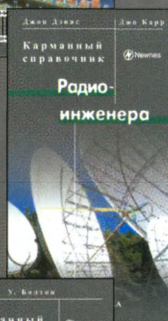


КАРМАННЫЙ СПРАВОЧНИК"

СЕРИЯ ПЕРЕВОДНЫХ КНИГ



В справочнике собраны сведения об основах современной электронной техники. Достаточно полно представлена элементная база: транзисторы, фотодиоды, светодиоды, оптрны, лазеры и т.д. Рассмотрены основы построения практически всех возможных узлов, образующих электронные схемы. Книга содержит разнообразный дополнительный справочный материал – от физических величин и их единиц до аббревиатур терминов, используемых в электронике.



Предлагаемый вниманию читателей справочник очень популярен в Великобритании. Его авторам удалось собрать и компактно объединить под одной обложкой огромное количество информации: от вопросов распространения электромагнитных волн до описания современных видов связи, таких как мобильная радиосвязь, спутниковая и транкинговая связь, беспроводная телефония. Книга содержит много дополнительной информации справочного характера, от международного кода «Q» и азбуки Морзе до формул и таблиц для расчетов радиотехнических цепей и сведений о кодировке электронных компонентов.



Книга в простой и доступной форме знакомит со средствами и методами измерений, с основными компонентами измерительных систем, учит правильному выбору и применению систем измерения в конкретных условиях. В справочнике объяснены физические принципы методов и даны математические основы их количественной оценки. Специальный раздел посвящен применению микропроцессоров в измерительных системах.



В справочник включены сведения, необходимые как на производстве, так и в домашней мастерской при изготовлении, эксплуатации и ремонте окружающих нас изделий. Приведены сведения о резьбовых и неразъемных соединениях, крепежных изделиях, уплотнении соединений, режущем инструменте: сверлах, развертках, зенкерах и т.д. Справочник включает также общетехнические сведения: таблицы пересчета единиц, формулы, полезные для работы, практические примеры использования измерительного инструмента. Все данные имеют ссылки на британские и международные стандарты.

Издательский дом «Додэка-XXI»

105318 Москва, ул. Щербаковская, д. 53

Тел./факс: (095) 366-0922, 366-8145, 366-2429, 366-1155

E-mail: books@dodeca.ru

www.dodeca.ru



Карманный
справочник

Конструкционные материалы:
металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты

У. Болтон

Карманный
справочник



Конструкционные материалы:

металлы,
сплавы,
полимеры,
керамика,
композиты

ISBN 5-94120-046-3



Более 900 наименований

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА:

вычислительная техника,
радиоэлектроника,
программирование
и многое другое

Книги всех
ведущих
издательств

Постоянно
действующая
подписка

Оптовые
поставки

Эффективная
система
скидок

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ «ДОДЭКА-XXI»

Приглашаем авторов,
редакторов,
переводчиков



105318 Москва, а/я 70
ул. Щербаковская, д. 53
Тел./факс: (095) 366-11-55,
366-09-22, 366-24-29,
366-81-45, 366-04-56
red@dodeca.ru, books@dodeca.ru
www.dodeca.ru

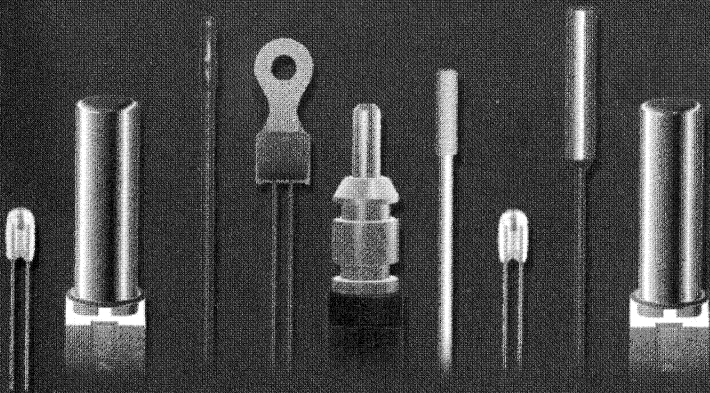


**Фирма «ДОДЭКА», официальный дистрибьютор
концерна EPCOS AG,
предлагает со склада в Москве и под заказ
высококачественные NTC-термисторы**
(резисторы с отрицательным температурным коэффициентом):

