь высоколегированная			
12X17	AISI 430**	X8Cr17	SUS430
20X13	AISI 420**	X20Cr13	SUS420J1
40X13	AISI 420FSe**	X40Cr13	SUS420J2
95X18	AISI 440 FSe**	X102CrMo17	SUS440C
12X18H9	AISI 302**	X12CrNiTi18 9	SUS302
12X18H10T	AISI 321H**	X12CrNiTi18 9	–
Сплавы на железоникелевой и никелевой основе			
06XH28МДТ	–	X3NiCrCuMoTi 27 23	SCS23
XH32T	Incolloy-810****	X10NiCrAlTi 32 20	NCF800
H70МФВ	Hastelloy-B2****	–	–
XH65MB	Hastelloy- C276****	S-NiMo15Cr15 W	–
Сталь литейная			
50Л	ASTM A732M 4A*	GS-60	SCC5 (A)
20ХМЛ	ASTM A356M 5*	GS-17CrMo5 5	SCPH 21
20X13Л	UNS J91153***	G-X20Cr 14	SCS 2

Примечания: * обозначение в системе ASTM (ASTM – Американское Общество Испытания Материалов); ** обозначение в системе AISI (AISI – Американский Институт Чугуна и Стали); *** обозначение в системе UNS (UNS – универсальная система обозначения сталей и сплавов); **** индивидуальное наименование сплава.

2.5. Специальные сплавы

Таблица 2.5.1. Номенклатура и эксплуатационные свойства специальных сплавов

Наименование группы. Основное эксплуатационное свойство
Коррозионностойкие. <i>Коррозионная стойкость</i> (см. таблицу 2.1.4).
Жаростойкие. <i>Жаростойкость</i> (см. таблицу 2.1.4).
Жаропрочные. <i>Жаропрочность</i> (см. таблицу 2.1.4).
Износостойкие. <i>Износостойкость</i> (см. таблицу 2.1.5).
Подшипниковые. <i>Антифрикционность</i> – характеристика материала, объединяющая комплекс свойств, обеспечивающих его нормальную работу в условиях трения. А. определяется в основном такими параметрами, как коэффициент трения, износостойкость, термостойкость материала и несущая способность трибосопряжения. <i>Прирабатываемость</i> – свойство подшипникового материала обеспечивать незначительные силы трения, интенсивность изнашивания и вероятность заедания в результате приработки при трении по заданному материалу вала с применением заданного смазочного материала (ГОСТ 18282-88) или свойство подшипникового материала уменьшать силу трения, температуру и интенсивность изнашивания в процессе приработки (ГОСТ 27674-88, СТ и СО 4378/1-83.).
Фрикционные. <i>Коэффициент трения</i> – отношение силы трения F к реакции T , направленной по нормали к поверхности касания, возникающей при приложении нагрузки, прижимающей одно тело к другому: $f = F/T$. К. т. — характеристика, применяемая при выполнении технических расчётов, характеризующих фрикционное взаимодействие двух тел. Для фрикционного материала К.т. должен иметь стабильное высокое значение (обычно $f=0,3 \div 0,35$, редко $f=0,5 \div 0,6$).
Проводниковые. <i>Высокая удельная проводимость</i> см. таблицу (2.1.4); <i>пластичность</i> (см. таблицу 2.1.5).
Для образцовых сопротивлений. <i>Высокое удельное электрическое сопротивление</i> (см. таблицу 2.1.4) стабильное при изменении рабочей температуры.
Для нагревательных элементов. <i>Высокое удельное электрическое сопротивление</i> (см. таблицу 2.1.4); <i>жаростойкость</i> (см. таблицу 2.1.4).
Контактные. <i>Низкое переходное сопротивление.</i> Дополнительно: для разрывных контактов, для периодического замыкания и размыкания цепи → <i>температура плавления</i> (см. таблицу 2.1.4); для скользящих контактов, для токоёмки в пантографах → <i>износостойкость</i> (см. таблицу 2.1.5); для неподвижных контактов, для передачи энергии через зажимной контакт → <i>коррозионная стойкость</i> (см. таблицу 2.1.4).
Магнитомягкие (магнитномягкие). <i>Низкое значение коэрцитивной силы</i>

Наименование группы. <i>Основное эксплуатационное свойство</i>
(см. таблицу 2.1.4)
Магнитотвёрдые (магнитнотвёрдые). Высокое значение <i>коэрцитивной силы</i> (см. таблицу 2.1.4).
Припой. Для мягких припоев высокая <i>удельная проводимость</i> (см. таблицу 2.1.4); Для твердых припоев <i>прочность</i> (см. таблицу 2.1.5).
Инструментальные. <i>Твердость</i> (см. таблицу 2.1.5); <i>красностойкость</i> – способность режущей кромки инструмента сохранять твердость при нагреве до высокой температуры (см. таблицу 2.7.12).

Таблица 2.5.2. 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 копель – 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 состав	Слабонагруженные контакты
W, Mo, W+Mo		Высоконагруженные контакты
Скользящие контакты		
Композиционные материалы Cu+Графит, Ag+Графит	МГ+%Графита Cu – основа	МГ3, МГ5
	СГ+%Графита Ag – основа	СГ3, СГ5
Неподвижные контакты		
Цветные металлы и сплавы	Маркировка металла или сплава	Cu, Zn, латунь
Примечания: 1 – сумма примесей в %;		

Таблица 2.5.3. 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 (пермаллон) 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; 50ХНС.
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 2.5.4. 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 высокомарганцевистая (сталь Гадфильда) ² ГОСТ 977-88	$\% \text{C} \times 100 + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ} + \text{Л}$	110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 110Г13ФТЛ, 130Г14ХМФАЛ, 120Г10ФЛ
Чугун антифрикционный ³ ГОСТ 1585-85	АЧ+ФГВ+№ марки ФГВ – форма графитных 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	$\text{А} + \text{ЛЭ} + \% \text{ЛЭ}$	АО3-7; 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.		

Примечания

таблицу 2.1.5.): **1** – электроды покрытые металлические для ручной дуговой 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 2.1.5.); 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 2.5.5. 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 сталей; **5.** для армирования инструмента для тяжелых условий резания (черновая обработка стальных слитков, отливок, поковок).

Таблица 2.5.6. 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. Латунни	см. таблицу 2.4.9	Л63, Л68
5. Латунни		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.

2.6. Термическая и химико-термическая обработка сплавов

Таблица 2.6.1. Виды термической обработки (ТО) сплавов

Наименование – определение	Назначение
1. Отжиг – ТО, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной.	Повышение пластичности металла, снятие внутренних напряжений.
2. Закалка – ТО, 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 физические или химические свойства: увеличить удельное электросопротивление или коэрцитивную силу, повысить коррозионную стойкость.
3. Нормализация – ТО, в результате которой металл испытывает полную перекристаллизацию (промежуточный вид ТО между отжигом и закалкой).	Обеспечение обрабатываемости резанием; получение прочности большей, чем при отжиге, но меньшей чем при закалке.
4. Отпуск и старение – ТО, 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) – ТМО состоит в нагреве стали до аустенитного состояния, деформации в аустенитном	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),

Наименование – определение	Назначение
состоянии и охлаждении наклепанного аустенита, после чего – низкий отпуск.	$\delta = 3 \div 4\%$
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 $t_{\text{отж}}$ зависит от состава сплава и разновидности отжига; $V_{\text{охл}} = 30 \div 200$ 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. $t_{\text{норм}} = A_{\text{C3}} + 70^{\circ}\text{C}$; 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,

Режимные параметры *ТО*

испытывающим при закалке полиморфные превращения (стали, двухфазные алюминиевые бронзы, некоторые сплавы титана). Термин «старение» применяют к сплавам, не претерпевающим при закалке полиморфного превращения (алюминиевые сплавы, аустенитные стали, никелевые сплавы и др.). В большинстве сплавов после закалки получают пересыщенный твердый раствор (или смесь твёрдых 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 $\epsilon = 20 \dots 30\%$ + немедленная закалка с низким отпуском. **НТМО**: нагрев $t > A_{C3}$ + переохлаждение аустенита до $600 \dots 400^\circ\text{C}$ + деформация $\epsilon = 75 \dots 90\%$ + 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 твёрдого тела (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 2.6.2). Для большинства сталей M_K лежит ниже -80°C . Применяют для многих изделий, изготовленных из высокоуглеродистых сталей, для получения высокой

Режимные параметры <i>ТО</i>
твёрдости и (или) стабилизации размера (цементованные детали, режущий и мерительный инструмент, шарикоподшипники и т.д.).