- Для измерений температуры в автоматике, промышленном и телекоммуникационном оборудовании
- Для систем ограничения пускового тока в промышленной электронике

Диапазон рабочего сопротивления 0.001...5000 Ом.

**Соответствие Российским стандартам!
Консультации специалистов,
документация на все компоненты!
Доступные цены!**



Наш адрес: 105318, Москва, ул. Щербаковская, д. 53
тел./факс: (095) 366-2429, 366-8145
e-mail: icmarket@dodeca.ru

Карманный справочник

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
МЕТАЛЛЫ, СПЛАВЫ, ПОЛИМЕРЫ,
КЕРАМИКА, КОМПОЗИТЫ**



МОСКВА
Издательский дом «Додэка-XXI»
2004

W . B o l t o n

N e w n e s

Engineering Materials

P o c k e t B o o k

Third Edition

 Newnes

У. Болтон

Карманный справочник

Конструкционные материалы:

металлы,
сплавы,
полимеры,
керамика,
композиты



УДК 620.1/2(035)

ББК 30.3я2

Б79

Болтон У.

Б79 Конструкционные материалы металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты Карманный справочник /Пер с англ — М Издательский дом «Додэка-XXI», 2004 — 320 с , ил (Серия «Карманный справочник»)

ISBN 5-94120-046-3

В справочнике представлен весь спектр материалов, применяемых в машиностроении и электротехнике железо, алюминий, медь, магний, никель, титан, сплавы на их основе, полимерные, керамические и композитные материалы Приведены сведения об их химическом составе, физических, термических и механических свойствах Дается система кодирования материалов по американскому и британскому стандартам Рассматриваются способы обработки и методы испытаний представленных материалов

Справочник снабжен удобным предметным указателем и предназначен для работников и студентов соответствующих технических специальностей для использования в повседневной работе

УДК 620 1/ 2(035)

ББК 30 3я2

Newnes Engineering Materials Pocket Book 3ed by Bolton

ISBN 0 7506 4974 7 (англ) © W Bolton 1989, 1996, 2000

© Reed Educational & Professional
Publishing Ltd (2000)

ISBN 5-94120-046-3 (рус) © Издательский дом «Додэка-XXI», 2004

® Серия «Карманный справочник»

О Г Л А В Л Е Н И Е

Предисловие	13
Глава первая ТЕРМИНОЛОГИЯ	15
Глава вторая МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ	32
Испытание на изгиб	32
Испытание на ползучесть	32
Испытание на усталость	33
Прокаливаемость	34
Измерение твердости	36
Испытание на удар	40
Испытание на растяжение	43
Глава третья ЖЕЛЕЗНЫЕ СПЛАВЫ	46
3.1. Материалы	46
Сплавы	46
Легированные стали	46
Углеродистые стали	47
Литейные чугуны	48
Автоматные стали	49
Мартенситно-старееющие стали	49
Нержавеющие стали	49
Инструментальные стали	50
3.2. Коды и составы сплавов	51
Системы кодирования углеродистых сталей	51
Системы кодирования литейных чугунов	51
Системы кодирования нержавеющей сталей	52
Американская система кодирования сталей	52
Британская система кодирования сталей	54
Системы кодирования инструментальных сталей	57
Составы легированных сталей	58
Составы углеродистых сталей	59
Составы литейных чугунов	60
Составы автоматных сталей	63
Составы мартенситно-старееющих сталей	63
Составы нержавеющей сталей	64
Составы инструментальных сталей	65
3.3. Термическая обработка	67
Отжиг	67
Науглероживание	69
Азотирование	69