Таблица 2.6.2. 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 2.6.3. Фазы и структурные составляющие *ТО* сталей

Наименование	Описание, свойства
Исходные фазы.	
Аустенит – твердый	В углеродистых сталях А. существует в интервале

Наименование	Описание, свойства
раствор на основе Fe_γ $A = \text{Fe}_\gamma(\text{C})$	температур A_3 – A_4 . В сталях, легированных Ni, Mn, N и др., A_3 понижается до отрицательных температур и при комнатной температуре в сталях сохраняется аустенитная структура. Такие стали называются аустенитными (12X18H10, 10X14AГ15 и др.). В аустенитных сталях не происходят фазовые превращения при нагревании, поэтому для них возможна только термическая обработка без полиморфных превращений.
<i>Феррит</i> – твердый раствор на основе Fe_α $\Phi = \text{Fe}_\alpha(\text{C})$	В углеродистых сталях Ф. существует при температурах ниже A_3 . В сталях, легированных Cr, Mo, W, V, Si, Ti и др., повышается температура A_3 и понижается A_4 . γ – область на диаграмме «Fe–Fe ₃ C» при этом становится замкнутой. Однофазные стали, имеющие ОЦК решетку во всем диапазоне температур, называются ферритными (08X13, 12X17, 15X25T и др.). В ферритных сталях не происходят фазовые превращения при нагревании, поэтому для них возможна только термическая обработка без полиморфных превращений.
<i>Цементит</i> – химическое соединение Fe_3C	Ц. содержит 25% С (атомные доли) или 6,67% С (массовые доли). Ц. входит в состав перлита (эвтектоид). В заэвтектоидных сталях Ц. выделяется в интервале температур A_{cm} – A_1 в виде вторичной фазы (сетка по границам зерен перлита). В продуктах изотермического распада аустенита Ц. имеет пластинчатое строение. В структурах отпуска закаленной стали Ц. имеет зернистое строение.
Продукты перлитного и промежуточного превращений аустенита.	
<i>Перлит</i> – ферритно-цементитная смесь (эвтектоид) $\Pi = (\Phi + \text{Ц})$	П. – продукт перлитного превращения переохлажденного аустенита вблизи точки A_1 . П. содержит 0,8% С, имеет пластинчатое строение с размером пластин $\Delta_0 = 0,7 \cdot 10^{-3}$ мм. Твердость П. HRC 20.
<i>Сорбит</i> – ферритно-цементитная смесь $\text{C} = (\Phi + \text{Ц})$	С. – продукт перлитного превращения переохлажденного аустенита при $t = 650 \dots 670^\circ\text{C}$. С. имеет пластинчатое строение с размером пластин $\Delta_0 = 0,25 \cdot 10^{-3}$ мм. Твердость С. HRC 25...30.
<i>Троостит</i> – ферритно-цементитная смесь	Т. – продукт перлитного превращения переохлажденного аустенита при $t = 600 \dots 550^\circ\text{C}$. Т. имеет пластинчатое строение с размером пластин $\Delta_0 =$

Наименование	Описание, свойства
$T = (Ф+Ц)$	$0,1 \cdot 10^{-3}$ мм. Твердость Т. HRC 40.
<i>Бейнит</i> (игольчатый троостит)	Б. – продукт промежуточного превращения переохлажденного аустенита. Б. состоит из феррита и цементита. Феррит Б. имеет повышенное содержание углерода: $400^{\circ}\text{C} - 0,1\%$, $300^{\circ}\text{C} - 0,2\%$. Б. имеет мелкопластинчатое (игольчатое) строение. Твердость Б. зависит от температуры переохлаждения исходного аустенита: $500^{\circ}\text{C} - \text{HRC}47$, $400^{\circ}\text{C} - \text{HRC}49$, $300^{\circ}\text{C} - \text{HRC}56$.
Структуры стали после закалки и закалки+ отпуск.	
<i>Мартенсит закалки</i> – структура закаленной стали	М. з. представляет собой пересыщенный твердый раствор углерода в Fe_{α} с содержанием углерода, как в первичном аустените, имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Твердость М. з. определяется степенью тетрагональности кристаллической решетки и зависит от содержания в М. з. углерода: $0,3\% - \text{HRC}49$; $0,5\% - \text{HRC}59$; $0,7\% - \text{HRC}63$; $1\% - \text{HRC}65$.
<i>Мартенсит отпуска</i> – структура закаленной стали после отпуска при $t_{\text{отп}} = 120 \div 170^{\circ}\text{C}$	М.о. представляет собой механическую смесь пересыщенного $\text{Fe}_{\alpha}(\text{C})$ с неоднородной концентрацией углерода и еще необособившихся частиц карбида. М. о. имеет структуру игольчатого типа. Отпуск на М.о. называется низким.
<i>Троостит отпуска</i> – структура закаленной стали после отпуска при $t_{\text{отп}} = 400^{\circ}\text{C}$	Т.о. представляет собой смесь феррита и цементита. Цементит в Т.о. имеет зернистое строение с размером частиц $d_{\text{ц}} = 0,3 \cdot 10^{-5}$ мм. Твердость Т.о. составляет HB 400. Отпуск на троостит называется средним.
<i>Сорбит отпуска</i> – структура закаленной стали после отпуска при $t_{\text{отп}} = 550 \dots 600^{\circ}\text{C}$	С. о. представляет собой смесь феррита и цементита. Цементит в С. о. имеет зернистое строение с размером частиц $d_{\text{ц}} = 10 \cdot 10^{-5}$ мм. Твердость С. о. HB250. Отпуск на сорбит называется высоким.
<i>Перлит отпуска</i> – Структура закаленной стали после отпуска при $t_{\text{отп}} = 700^{\circ}\text{C}$	П. о. представляет собой смесь феррита и цементита. Цементит П. о. имеет зернистое строение с размером частиц $d_{\text{ц}} = 30 \cdot 10^{-5}$ мм. Твердость П. о. составляет HB150.

Таблица 2.6.4.

Виды отжига

Название отжига	Технологические параметры
-----------------	---------------------------

1. Рекристаллизационный	Стали: У7-У13, Х, 9ХС, ХВГ, 7Х3, ХВ4, 6ХВ2С $t_{отж} = 670...700^{\circ}\text{C}$, $\tau_{отж} = 1$ час. Стали: Х12, Х12М, Х12Ф1 $t_{отж} = 730...750^{\circ}\text{C}$ Стали: Р9, Р18 $t_{отж} = 760...780^{\circ}\text{C}$
2. Полный (перекристаллизационный)	$t_{отж} = A_{C3} + 30^{\circ}\text{C}$. Выдержка до полного прогрева. Медленное охлаждение (с печью) до 600°C , затем – с любой скоростью.
3. Неполный	$t_{отж} = A_{C3} - A_{C1}$. Выдержка до полного прогрева. Медленное охлаждение (с печью) до 600°C , затем – с любой скоростью.
4. На зернистый перлит (сфероидизация)	Предварительный нагрев до $A_{ст} + 30^{\circ}\text{C}$ для разрыва сетки вторичного цементита. $t_{отж} = A_{C1} + 25^{\circ}\text{C}$. Выдержка до полного прогрева. Медленное охлаждение (с печью) до 550°C .
5. Изотермический	Нагрев до A_{C3} ; быстрое охлаждение (перенос в другую печь) и выдержка при $A_{C1} + (50...100^{\circ}\text{C})$; охлаждение на воздухе.
6. Патентирование (разновидность изотермической обработки)	Нагрев до $A_{C3} + 30-50^{\circ}\text{C}$; охлаждение и выдержка в соляной ванне $450-600^{\circ}\text{C}$ до образования сорбита. После этого проводится волочение (пропуск через фильеры).
7. Диффузионный (гомогенизация)	Для сталей: $t_{нагр} = 1100...1200^{\circ}\text{C}$; $v_{нагр} = 100...150$ град/час. $\tau_{выд} = 8...16$ час. Для устранения крупнозернистости стали после гомогенизации проводится отжиг металла. Для слитков крупнозернистость после гомогенизации устраняется в процессе обработки давлением. Общая продолжительность процесса (нагрев, выдержка, охлаждение) 50...100 часов.
Назначение видов отжига	
1. Снятие наклепа холоднодеформированного металла, восстановление деформационной способности металла. 2. Применяется для <i>конструкционной стали</i> для уменьшения твердости, снятия напряжений и исправления структуры послековки. Сталь получает мелкозернистую структуру с равномерным распределением перлита и феррита. 3. Применяется для <i>дозтектоидной стали</i> для снятия внутренних напряжений и улучшения обрабатываемости резанием в случае, если	

Назначение видов отжига	
горячая обработка давлением выполнена правильно (не привела к росту зерна и образованию видманштеттовой структуры). Происходит перекристаллизация только перлитной составляющей структуры.	
4. Применяется для <i>заэвтектоидной стали</i> для снижения твердости, улучшения обрабатываемости резанием и подготовки стали к последующей закалке. Сталь с зернистым перлитом при <i>ТО</i> менее склонна к перегреву, образованию трещин и деформации при закалке.	
5. Применяется для <i>легированной стали</i> для снижения твердости и получения однородной структуры по сечению изделия (слиток, отливка).	
6. Применяется для <i>проволоки из углеродистой стали</i> для образования сорбита с высокой плотностью дислокаций в результате наклепа. Патентирование+наклеп при волочении позволяет получить для проволоки из стали 0,6-0,8%С $\sigma_B=300-450$ кгс/мм ² .	
7. Применяется для <i>слитков и крупных фасонных отливок из легированной стали, а также для алюминиевых сплавов</i> для выравнивания состава сплава по сечению изделия (для уменьшения ликвационной неоднородности сплава).	