Поверхностное упрочнение	69
Закалка с последующим отпуском	69
3.4. Свойства сталей	70
Параметры ползучести	70
Удельное электрическое сопротивление	71
Усталость	71
Твердость	71
Ударные свойства	71
Обрабатываемость на станках	72
Механические свойства легированных сталей	74
Механические свойства углеродистых сталей	77
Механические свойства литейных чугунов	80
Механические свойства автоматных сталей	83
Механические свойства	
мартенситно-старееющих сталей	84
Механические свойства нержавеющей сталей	84
Сопротивление коррозии	86
Критическое сечение	86
Плотность	87
Тепловые свойства	87
Свойства инструментальных сталей	88
3.5. Применение сталей и чугунов	92
Применение легированных сталей	92
Применение углеродистых сталей	93
Применение литейных чугунов	94
Применение нержавеющей сталей	95
Применение инструментальных сталей	96
Глава четвертая. АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ	100
4.1. Материалы	100
Алюминий	100
Сплавы алюминия	100
Литейные сплавы	101
Ковкие сплавы	102
4.2. Коды и составы сплавов	104
Системы кодирования составов	
литейных сплавов	104
Системы кодирования составов	
ковких сплавов	105
Системы кодирования твердости сплавов	106
Составы литейных сплавов	107
Составы ковких сплавов	109
4.3. Термическая обработка	110
Отжиг	110
Термическая обработка литейных сплавов	110
Термическая обработка ковких сплавов	112

4.4. Свойства сплавов	113
Плотность	113
Электрические свойства	113
Технологические свойства	115
Усталостные свойства	117
Обрабатываемость на станках	117
Механические свойства литейных сплавов	117
Механические свойства ковких сплавов	119
Тепловые свойства	122
Свариваемость сплавов	123
4.5. Применение сплавов	123
Формы материала	123
Применение литейных сплавов	124
Применение ковких сплавов	125
 Глава пятая МЕДЬ	127
5.1. Материалы	127
Медь	127
Медные сплавы	128
Латуни	132
Оловянные бронзы	132
Алюминиевые бронзы	133
Бериллиевые бронзы	133
Кремнистые бронзы	133
Медно-никелевые сплавы	133
5.2. Коды и составы сплавов	134
Системы кодирования составов	134
Системы кодирования твердости сплавов	136
Составы литейных сплавов	138
Составы ковких сплавов	141
5.3. Термическая обработка	145
Отжиг	145
Преципитатное упрочнение	146
Закалка и отпуск	146
Снятие напряжения	146
5.4. Свойства сплавов	146
Пайка твердым припоем	146
Параметры ползучести	146
Плотность	147
Электрическая проводимость	147
Усталостные свойства	147
Твердость	148
Ударные свойства	148
Обрабатываемость на станках	148
Механические свойства литейных сплавов	149
Механические свойства ковких сплавов	152

Паяемость	157
Тепловые свойства	157
Свариваемость	158
5.5. Применение меди и сплавов	159
Формы материала	159
Применение литейных сплавов	163
Применение ковких сплавов	166
Глава шестая. МАГНИЙ	170
6.1. Материалы	170
Магний	170
Магниеые сплавы	170
6.2. Коды и составы сплавов	171
Системы кодирования составов	171
Системы кодирования твердости сплавов	172
Составы литейных сплавов	173
Составы ковких сплавов	173
6.3. Термическая обработка	174
Отжиг	174
Термическая обработка на твердый раствор и старение	174
Снятие напряжения	175
6.4. Свойства сплавов	175
Плотность	175
Электрические свойства	175
Усталостные свойства	175
Механические свойства литейных сплавов	176
Механические свойства ковких сплавов	176
Тепловые свойства	177
Свариваемость	177
6.5. Применение литейных и ковких сплавов	178
Формы литья	178
Применение литейных сплавов	178
Применение ковких сплавов	179
Глава седьмая. НИКЕЛЬ	180
7.1. Материалы	180
Никель	180
Сплавы	180
7.2. Коды и составы сплавов	181
Системы кодирования никелевых сплавов	181
Составы никеля и сплавов	183
7.3. Термическая обработка	184
Отжиг	184

Обработка на твердый раствор и дисперсионная обработка	184
Снятие напряжения	185
7.4. Свойства	185
Параметры ползучести	185
Плотность	186
Электрическое удельное сопротивление	186
Усталостные свойства	186
Механические свойства литейных сплавов	186
Механические свойства ковких сплавов	187
Предел окисления	189
Тепловые свойства	189
7.5. Применение никелевых сплавов	189
Формы материала	189
Применение ковких и литейных сплавов	190
Глава восьмая ТИТАН	192
8.1. Материалы	192
Титан	192
Титановые сплавы	192
8.2. Коды и составы сплавов	193
Системы кодирования составов	193
Составы	194
8.3. Термическая обработка	194
Отжиг	194
Обработка на твердый раствор и дисперсионная обработка	195
Снятие напряжения	195
8.4. Свойства сплавов	196
Параметры ползучести	196
Плотность	197
Электрическое удельное сопротивление	197
Усталостные свойства	197
Вязкость разрушения	197
Твердость	197
Ударные свойства	198
Обрабатываемость на станках	198
Механические свойства	199
Тепловые свойства	200
Свариваемость	201
8.5. Применение и формы изделий из титана и его сплавов	201
Формы изделий	201
Применение титана и его сплавов	202

Глава девятая	ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	204
9.1. Материалы		204
Типичные полимеры		204
Эластомеры		204
Термореактивные пластмассы (реактопласты)		205
Термопластичные пластмассы (термопласты)		205
9.2. Полимерные структуры		206
Наполнители		206
Кристалличность		206
Структура полимеров		207
Структура и свойства полимеров		210
9.3. Коды и компоненты полимеров		211
Системы кодирования полимеров		211
Состав		213
9.4. Свойства		213
Химические свойства		213
Свойства ползучести		215
Плотность		215
Электрические свойства		217
Вязкость разрушения		218
Температуры стеклования		218
Твердость		219
Ударные свойства		220
Механические свойства		220
Оптические свойства		222
Проницаемость		223
Упругость		223
Тепловые свойства		223
9.5. Применение и методы изготовления		225
Методы изготовления		225
Применение полимеров		226
Глава десятая	КЕРАМИКИ	229
10.1. Материалы		229
Керамики		229
Технические керамики		229
Стекла		230
Огнеупоры		230
10.2. Коды		231
Системы кодирования связанных карбидов		231
10.3. Свойства		233
Плотность		233
Электрические свойства		233
Механические свойства алюминиевых керамик		233
Механические свойства связанных карбидов		233

Механические свойства стекол	234
Тепловые свойства связанных карбидов	234
10.4. Применение керамических материалов	235
Применение алюминиевых керамик	235
Применение связанных карбидов	235
Применение стекол	236
Глава одиннадцатая. КОМПОЗИТЫ	237
11.1. Материалы	237
Типы композитов	237
Волокнистые композиционные материалы	237
Армированные частицами материалы	238
Дисперсно-упрочненные композиционные материалы	239
11.2. Механические свойства	240
Механические свойства волокнистых композиционных материалов	240
Механические свойства древесины	242
Глава двенадцатая. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	243
12.1. Электрическая проводимость	243
Проводники	243
Полупроводники	244
Диэлектрики	246
12.2. Свойства	247
Электропроводность	247
Ширина запрещенной зоны полупроводников	249
Свойства диэлектриков	250
Глава тринадцатая. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА	251
13.1. Терминология	251
13.2. Магнитные свойства магнитных материалов	253
Глава четырнадцатая. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА	255
14.1. Статическая прочность	255
14.2. Жесткость	258
14.3. Сопротивление усталости	260
14.4. Ударная вязкость	260
14.5. Ползучесть и температурное сопротивление	261
14.6. Критерий отбора материала	263
Глава пятнадцатая. СОПРОТИВЛЕНИЕ КОРРОЗИИ И ИЗНОСУ	264
15.1. Сопротивление коррозии	264