Таблица 2.6.5. Виды и способы закалики

Наименование	Характеристика; технологические параметры
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

Наименование	Характеристика; технологические параметры
	(душевое устройство). Глубина закаленного слоя при нагреве ТВЧ определяется в основном частотой тока.
2. Способы закалки (по способу охлаждения от температуры закалки)	
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 закалки изделие охлаждают до температур ниже M_K . Для получения отрицательных температур применяют специальные хладоагенты (сухой лед, фреон и др.).
Назначение видов и способов закалки	
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 получение твердого поверхностного слоя детали с сохранением вязкой сердцевины. Металл имеет высокую усталостную прочность за счет наличия в поверхностном слое остаточных напряжений	

Назначение видов и способов закалки	
сжатыя. Применяется для углеродистых (55ПП, 40, 45) и низколегированных сталей (40Х, 45Х, 40ХН).	
2.1. Для несложных деталей из углеродистых и легированных сталей. Наиболее 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).	

Таблица 2.6.6. Виды отпуска функциональных групп стальных изделий

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	

Группа изделий (вид отпуска)	Режим отпуска, структура отпущенной стали *
из углеродистой стали.	

Таблица 2.6.7. 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)
	30Х, 45Х, 30ХМ и др.	Полная закалка (масло) + высокий отпуск (вода ² или масло)
	30ХГСНА, 40ХГСНЗВА, 40ХН2СМА и др.	Полная закалка(масло) + низкий отпуск (воздух)
	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°С) + деформация (50-90%) + низкий отпуск.
	38Х2МЮА	Закалка+Высокий отпуск+Азотирование

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
	10, 20, 15X, 20X, 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, 15X, 20X, 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 щелочей) + Отпуск (двойной $t_{\text{отп}}=180...200^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{отп}}=320...350^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе; крепежную часть штампов дополнительно отпускают при 600...700°C).
Штампы для горячего деформирования	7Х3; 5ХНМ; 5ХГН и др.	Закалка (нагрев под закалку в соляной ванне, $t_{\text{зак}}= 830...880^{\circ}\text{C}$, охлаждение в масле) + Отпуск ($t_{\text{отп}}=400...550^{\circ}\text{C}$, охлаждение на воздухе; крепежную часть штампов дополнительно отпускают при 600...700°C).
Режущий	P18, P6M5,	Закалка (нагрев под закалку в

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
инструмент для станочной обработки металла	P9M4K8 и др.	соляной ванне, t _{зак} = 1200...1300°C, охлаждение в масле и расплаве соли при 500-600°C) + Отпуск (трехкратный t _{отп} =550...570°C, охлаждение на воздухе)
Тела качения, кольца подшипников, плунжеры, ролики толкателей	ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ	Закалка 810°C, вода–масло; отпуск 150°C, воздух
Высоколегированные специальные стал и сплавы		
Мартенситные		
Клапаны впуска и выпуска ДВС, трубки рекуператоров	40X9C2, 40X10C2M и др. – жаростойкие	Закалка (t _{зак} =1000...1050°C, охлаждение в масле) + Отпуск (t _{отп} =750...780°C, охлаждение на воздухе)
Бандажи, диафрагмы, болты гайки, шпильки при t _{раб} =600°C	15X11МФ, 20X12ВНМФ и др. – жаропрочные	Закалка (t _{зак} =1000-1050°C, охлаждение в масле) + Отпуск (t _{отп} > t _{раб} , охлаждение на воздухе)
Режущий и мерительный инструмент, пружины, рессоры и др.	30X13, 40X13, 95X18	Закалка 1000...1050°C. масло; отпуск 200...300°C, воздух или масло
Мартенситно-стареющие		
Наиболее ответственные силовые детали в авиации, ракетной технике, судостроении	03Н18К9М5Т, 03Н12К15М5 и др.	Закалка (t _{зак} =800...860°C, охлаждение на воздухе) + Старение (температура 480...520°C)
Ферритные		
Крепёжные детали при t _{раб} =850°C	12X17 и др.	Термообработка без полиморфного превращения. Отжиг t _{отж} = 760...780°C, охлаждение на воздухе.
Теплообменники, трубы	08X17Т и др.	
Аустенитные		

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
Сварные аппараты и сосуды под давлением при $t_{\text{раб}} = -196 \dots 650^\circ\text{C}$	12Х18Н10Т и др. – гомогенные	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}} = 1050 \dots 1100^\circ\text{C}$, вода) + Стабилизирующий отпуск ($t_{\text{отп}} = 750^\circ\text{C}$, воздух)
Детали арматуры и трубопроводов при $t_{\text{раб}} = 650^\circ\text{C}$	45Х14Н14В2М и др. – дисперсионно твердеющие	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}} = 1050 \dots 1100^\circ\text{C}$, вода) + Старение (при $600 \dots 750^\circ\text{C}$)
Аустенитные метастабильные		
Детали авиаконструкций, броневой лист, проволока тросов	25Н25М4Г, 30Х9Н8М4Г2С2 и др.	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация ($t_{\text{зак}} = 1000 \dots 1100^\circ\text{C}$, вода) + Обжатие (50...80% при температуре $400 \dots 600^\circ\text{C}$)
Сплавы на Fe+Ni и Ni основе		
Ответственные детали газовых турбин	ХН32Т, ХН35ВТ, ХН77ТЮР	Термообработка без полиморфного превращения. Закалка – аустенизация $t_{\text{зак}} = 1100 \dots 1250^\circ\text{C}$, вода; старение при $850 \dots 900^\circ\text{C}$ 10 часов, при 700°C 50 часов, воздух
Цветные сплавы		
Сплавы алюминия		
Строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей, детали самолетов	Дуралюмины Д1, Д16, Д20	Закалка $t_{\text{зак}} = 495 \dots 510^\circ\text{C}$, холодная вода; старение 190°C 10 час;
Подmotorные 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;
Обшивка, 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 $135 \dots 145^\circ\text{C}$ 16 час;

Группа изделий	Марка стали, сплава	Режимы ¹ ТО
Листы, трубы, лопасти винтов вертолётов и др.	Авиаль АВ	Закалка $t_{\text{зак}} = 515...525^{\circ}\text{C}$, 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 $t_{\text{зак}} = 770...780^{\circ}\text{C}$, вода; старение $300...350^{\circ}\text{C}$, 2 час.
Сплавы магния		
Штампованные и сварные детали	МА5, МА11, МА12, МА14 и др.	Закалка $t_{\text{зак}} = 380...540^{\circ}\text{C}$, вода; старение $175...200^{\circ}\text{C}$
Литые детали (картеры, коробки передач и др.)	МЛ14, МЛ5, МЛ6, МЛ8 и др.	Закалка $t_{\text{зак}} = 380...540^{\circ}\text{C}$, вода; старение $300...315^{\circ}\text{C}$.
$(\alpha+\beta)$ сплавы титана		
Штамповки, поковки, прутки	ВТ3-1, ВТ9, ВТ14, ВТ22	Закалка (нагрев до $(\alpha+\beta)$ области, вода) + Старение ($480...550^{\circ}\text{C}$). ХТО: азотирование при $850...950^{\circ}\text{C}$ 30-60 час. в атмосфере N_2 .
Примечания: 1 - при указании вида закалки или отпуска соответствующий режим см. в таблицах 2.6.5, 2.6.6; 2 – легированные стали, подверженные отпускной хрупкости (30Х, 35Х, 38ХА, 40Х, 45Х, 50Г2, 30ХГТ, 40ХФА и др.), после высокого отпуска охлаждаются в воде.		

Таблица 2.6.8. 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
$HRC_M = 16,49 + 144,575341 \cdot C - 144,098182 \cdot C^2 + 47,795428 \cdot C^3, \quad (1)$ здесь C – содержание углерода в стали, %.
Пояснения: формула (1) позволяет определять твердость мартенсита в углеродистых и легированных сталях, содержащих 0,1-1,2% углерода.

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

Таблица 2.6.9. 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 $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$ (полумартенситная твердость) зависит в основном от содержания углерода и в меньшей степени от легирования стали.
Прямая задача – определение $\text{HRC}_{\text{ПМ}}^*$ по заданному количеству углерода в стали
$\text{HRC}_{\text{ПМ}} = 18,756 + 20,011 \cdot C + 198,63 \cdot C^2 - 230,07 \cdot C^3, \quad (1)$ здесь $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$ – искомое значение полумартенситной твердости; C – известное значение содержания углерода в стали, %.
Обратная задача – определение требуемого содержания углерода в стали C^* для достижения заданного значения $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$
$C = 0,3776 - 0,0281 \cdot \text{H} + 0,001 \text{H}^2 - 7 \cdot 10^{-6} \cdot \text{H}^3, \quad (2)$ здесь C – искомое значение содержания углерода в стали, %; H – известное значение полумартенситной твердости $\text{HRC}_{\text{ПМ}}$.
* Уравнения регрессии получены по данным [7]. Пояснения: уравнения (1, 2) получены для $C = 0,125 - 0,575\%$; $\text{HRC}_{\text{ПМ}} = 25 - 55$.

Таблица 2.6.10. Торцовая закалка и характеристическое расстояние стали

Прокаливаемость стали по ГОСТ 5657–69 определяют методом торцовой закалки. При этом цилиндрический образец, нагретый до температуры

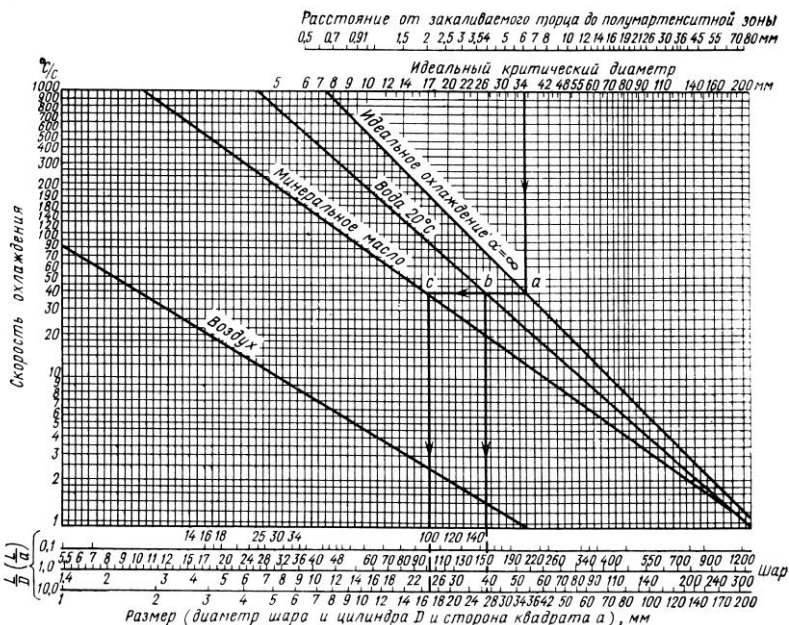
закалки, помещают в специальную установку, где он охлаждается водой с торца. После охлаждения образца до комнатной температуры измеряют твердость его поверхности по образующей цилиндра (на лыске). По этим данным определяют характеристическое расстояние $X_{\text{ПМ}}$ для стали, из которой изготовлен образец. $X_{\text{ПМ}}$ 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 2.6.9). 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 2.6.9).
$x = 140,59 - 12,198350 \times \text{HRC} + 0,401886 \times \text{HRC}^2 - 0,005697 \times \text{HRC}^3 + 29 \text{E} - 06 \times \text{HRC}^4 \quad (1)$
$x = 459,29 - 48,10767759 \times \text{HRC} + 1,89321673 \times \text{HRC}^2 - 0,0326893 \times \text{HRC}^3 + 0,00020812 \times \text{HRC}^4 \quad (2)$
$x = 364,2 - 27,38591311 \times \text{HRC} + 0,80981539 \times \text{HRC}^2 - 0,01067796 \times \text{HRC}^3 + 0,00005138 \times \text{HRC}^4 \quad (3)$
$x = 152,72 - 2,19839554 \times \text{HRC} - 0,16625582 \times \text{HRC}^2 + 0,00491403 \times \text{HRC}^3 - 0,00003689 \times \text{HRC}^4 \quad (4)$
$x = 408,94 - 37,70713351 \times \text{HRC} + 1,31818201 \times \text{HRC}^2 - 0,02025185 \times \text{HRC}^3 + 0,00011461 \times \text{HRC}^4 \quad (5)$
$x = 2099,9 - 73,947 \times \text{HRC} + 0,6504 \times \text{HRC}^2 \quad (6)$
$x = 910,35 - 52,63488992 \times \text{HRC} + 1,08748805 \times \text{HRC}^2 - 0,00774323 \times \text{HRC}^3 \quad (7)$
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 №№ 1.8.31-1.8.33: 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.
$\text{HRC} = 11,72 + 55,80589221 x - 25,06977522 x^2 + 4,7790368 x^3 - 0,4633569 x^4 + 0,02250361 x^5 - 0,00043489 x^6 \quad (8)$

$HRC = 43,8 + 11,22331819 x - 5,76749071 x^2 + 0,93949387 x^3 - 0,072390166 x^4 + 0,00269004 x^5 - 0,00003875 x^6 \quad (9)$
$HRC = 55,36 - 0,303217 x - 0,147028 x^2 + 0,007328 x^3 - 0,000104 x^4 \quad (10)$
$HRC = 61,33 + 1,455432 x - 0,388073 x^2 + 0,017552 x^3 - 0,000237 x^4 \quad (11)$
$HRC = 61,16 - 2,070647 x - 0,336244 x^2 + 0,031263 x^3 - 0,000683 x^4 \quad (12)$
$HRC = 54,31 - 0,10185929 x - 0,00788555 x^2 + 0,00028748 x^3 - 0,00000279 x^4 \quad (13)$
$HRC = 55,25 + 0,480784 x - 0,042824 x^2 + 0,000973 x^3 - 0,00001 x^4 \quad (14)$
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 [15] для средних значений твердости в полосах прокаливаемости сталей.

Таблица 2.6.11.

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 2.6.9), 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 (шара, цилиндра, параллелепипеда с квадратным основанием); 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 $v_{охл}$ в град/с;

дополнительные линии: в верхней части номограммы параллельно оси абсцисс расположена **линия характеристического расстояния**, на которой откладывается расстояние $X_{ПМ}$ 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).

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

Пользование номограммой: На номограмме нанесены линии, позволяющие значение идеального критического диаметра D_{∞} 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 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ выполняется по номограмме графически (см. ключ номограммы): здесь шаг $1 \rightarrow X_{\text{ПМ}}$ определяется по данным торцевой закалки (см. таблицу 2.6.10) и откладывается на линии характеристического расстояния;

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

шаг $3', 3'', 3''' \rightarrow D_{\text{КВ}}, D_{\text{КМ}}, D_{\text{КВОЗД}}$ определяются по номограмме перенесением соответствующих точек D_{∞} 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 2.6.12. 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 2.6.13. Источники криогенных температур

При обработке холодом инструмента и технологической оснастки применяются криоаппараты, в которых в качестве источника отрицательных температур используются различные криоагенты.	
Криоагент (формула)	Температура кипения, град С
Аммиак (NH_3)	–33,5
Углекислота (H_2CO_3)	– 78,5
Хлористый метил (CH_3Cl)	– 23,7
Азот (N_2)	– 195,8
Фреон ($\text{CH}(\text{CH}_3)_3$)	– 29,4
Этилен (C_2H_4)	– 105,2
Метан (CH_4)	– 161,5
Кислород (O_2)	– 183
Смесь твёрдой углекислоты:	
с хлористым метилом (CH_3Cl)	– 82
с хлороформом (CHCl_3)	– 77
с этиловым эфиром ($\text{C}_2\text{H}_5\text{O C}_2\text{H}_5$)	–77
с трёххлористым фосфором (PCl_3)	– 76
с этиловым спиртом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	– 72
с хлористым этилом ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$)	– 60
с ацетоном ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)	– 78

2.7. Расчеты технических сплавов

Таблица 2.7.1. Решение прямой задачи материаловедения для углеродистых конструкционных сталей

Прямая задача материаловедения состоит в определении свойств стали по правилу Н.С.Курнакова. При этом реализуется следующая логическая цепочка: марочное обозначение стали → содержание углерода в стали → искомое значение характеристики механических свойств стали. Поскольку конструкционные углеродистые стали являются двухфазными сплавами зависимости «состав – свойство» для них являются линейными, т. е. уравнения регрессии имеют вид $y = a_0 + a_1 \cdot x$, здесь y – искомое значение свойства; x – известное содержание углерода.
Стали обыкновенного качества ГОСТ 380–94
Стали обыкновенного качества преимущественно используются в строительстве как наиболее дешёвые, технологичные и обладающие прочностью, достаточной для изготовления металлоконструкций различного назначения. Для всех сталей обыкновенного качества, кроме Ст0, справедлива формула для примерного определения содержания углерода $C =$

$0,07 \cdot N_{\text{марки}}, \%$
$\sigma_T = 20,856 + 25,495 \cdot C$ (1); $\sigma_B = 33,193 + 64,851 \cdot C$ (2) $\delta_5 = 33,381 - 41,832 \cdot C$ (3)
Уравнения регрессии (1-3) получены обработкой данных по свойствам сталей обыкновенного качества по ГОСТ535. Пределы варьирования параметров в уравнениях (1-3): $C=0,18 \div 0,34\%$; $\sigma_T = 25 \div 32$ кгс/мм ² ; $\sigma_B = 43-60$ кгс/мм ² ; $\delta_5=15 \div 26\%$.
Стали качественные конструкционные ГОСТ 1050–88
Стали углеродистые качественные находят широкое применение в технике, так как в зависимости от содержания углерода и термической обработки обладают разнообразными механическими и технологическими свойствами. Содержание углерода в сталях определяется делением марки стали на 100: $C=N_{\text{марки}}/100$.
$\sigma_T = 17,035 + 40,392 \cdot C$ (4); $\sigma_B = 27,577 + 70,577 \cdot C$ (5); $\delta_5 = 33,938 - 38,075 \cdot C$ (6); $\psi = 62,544 - 46,094 \cdot C$ (7)
Уравнения регрессии (4-7) получены обработкой данных по свойствам качественных конструкционных сталей по ГОСТ1050. Пределы варьирования параметров в уравнениях (4-7): $C=0,08 \div 0,6\%$; $\sigma_T = 20 \div 41$ кгс/мм ² ; $\sigma_B = 33 \div 69$ кгс/мм ² ; $\delta_5=12 \div 33\%$; $\psi=35 \div 55\%$.