15.2. Коррозия разнородных металлов	267
15.3. Подбор материалов по сопротивлению износу	269
Глава шестнадцатая. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА	271
16.1. Термины	271
16.2. Тепловые свойства	272
Глава семнадцатая. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ	274
17.1. Требования к выбору материала	274
Свойства материалов	274
Параметры переработки	275
Ассортимент	275
Стоимость материала	275
17.2. Критерий отбора материала	275
Идентификация критических свойств	276
Оценка достоинства	277
Стоимость материала на единицу свойства	277
17.3. Относительная стоимость материалов	277
17.4. Стоимость энергии	279
Глава восемнадцатая. АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ	280
18.1. Элементы	280
18.2. Конструкционные металлы	283
18.3. Технические полимеры	286
18.4. Технические керамики	289
Глава девятнадцатая. ВЫБОР ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ	291
19.1. Процессы и выбор материала	291
19.2. Конечный вид поверхности	292
19.3. Характеристики процессов формования металла	293
Литье металлов	293
Виды формования материалов	296
Порошковые процессы	297
Механическая обработка металлов	298
Процессы соединения материалов	300
19.4. Характеристики процессов формования полимеров	301
19.5. Расходы на процессы	304
Приложение: Единицы размерностей	306
Предметный указатель	310

Предисловие

Цель этой книги состоит в том, чтобы дать инженерам и студентам дешевый и краткий, карманного формата, справочник по материалам, применяемым в технике, таким, как сплавы на железной основе, цветные металлы, полимеры, керамика и композитные материалы. Такой она была задумана в первом издании, выдержана во втором и настоящем третьем издании. Во втором издании текст был расширен, в него были включены дополнительные главы. Третье издание отличается от второго включением Главы 19 «Выбор процессов изготовления». Книга может быть полезной, в частности, студентам, занятым проектной работой. Очевидно, что ни книга этого размера, ни большего формата и с более подробным изложением не может быть совершенно исчерпывающей, настолько широк диапазон проблем. Поэтому выбор материалов ограничен большей частью теми, с которыми обычно сталкиваются специалисты в технике, и в основном рассматриваются те их свойства, которые относятся к применению. Справочник не претендует на то, чтобы заменить большие подробные спецификации, имеющиеся в национальных и международных группах стандартов.

В помощь читателю для информации о свойствах материалов в Главе 1 приводится краткое описание необходимых терминов, с которыми он столкнется в этой книге. В Главе 2 излагаются основные методы испытаний материалов. В Приложении даны переводные коэффициенты и таблицы для различных единиц размерностей, применяемых в описании свойств материалов. Главы 3...11 посвящены свойствам следующих основных технических материалов: сплавы на железной основе, алюминий, медь, магний, никель, титан и сплавы на их основе, полимеры, керамика и композитные материалы. Как правило, главы разбиваются на пять следующих разделов: обсуждение материалов, детали кодирования систем и составов, информация о тепловой обработке, свойства материалов и типичные области их применения. Коды и данные приведены для двух стандартов — американского и британского. Для помощи читателю в выборе материала в Главах 12...16 разделы сгруппированы по следующим его свойствам: электрическим, магнитным, механическим, тепловым, сопротивлению коррозии и износу. В Главе 18 обсуждаются характеристики процессов, которые можно применять для получения различных форм изделий. Глава 19 посвящена выбору процессов.

Кроме того, в Приложении даны переводные коэффициенты и таблицы различных единиц размерности, применяемых в описании свойств материалов, а также предметный указатель.