Таблица 2.7.2. Решение обратной задачи материаловедения для углеродистых конструкционных сталей

Обратная задача материаловедения состоит в выборе марки стали для обеспечения заданного уровня механических свойств. Для решения задачи используется правило Н.С.Курнакова. При этом реализуется следующая логическая цепочка: заданное значение характеристики механических свойств стали → содержание углерода в стали → марочное обозначение стали . Поскольку конструкционные углеродистые стали являются двухфазными сплавами зависимости «состав-свойство» для них являются линейными, т. е. уравнения регрессии имеют вид $x=a_0+a_1 \cdot y$, здесь y – заданное значение свойства; x – искомое содержание углерода.
Стали обыкновенного качества ГОСТ 380–94
Стали обыкновенного качества преимущественно используются в строительстве как наиболее дешевые, технологичные и обладающие прочностью, достаточной для изготовления металлоконструкций различного назначения. Зная содержание углерода $C(\%)$ марка стали определяется $N_{\text{марки}}=C/0,07$.
$C = -0,7878 + 0,0385 \cdot \sigma_T$ (1); $C = -0,4425 + 0,0141 \cdot \sigma_B$ (2); $C = 1,0194 - 0,0282 \cdot \delta_5$ (3)
Уравнения регрессии (1-3) получены обработкой данных по свойствам

сталей обыкновенного качества по ГОСТ535. Пределы варьирования параметров в уравнениях (1-3): $C=0,18\div0,34\%$; $\sigma_T=25\div32$ кгс/мм ² ; $\sigma_B=43\div60$ кгс/мм ² ; $\delta_5=15-26\%$.
Стали качественные конструкционные ГОСТ 1050–88
Стали углеродистые качественные находят широкое применение в технике, так как в зависимости от содержания углерода и термической обработки обладают разнообразными механическими и технологическими свойствами. Зная содержание углерода C (%) марка стали определяется $N_{\text{марки}}=C/100$.
$C = -0,4235 + 0,0245 \cdot \sigma_T$ (4); $C = -0,3884 + 0,014 \cdot \sigma_B$ (5); $C = 0,8917 - 0,027 \cdot \delta_5$ (6); $C = 1,3212 - 0,0212 \cdot \psi$ (7)
Уравнения регрессии (4-7) получены обработкой данных по свойствам качественных конструкционных сталей по ГОСТ1050. Пределы варьирования параметров в уравнениях (4-7): $C=0,08\div0,6\%$; $\sigma_T=21\div41$ кгс/мм ² ; $\sigma_B=34\div69$ кгс/мм ² ; $\delta_5=12\div31\%$; $\psi=35\div55\%$.

Таблица 2.7.3. Определение эквивалента цинка Zn_3 для латуней

Для латуней критерием оценки деформируемости и обрабатываемости резанием служит содержание цинка $Zn \leq 39\%$. При таком содержании цинка латунь имеет однофазную структуру – это α-латунь. Латунь со структурой α-фазы марок от Л96 (4% Zn) до Л62 (38% Zn) пластичны, при холодной обработке давлением склонны к деформационному упрочнению. Двухфазная $\alpha+\beta$ латунь будет иметь большую прочность, чем однофазная, но при этом она будет иметь $Zn > 39\%$, что приведет к резкому снижению пластичности латуни. Латунь, являясь самым доступным цветным сплавом, применяется в случаях, когда изделию по условиям эксплуатации необходимо обеспечить прочность, коррозионную стойкость и износостойкость. Такое сочетание свойств обеспечивается введением в латунь Al, Sn, Si и ряда других легирующих элементов. При легировании латуни названными элементами α и β фазы представляют собой твердые растворы не только цинка, но и легирующих элементов, поэтому двухфазную структуру легированный сплав имеет при содержании цинка меньше предельного значения 39%. Понятие об эквивалентной замене элементов в сплаве применительно к латуням позволяет многокомпонентную латунь условно заменить двухкомпонентным Cu – Zn сплавом. В этом случае рассматривается система Cu – Zn_3 «медь – эквивалент цинка».
$Zn_3 = \frac{Zn + \sum k_i \cdot x_i}{Cu + Zn + \sum k_i \cdot x_i} \times 100\%,$ здесь Cu, Zn, x_i – содержание компонентов в сплаве (медь, цинк, легирующие элементы), %; k_i – коэффициент эквивалентности соответствующего легирующего элемента.

Элемент	Si	Al	Sn	Mg	Cd	Pb	Fe	Mn	Ni	
k_i	11	5	2	2	1	1	0,9	0,5	- 1,4	

Структурная формула латуни зависит от содержания в сплаве цинка (для легированного сплава – от эквивалента цинка Zn_3). Если латунь содержит $Zn_3 \leq 39\%$, то она является однофазным сплавом: $\Phi C \equiv CmC \rightarrow \alpha$. Если латунь содержит $Zn_3 > 39\%$, то она является двухфазным сплавом $\Phi C \equiv CmC \rightarrow \alpha + \beta$.

Таблица 2.7.4 Расчет индекса стоимости сталей

Индекс стоимости стали $C_{стали}$ (отношение стоимости сплава к стоимости железа) зависит от вида легирующих элементов и их количества в сплаве, а также от его группы качества (содержания вредных примесей). Формула для оценки индекса стоимости легированной стали, а также сплава на железоникелевой и никелевой основе имеет вид $C_{стали} = [C_{Fe} \cdot (1 - \sum x_i) + \sum C_i \cdot x_i] \cdot k_{ГК},$ здесь $C_{Fe}=1$, C_i – индекс стоимости железа и i – го легирующего элемента, соответственно; x_i – массовая доля i – го легирующего элемента; $k_{ГК}$ – коэффициент качества сплава, характеризующий влияние на индекс стоимости группы качества стали (для стали обыкновенного качества $k_{ГК} = 1$; для качественной – $k_{ГК} = 1,17$; для высоко- и особовысококачественной – $k_{ГК} = 1,52$).							
Металл	C_i	Металл	C_i	Металл	C_i	Металл	C_i
Al	6	Fe	1	Cu	8	Nb	800
Al	3100*	Co	230	Cu	400*	Pb	10
V	144	Si	5	Mo	180	Ti	160
W	75	Mn	10	Ni	40	Cr	25
Примечание: звездочкой отмечены индексы стоимости для металла особой чистоты.							

Таблица 2.7.5. Жаростойкость сталей

Жаростойкость (окалиностойкость) характеризует сопротивление металла окислению при высоких температурах. При рабочих температурах стального изделия выше 550°C и наличии химически активной среды следует применять жаростойкие стали. Для повышения жаростойкости сталь легируют элементами (Cr, Al, Si), способствующими образованию плотных окислов (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2), наличие которых на поверхности изделия тормозит дальнейшее окисление железа. Жаростойкость стали определяется в основном содержанием в ней хрома. Важно, что жаростойкость стали является структурно нечувствительной характеристикой, т.е. жаростойкость стали зависит только от её состава и

не зависит от структуры.
Определение рабочей температуры стали по содержанию хрома
$t_{\text{раб}} = 506 + 44,135943 \cdot Cr - 0,794808 \cdot Cr^2, \% \quad (1)$

Определение содержания хрома в стали для заданной рабочей температуры
$Cr = 6,33 - 0,034687 \cdot t_{\text{раб}} + 0,000045 \cdot t_{\text{раб}}^2, ^\circ \text{C} \quad (2)$
Примечание: Уравнения регрессии (1, 2) получены по данным [4]. Пределы варьирования параметров в уравнениях (1,2): $t_{\text{раб}} = 500 \div 1100^\circ \text{C}$; $Cr = 0 \div 30\%$.

Таблица 2.7.6. Структурная диаграмма нержавеющей сталей

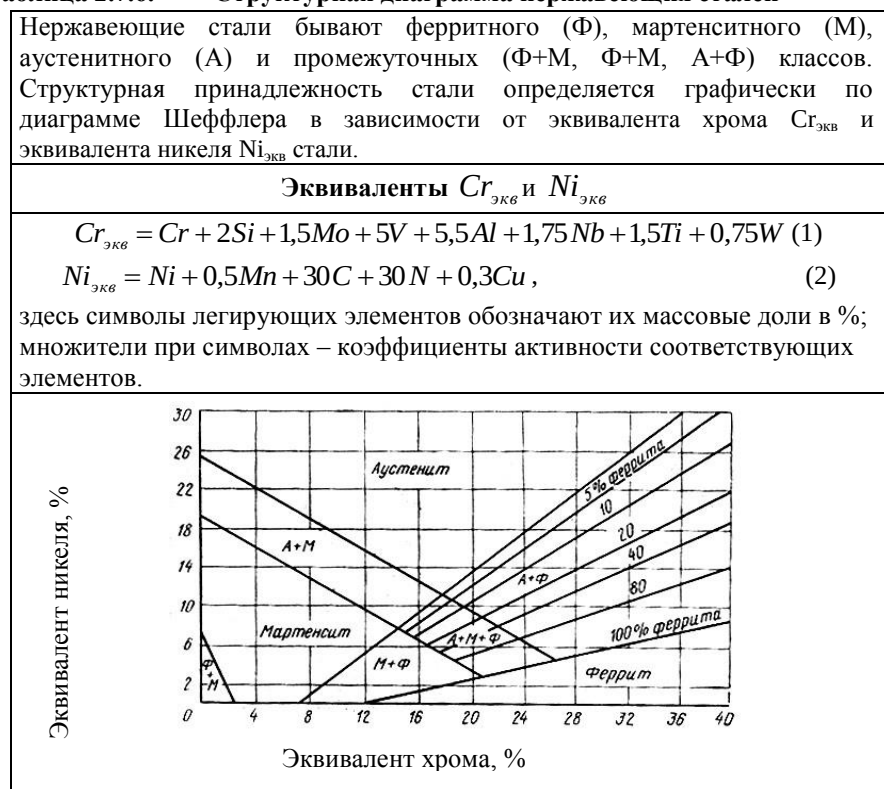


Таблица 2.7.7. Определение структурной принадлежности чугунов и оценка их механических свойств

Структурная принадлежность чугуна*
Структурная принадлежность чугуна определяется наличием в структуре

сплава эвтектики, количество которой определяется составом чугуна. Содержание в чугуне эвтектики характеризуется степенью эвтектичности $S_э$ (доли)

$$S_э = \frac{C}{4,30 - 0,3 \cdot (Si + P)}, \quad (1)$$

здесь C, Si, P – содержание (%) углерода, кремния, фосфора.

Чугуны с $S_э < 1$ называют доэвтектическими, с $S_э = 1$ – эвтектическими, $S_э > 1$ – заэвтектическими.

Для оценки структурной принадлежности чугуна используется также эквивалент углерода CE (%) чугуна, величина которого с учетом влияния кремния и фосфора определяется по формуле

$$CE = C + 0,3 \cdot (Si + P) \quad (2)$$

Чугуны с $CE < 4,3$ называют доэвтектическими, с $CE = 4,3$ – эвтектическими, $CE > 4,3$ – заэвтектическими.

Оценка механических свойств серого чугуна *

Характер влияния основных элементов на прочность и твердость серого чугуна отражают зависимости

$$\sigma_B = 80,2 - 15,3 \cdot C - 4,8 \cdot Si + 4,6 \cdot Mn + 22,3 \cdot S \pm 2,56, \quad (3)$$

$$HB = 244 - 7,2 \cdot C - 13,9 \cdot Si + 21,0 \cdot Mn + 170,0 \cdot S \pm 12,46, \quad (4)$$

здесь C, Si, Mn, S – массовая доля элементов, %;

σ_B , HB – кгс/мм².

Расчет прочности и твердости по формулам (3, 4) дает результаты в ряде случаев отличные от данных ГОСТ1412. Влияние эвтектичности $S_э$ (см. формулу 1) на прочность и твердость серого чугуна описывается формулами

$$\sigma_B = 102 - 82,5 \cdot S_э \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (5)$$

$$HB = 538 - 355 \cdot S_э \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (6)$$

Данные [11].

Таблица 2.7.8. Оценка свариваемости сталей и склонности к растрескиванию сварных конструкций

Оценка свариваемости	
Свариваемостью	стали называется способность металла образовывать сварные соединения. Свариваемость является основным технологическим свойством сталей, используемых для изготовления сварных изделий в различных отраслях машиностроения.
	Свариваемость качественно оценивается степенью соответствия свойств сварного соединения аналогичным свойствам основного металла, а также наличием сварочных дефектов в виде трещин, пор, неметаллических

включений и т.п. По свариваемости стали подразделяются на четыре группы : хорошо сваривающиеся (обычная технология сварки – без подогрева до сварки и в процессе сварки и без последующей термообработки); удовлетворительно сваривающиеся (в нормальных производственных условиях трещин не образуется или для предупреждения образования трещин необходим предварительный нагрев, а также предварительная и последующая термообработка); ограниченно сваривающиеся (в обычных условиях сварки склонны к образованию трещин – обязательный подогрев и термическая обработка до и после сварки); плохо сваривающиеся (для сварных конструкций не применяются, обязателен подогрев и термообработка до и после сварки).
Критерий свариваемости – эквивалент углерода Обобщенно влияние содержания углерода, легирующих элементов и примесей на качество сварного соединения характеризуется так называемым эквивалентом углерода СЕ. Согласно ГОСТ 27772–88 эквивалент углерода предложено определять по формуле $CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{P}{2}, \%(1)$ здесь символы элементов выражают массовые доли этих элементов; множители при символах представляют собой коэффициенты активности данных элементов. Эквивалент углерода следующим образом характеризует свариваемость сталей: СЕ<0,35 – сварка не вызывает затруднений; СЕ = 0,35÷0,6 – сварка проводится с соблюдением мер предосторожности; СЕ>0,6 – вероятность образования трещин возрастает и необходимы специальные меры предосторожности.
Оценка склонности к растрескиванию сварных соединений При изготовлении сварных конструкций наблюдаются случаи появления трещин (растрескивания) в сварных швах, подвергающихся термической обработке. Особая опасность такого рода повреждений заключается в том, что неразрушающий контроль сварных соединений часто проводится до термической обработки и, следовательно, не исключено, что сварные конструкции, допущенные к эксплуатации, будут иметь дефекты в виде трещин, расположенных в высоконагруженных местах.
Критерий растрескивания – критерии Накамуры и Ито* Влияние химического состава сталей на склонность сварных соединений к растрескиванию при термообработке контролируется критерием Накамуры ΔG' и критерием Ито P_{SR} $\Delta G' = 10C + Cr + 3,3Mo + 8,1V - 2, \quad \% \quad (2)$

$$P_{SR} = Cr + Cu + 2Mo + 10V + 7Nb + 5Ti - 2, \%$$
 (3)

здесь символы элементов выражают массовые доли этих элементов; множители при символах представляют собой коэффициенты активности данных элементов.

Склонными к растрескиванию сварных соединений считаются стали, имеющие критерий Ито $P_{SR} > 0$. Критерий Накамуры следующим образом характеризует склонность металла сварного шва к образованию трещин при термообработке:

$\Delta G' < 1,5$ – сталь не склонна к растрескиванию;

$\Delta G' > 2$ – сталь склонна к растрескиванию;

$\Delta G' = 1,5 \div 2$ – промежуточная область.

* Данные [18].

Таблица 2.7.9. Определение расчетной температуры подогрева при РДС по Сефериану

Подогрев при сварке изделий РДС является технологической мерой, предупреждающей закалку зоны термического влияния шва и позволяющей предотвратить образование холодных трещин при сварке. Д.Сефериан [19] предложил методику расчетного определения температуры T_{II} подогрева при сварке, учитывающую химический состав стали и толщину свариваемых листов. Методика Сефериана основана на использовании эквивалента углерода (СЕ см. таблицу 2.7.8) как меры закаливаемости стали с поправкой на толщину листов s и введении ряда поправочных коэффициентов.

$$T_{II} = 350 \cdot \sqrt{CE \cdot (1 + 0,005 \cdot s) - 0,25}, ^\circ C$$

здесь СЕ– %; s – мм; 0,005 – коэффициент толщины; 0,25 – верхний предел содержания углерода в углеродистых свариваемых сталях.

Обращаем внимание. Полученные расчетом значения T_{II} следует рассматривать как ориентировочные, поскольку температура подогрева при сварке ответственных стыков определяется действующей нормативно-технической документацией по сварке.

Таблица 2.7.10. Расчет параметров старения сварных образцов из теплостойкой стали 15Х1М1Ф

Старение металла околошовной зоны сварных конструкций проявляется в склонности к хрупким разрушениям металла в зоне термического влияния при термической обработке или эксплуатации в условиях ползучести. Процессы старения металла околошовной зоны сварного соединения исследуют в зависимости от **температурно-временного параметра Холомона** H_p

$H_p = T_{omn} \cdot (20 + \lg \tau) \cdot 10^{-3},$ здесь $T_{отп}$ – температура отпуска сварного соединения, К; τ – время выдержки при отпуске, час.	
Температура отпуска 550°C, подогрев при сварке 150÷200°C	
$H_p = 6 - 16 \rightarrow HV = 285 + 2,5 \cdot H_p$	
$H_p = 16 - 18 \rightarrow HV = -77,92 + 24,592 \cdot H_p$	
Температура отпуска 550°C, подогрев при сварке 300÷350°C	
$H_p = 6 - 16 \rightarrow HV = 277 + 0,5 \cdot H_p$	
$H_p = 16 - 18,5 \rightarrow HV = -188,08 + 30,047 \cdot H_p$	
Температура отпуска 650°C, подогрев при сварке 150÷200°C	
$H_p = 6 - 17,5 \rightarrow HV = 269,13 + 3,4783 \cdot H_p$	
$H_p = 17,5 - 18,5 \rightarrow HV = -396,02 + 41,353 \cdot H_p$	
$H_p = 18,5 - 21,2 \rightarrow HV = 1621,9 - 67,367 \cdot H_p$	
Температура отпуска 650°C, подогрев при сварке 300÷350°C	
$H_p = 6 - 18,6 \rightarrow HV = 232,48 + 6,2129 \cdot H_p$	
$H_p = 18,6 - 21,5 \rightarrow HV = 1354,1 - 53,299 \cdot H_p$	
Уравнения регрессии для определения твердости HV сварных образцов из стали 15X1M1Ф в зависимости от параметра Холомона по данным [18].	