Книга имеет отношение, по существу, к свойствам материалов, и данные научного характера приводятся очень кратко. Для

получения дополнительной информации читателю рекомендуем воспользоваться следующими учебниками¹:

Anderson J.C., Leaver K.D., Rawlings R.D. and Alexander J.M. (1985). *Materials Science* (Van Nostrand, 3rd Ed.).

Ashby M. and Jones R.H. *Engineering Materials*, vol.1 and vol.2 (Butterworth-Heinemann, 1996, 1998).

Bolton W. (1998). *Engineering Materials Technology* (Butterworth-Heinemann, 3rd Ed.).

Mills N.N. (1986). *Plastics: Microstructure, Properties and Applications* (Arnold).

Smith W.F. (1981). *Structure and Properties of Engineering Alloys* (McGraw-Hill).

Для обсуждения оптимальных процедур, с целью обдуманного выбора материалов, отсылаем читателя к следующим книгам:

Ashby M.F. (1999). *Materials Selection in Mechanical Design* (Butterworth-Heinemann).

Bolton W. (1998). *Engineering Materials Technology* (Butterworth-Heinemann, 3rd Ed.).

Crane F.A.A. and Charles J.A. (1997). *Selection and Use of Engineering Materials* (Butterworths-Heinemann, 3rd Ed.).

Farag M.M. (1989). *Selection of Materials and Manufacturing Processes for Engineering Design* (Prentice Hall).

Для обсуждения выбора процессов автор рекомендует книгу Swift K.G. and Booker J.D. *Process Selection* (Agnold 1997).

Данные, использованные в этой книге, получены из обширного ряда источников. Основными из них были: Публикации Британского института стандартов, Публикации Американского общества производителей металлических материалов, Торговые ассоциации.

Интерпретация и размещение данных, тем не менее, выполнены автором. Для ознакомления с полными деталями стандартов читателю советуют обратиться к соответствующим изданиям стандартов Классификационной группы.

У. Болтон

Ссылки на источники

Выдержки из британских стандартов воспроизведены с разрешения Британского института стандартов (BSI). Комплект копий документов был получен почтой из Британского института стандартов, продажа (BSI Sales), Linford Wood, Milton Keynes, Bucks MK16 6LE.

¹ Рекомендуется также отечественный учебник: Б.Н. Арзамасов, В.И. Макаров и др. *Материаловедение: Учебник для вузов*. — 3-е изд., переработанное и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001 — 648 с., ил. (*Прим ред перевода*)

Глава первая

Терминология

Определения терминов, характеризующих свойства материалов, используемых в технике, приведены в алфавитном порядке.

Азотирование. Химико-термическая обработка стали, которая заключается в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали атомарным азотом при нагреве стали до 500...650°C в атмосфере аммиака с распадом его на атомарный азот и водород. В результате Аз. среднеуглеродистых легированных сталей образуются нитриды легирующих элементов и стали приобретают особо высокую твердость, износостойкость и увеличивается предел их выносливости не менее чем на 30%. Аз. углеродистых сталей приводит к повышению коррозионной стойкости.

Аморфное состояние вещества. Одно из состояний твердого вещества (другое — кристаллическое), в котором центральные атомы твердого вещества и ближайшие к ним будут располагаться в определенном порядке, но по мере удаления от них этот порядок нарушается и расположение атомов становится случайным, т.е. присутствует ближний порядок расположения атомов и отсутствует дальний. Кроме того, вещество в А. с. не имеет определенной точки плавления/отвердевания при нагревании/остывании. Примерами служат стекло, каучук.

Анодирование. Электрохимический процесс образования оксидных пленок или покрытий в соответствующем растворе, при котором металл служит анодом. Поверхностная оксидная пленка покрывает металл и составляет с ним одно целое. Ан. повышает такие свойства металлов, как коррозионную стойкость, сопротивление истиранию, твердость, изменяет отражательные и излучательные характеристики. Улучшается внешний вид подвергнутого Ан. металла.