Таблица 2.7.11. Влияние на прочность конструкционных сталей абсолютных размеров образцов

Учет влияния абсолютных размеров на механические свойства материала образцов необходим при выполнении проектных расчетов деталей с целью обеспечения максимальной несущей способности изделий. Масштабный коэффициент предела прочности $k_{до}$ характеризует количественно влияние на предел прочности σ_{Bi} абсолютных размеров образца $\sigma_{Bi} = \sigma_{B0} \cdot k_{до}, \quad (1)$ здесь σ_{B0} – базовое значение предела прочности стали (для образца диаметром $d_0 = 50$ мм). Для практического использования при выборе марки стали, обеспечивающей требуемый уровень прочности силовой детали заданного размера дополнительно введем коэффициент материала k_M, который представляет собой отношение предела прочности σ_{Bi} к некоторому базовому значению $\sigma_{BБ}$, в качестве которого примем предел прочности для стали 30 $\sigma_{BБ} = 75$ кгс/мм². Тогда σ_{Bi} стали определится по формуле $\sigma_{B0} = \sigma_{BБ} \cdot k_M, \quad (2)$	
---	--

Тогда	$\sigma_{Bi} = \sigma_{B0} \cdot k_M \cdot k_{d\sigma},$	(3)
-------	--	-----

Базовое значение предела прочности σ_{B0} (кгс/мм²) и коэффициента материала k_M для конструкционных сталей

Марка стали	30	35СГ	35ХА	30Х3	33ХСА	34ХМА	30ХН3
σ_{B0}	75	87	87	95	107	103	127
k_M	1	1,16	1,16	1,27	1,43	1,37	1,69

Значения произведения коэффициентов $k_{d\sigma} \cdot k_M$ для конструкционных сталей в зависимости от размеров образца d_i

d_i , мм	30	35СГ	35ХА	30Н3	33ХСА	34ХМА	30ХН3
25	1,16	1,53	1,44	—	—	—	—
30	1,12	1,44	1,33	1,6	—	—	—
35	1,08	1,33	1,29	1,47	—	1,67	—
40	1,04	1,27	1,24	1,4	1,64	1,53	—
45	1,01	1,21	1,20	1,32	1,49	1,44	—
50	1	1,17	1,16	1,27	1,41	1,37	1,69
55	0,97	1,13	1,13	1,23	1,36	1,33	1,58
60	0,96	1,11	1,11	1,2	1,31	1,28	1,53
65	0,95	1,09	1,09	1,16	1,27	1,25	1,46
70	0,93	1,07	1,07	1,14	1,24	1,23	1,43
75	0,93	1,06	1,07	1,12	1,20	1,20	1,39
80	0,93	1,03	1,04	1,11	1,17	1,17	1,36
85	0,92	1,01	1,03	1,1	1,15	1,15	1,32
90	0,92	1,01	1,03	1,08	1,13	1,14	1,29
95	0,92	1,00	1,03	1,07	1,13	1,13	1,28
100	0,92	0,99	1,03	1,06	1,12	1,13	1,25
105	0,92	0,98	1,02	1,04	1,11	1,11	1,24
110	0,92	0,97	1,01	1,04	1,08	1,11	1,23
115	0,92	0,97	1,01	1,03	1,07	1,11	1,21
120	0,92	0,97	1,01	1,03	1,07	1,11	1,2
125	0,92	0,97	1,01	1,03	1,07	1,11	1,19
130	0,92	0,97	1,01	1,03	1,07	1,11	1,19

Примечание: Приведенные значения k_M и $k_{d\sigma} \cdot k_M$ получены по данным С.М. Баранова [6, с. 284] для постоянного значения относительного сужения $\psi = 40\%$ и ударной вязкости КСУ = 6 кгс·м/см².

Примеры пользования таблицей:

1. Выбрать марку конструкционной стали, обеспечивающей несущую способность изделию при прочности на уровне $\sigma_B = 80$ кгс/мм², для изделия диаметром 120 мм.

Рассматриваем строку таблицы $d_i=120$ мм, в ячейках которой поставим значения σ_{Bi} , посчитанные по формуле (3)

d_i , мм	30	35СГ	35ХА	30НЗ	33ХСА	34ХМА	30ХНЗ
120	0,92	0,97	1,01	1,03	1,07	1,11	1,2
Расчётные значения σ_{Bi} , кгс/мм ²							
120	69	73	76	77	80	83	90

Из таблицы видно, что прочность на уровне $\sigma_B=80$ кгс/мм² при диаметре изделия 120 мм обеспечивают стали 33ХСА, 34ХМА, 30ХНЗ.

2. Выбрать марку конструкционной стали, обеспечивающей детали диаметром 70 мм несущую способность при прочности на уровне $\sigma_B=110$ кгс/мм².

Рассматриваем строку таблицы $d_i=70$ мм, в ячейках которой поставим значения σ_{Bi} , посчитанные по формуле (3)

d_i , мм	30	35СГ	35ХА	30НЗ	33ХСА	34ХМА	30ХНЗ
70	0,93	1,07	1,07	1,14	1,24	1,23	1,43
Расчётные значения σ_{Bi} , кгс/мм ²							
70	70	80	80	98	93	92	107

Из таблицы видно, что прочность на уровне $\sigma_B=110$ кгс/мм² при диаметре изделия 70 мм приведённые стали не обеспечивают.

3. Определить уровень прочности при сохранении несущей способности изделия диаметром 90 мм из стали марки 35ХА.

$$\sigma_{Bi} = \sigma_{BБ} \cdot k_M \cdot k_{d\sigma} = 75 \cdot 1,03 = 77 \text{ кгс/мм}^2.$$

4. Определить максимальный диаметр изделия при сохранении несущей способности при уровне прочности $\sigma_B=90$ кгс/мм² из стали марки 30НЗ.

$$k_M \cdot k_{d\sigma} = \sigma_{Bi} / \sigma_{BБ} = 90 / 75 = 1,2. \text{ Из таблицы } d_i \leq 60 \text{ мм.}$$

Таблица 2.7.12 Теплостойкость инструментальных материалов

Для инструментальных материалов важным эксплуатационным свойством является **теплостойкость** (красностойкость), которая характеризуется максимальной рабочей температурой режущей кромки инструмента из данной стали, при которой инструмент сохраняет режущую способность. Чем выше теплостойкость инструментальной стали, тем большую скорость резания допускает изготовленный из неё инструмент.

Группа материалов	ГОСТ	Марки	$t_{раб}$, °C
Углеродистая сталь	1435–99	У7-У13	200÷250
Легированная сталь	5950–2000	ХВГ, 9ХВГ, 9ХС, 6ХС	250÷300
Быстрорежущая сталь	19265–73	P18, P9, P6M5	600÷630
Твёрдый сплав	3882–74	ВК3, ВК25, Т30К4, ТТ7К12	800÷1000

Библиографический список

Учебная литература

1. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г.Мухина. М.: Изд-во МГТУ, 2002, 648 с.
2. Материаловедение и технология металлов. /Г.П.Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др.; Под ред. Г.П.Фетисова. М.: Высшая школа, 2002, 638 с.
3. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение. СПб.: Химиздат, 2004, 736 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977, 647 с.
5. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1980, 493 с.
6. Блантер М.Е. Металловедение и термическая обработка. М.: Машгиз, 1963, 416 с.
7. Геллер А.Ю., Рахштадт Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. М.: Металлургия, 1984, 384 с.
8. 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. – 198 с., электронное приложение 60 МБ.
9. Глинка Н.Л. Общая химия: Учебное пособие для вузов/Под ред. А.И.Ермакова. – изд. 28-е, перераб. и доп. – М.: Интеграл-Пресс, 2000. – 728 с.

Справочная литература

10. Эмсли Дж. Элементы: Пер. с англ.- М.: Мир, 1993. – 256 с.
11. Стали и чугуны Машиностроение. Энциклопедия. Т. II-2/ Г.Г.Мухин, А.И.Беляков, Н.Н.Александров и др.; Под общ. ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. 2001, 784 с.
12. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Машиностроение. Энциклопедия. Т. II-3/ И.Н. Фридляндер, О.Г. Сенаторова, О.Е. Осинцев и др.; Под общ. ред. И.Н. Фридляндера. 2001, 880 с.
13. Конструкционные материалы: Справочник /Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990, 688 с.
14. Машиностроительные материалы. Краткий справочник / В.М. Раскатов, В.С. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс. – М.: Машиностроение, 1980, 511 с.
15. 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.
16. 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.
17. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1994. – 496 с.
18. Земзин В.Н., Шрон Р.З. Термическая обработка и свойства сварных соединений. – Л.: Машиностроение, 1978. – 367 с.
19. Сефериан Д. Металлургия сварки. Пер. с франц.М.: Машгиз,1963. – 350 с.
20. Международный транслятор современных сталей и сплавов. Том 1 /В.М.Белявская, М.С.Блантер, В.Я.Кершенбаум и др.; Под ред. В.Я.Кершенбаума. Центр «Наука и техника». М.: 1992, 1102 с.
21. Международный транслятор современных сталей и сплавов. Том 3 /М.С.Блантер, М.Я.Брун, Г.Г.Гулей и др.; Под ред. В.Я.Кершенбаума. Центр «Наука и техника». М.: 1993, 635 с.
22. Йех Я. Термическая обработка стали. Справочник – Пер. с чешского. М.: Металлургия, 1979. – 264 с.

23. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник – Л: Машиностроение, 1983. – 464 с.
24. Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В.Соловьёва, С.А.Герасимов и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В.Соловьёвой. – М.: Изд.-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 640 с.

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	4
1. Условия задач.....	5
1.1. Кристаллическое строение металлов.....	5
1.2. Пластическая деформация и механические свойства сплавов.....	6
.....	
1.3. Кристаллизация, состав сплавов.....	11
1.4. Критические точки сплава. Диаграммы состояния двойных систем.....	13
1.5. Диаграмма состояния «железо-цементит», структурно-фазовый анализ железоуглеродистых сплавов.....	19
1.6. Маркировка, применение конструкционных и инструментальных сплавов.....	22
.....	
1.7. Эксплуатационные свойства и маркировка специальных сплавов.....	23
1.8. Термическая и химико-термическая обработка сплавов.....	24
1.9. Расчеты технических сплавов.....	28
2. Справочные материалы.....	32
2.1. Общие сведения о материалах и их свойствах.....	32
2.1.1. Типы кристаллических решеток некоторых металлов.....	32
2.1.2. Физические свойства некоторых неметаллов.....	34
2.1.3. Физико-механические свойства некоторых металлов.....	34
2.1.4. Характеристики физико-химических свойств материалов.....	35
2.1.5. Характеристики механических свойств материалов.....	37
2.1.6. Единая шкала твердости C_3 по Роквеллу.....	40
2.1.7. Нормативная документация на техническую продукцию...	40
2.1.8. Значения характеристик механических свойств материалов при комнатной температуре.....	43
2.1.9. Дефекты кристаллического строения металлов.....	45
2.1.10. Значение параметров в самодиффузии для некоторых	

металлов.....	45
2.1.11. Количественное сравнение значений твердости, определенной разными методами.....	46
2.1.12. Анизотропия свойств кристаллов и металлических полуфабрикатов.....	48
2.1.13. Практическое применение некоторых металлов.....	48
2.1.14. Рекристаллизация сплавов.....	53
2.1.15. Надрезанные образцы для ударного изгиба.....	53
2.1.16. Некоторые виды металлических полуфабрикатов.....	54
2.1.17. Порог хладноломкости стали.....	57
2.1.18. Уравнения регрессии * для пересчёта «твёрдость ↔ предел прочности».....	58
2.2. Двойные сплавы.....	59
2.2.1. Основные термины и понятия по теме «Двойные сплавы».....	59
2.2.2. Классификация сплавов.....	62
2.2.3. Расчет состава сплавов.....	63
2.2.4. Критические точки металлов и сплавов.....	65
2.2.5. Кривая охлаждения сплава.....	66
2.2.6. Термокинетическая диаграмма кристаллизации сплава.....	67
2.2.7. Типовые диаграммы состояния двойных систем.....	69
2.2.8. Определение состава фаз сплава по диаграмме состояния (правило концентраций).....	71
2.2.9. Определение относительного количества фаз сплава по диаграмме состояния (правило отрезков).....	72
2.2.10. Определение относительного количества эвтектики в структуре сплава по диаграмме состояния (правило треугольника).....	73
2.2.11. Прогнозирование физико-механических свойств сплавов по диаграмме состояния (правило Н.С.Курнакова).....	73
2.2.12. Прогнозирование технологических свойств сплавов по диаграмме состояния (правило А.А. Бочвара).....	75
2.2.13. Диаграммы состояния некоторых двойных систем.....	75
2.2.14. Шаблоны схем микроструктуры сплавов с эвтектикой	77
2.3. Диаграмма состояния «Fe–Fe ₃ C».....	78
2.3.1. Узловые точки диаграммы состояния «Fe–Fe ₃ C».....	78
2.3.2. Описание узловых точек диаграммы состояния «Fe–Fe ₃ C».....	78
2.3.3. Изотермические превращения Fe–C сплавов.....	79
2.3.4. Фазы и структурные составляющие Fe–C сплавов.....	80
2.3.5. Структурная классификация Fe–C сплавов.....	80
2.3.6. Расчеты фазового и структурного состава Fe–C сплавов...	81

2.3.7. Анализ и синтез доэвтектоидного сплава по правилу Н.С.Курнакова.....	82
2.4. Конструкционные и инструментальные сплавы.....	82
2.4.1. Условное обозначение легирующих элементов при маркировке сплавов железа.....	82
2.4.2. Классификационная таблица сплавов железа.....	83
2.4.3. Функциональная классификация сталей.....	84
2.4.4. Деформируемые конструкционные стали.....	85
2.4.5. Деформируемые инструментальные стали.....	87
2.4.6. Литейные сплавы железа.....	87
2.4.7. Подгруппы сталей и сплавов никеля, имеющие собственные названия.....	88
2.4.8. Условное обозначение легирующих элементов при маркировке цветных сплавов.....	89
2.4.9. Деформируемые цветные сплавы.....	90
2.4.10. Литейные цветные сплавы.....	91
2.4.11. Подгруппы цветных сплавов, имеющие собственные названия.....	92
2.4.12. Принципы маркировки некоторых групп сталей по стандартам промышленных стран.....	95
2.4.13. Зарубежные аналоги некоторых отечественных сталей.....	96
2.5. Специальные сплавы.....	98
2.5.1. Номенклатура и эксплуатационные свойства специальных сплавов.....	98
2.5.2. Сплавы с особыми электрическими свойствами.....	99
2.5.3. Сплавы с особыми магнитными свойствами.....	100
2.5.4. Сплавы с особыми триботехническими свойствами.....	101
2.5.5. Сплавы твердые спечённые ГОСТ 3882–74.....	103
2.5.6. Припои – сплавы для образования паяных соединений.....	103
2.6. Термическая и химико-термическая обработка сплавов.....	104
2.6.1. Виды термической обработки (ТО) сплавов.....	104
2.6.2. Критические точки стали.....	107
2.6.3. Фазы и структурные составляющие ТО сталей.....	108
2.6.4. Виды отжига.....	110
2.6.5. Виды и способы закалки.....	111
2.6.6. Виды отпуска функциональных групп стальных изделий... ..	113
2.6.7. Технология ТО стальных изделий и изделий из цветных сплавов.....	114
2.6.8. Закаливаемость стали.....	118
2.6.9. Прокаливаемость и полумартенситная твердость стали....	119
2.6.10. Торцовая закалка и характеристическое расстояние стали...	119
2.6.11. Определение критического диаметра стали и изделия по	

номограмме прокаливаемости.....	121
2.6.12. Оборудование и инструмент для термической обработки...	123
2.6.13. Источники криогенных температур.....	124
2.7. Расчеты технических сплавов.....	124
2.7.1. Решение прямой задачи материаловедения для углеродистых конструкционных сталей.....	124
2.7.2. Решение обратной задачи материаловедения для углеродистых конструкционных сталей.....	125
2.7.3. Определение эквивалента цинка $Zn_{\text{э}}$ для латуней.....	126
2.7.4. Расчет индекса стоимости сталей.....	127
2.7.5. Жаростойкость сталей.....	127
2.7.6. Структурная диаграмма нержавеющих сталей.....	128
2.7.7. Определение структурной принадлежности чугунов и оценка их механических свойств.....	128
2.7.8. Оценка свариваемости сталей и склонности к растрескиванию сварных конструкций.....	129
2.7.9. Определение расчетной температуры подогрева при РДС по Сефериану.....	131
2.7.10. Расчет параметров старения сварных образцов из теплостойкой стали 15Х1М1Ф.....	131
2.7.11. Влияние на прочность конструкционных сталей абсолютных размеров образцов	132
2.7.12. Теплостойкость инструментальных материалов.....	134
Библиографический список.....	135

Учебное издание

САФОНОВ Борис Петрович

**Инженерное материаловедение.
Сборник задач и справочных материалов**

Учебное пособие для студентов
инженерных специальностей

изд. 5-е стереотипное

Редактор Е.М.Туманова

Компьютерная верстка В.В. Гальченко

Подписано в печать 30.03.2015 г. Формат 60×84^{1/16}.

Бумага «SvetoCору». Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 8,25. Уч.-изд. л. 5,89.

Тираж экз. Заказ №

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

Новомосковский институт (филиал). Издательский центр.

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

Адрес института: 301665 Новомосковск, Тульская область, ул. Дружбы, 8.

Д. :ток