Атактическая структура. Это полимерная структура (полимер), у которой расположение боковых групп молекулярной цепи, таких как CH_3 , относительно плоскости основной цепи нерегулярно, хаотично. Атактический полимер не способен кристаллизоваться, является аморфным.

Аустенизация. Процесс, происходящий тогда, когда железный сплав нагрет до температуры, при которой его структура превращается в аустенит.

Аустенит. Принято обозначать A или γ . Твердый раствор внедрения углерода в Fe_γ , имеющий гранецентрированную кубическую (ГЦК) решетку с высокой растворимостью углерода в Fe_γ , достигающей 2.14% из-за достаточных размеров межатомных пор размещения углерода в решетке, составляющих сферы радиусами от 0.41 атомного радиуса железа.

Бейнит. Структура стали, образующаяся в результате промежуточного превращения аустенита. Состоит из высокодисперсной смеси частиц пересыщенного углеродом феррита и карбида железа. В стали с бейнитной структурой имеется остаточный аустенит. Эта структура тверже, чем полученная при отжиге, но мягче, чем мартенсит.

Вязкость разрушения. Критерий трещиностойкости для наиболее жесткого нагружения — плоской деформации нагружением — при достижении критического значения перехода стабильной трещины в нестабильную и обозначаемый K_{Ic} . Он показывает значение напряжения вблизи вершины трещины, имеющей тупой раскрывающийся вид в момент разрушения, и связывает приложенное среднее напряжение с критической длиной трещины. Единица измерения K_{Ic} — $MPa \cdot m^{1/2}$. Критерий K_{Ic} позволяет определить безопасный размер трещины при известном рабочем напряжении и характеризует сопротивление развитию вязкой трещины.

Гомополимер. Полимер, макромолекулы которого построены из одинаковых по химическому строению многочисленных элементарных звеньев молекул (мономеров).

График S/N . График амплитуды напряжения S , деленной на число циклов N испытаний на усталость. Амплитуда напряжения — это половина алгебраической разности между максимальным и минимальным напряжениями, при которых испытывался материал. (См. Испытание на усталость в Гл. 2.)

График напряжение—деформация. График напряжения—деформация обычного растяжения, применяемый в технике напряжений (см. Напряжение) и технике деформаций (см. Деформация). На Рис. 1.5 показан пример формы одного такого графика для металла, подобного стали. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Деформационное упрочнение, наклеп. При холодном пластическом деформировании изменяются физические свойства наклепанного металла и тем сильнее, чем больше степень деформации. В результате Д. у. увеличивается твердость, повышается электросопротивление, но понижаются пластичность, ударная вязкость и коррозионностойкость.

Деформация. В технике деформацию определяют как отношение: (изменение длины материала)/(начальная длина), когда материал подвергается растяжению или сжатию. Деформация сдвига — это отношение: (смещение, при котором один слой материала скользит по другому)/(смещение, при котором слои разделены). Деформация не имеет размерности, однако ее часто выражают в процентах. Деформацию сдвига обычно указывают как угловую меру в радианах.

Деформация при закалке. Повышение твердости материала вследствие обработки, подвергающей материал пластической деформации при температурах ниже его температуры рекристаллизации.

Диэлектрическая проницаемость относительная ϵ_r . Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r , или диэлектрическая постоянная материала может быть определена как отношение емкости конденсатора с материалом между его пластинами C к емкости того же конденсатора C_0 , когда между пластинами вместо диэлектрика находится вакуум:

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0}.$$

Диэлектрическая проницаемость абсолютная ϵ . Величина, характеризующая во сколько раз взаимодействие двух зарядов в среде меньше, чем в вакууме. Определяется как произведение относительной диэлектрической проницаемости ϵ_r на диэлектрическую постоянную (вакуума) ϵ_0 : $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$. Величина $\epsilon_0 = 8,853 \times 10^{-12}$ Ф/м. Единица измерения — Ф/м (фарад на метр).

Долговечность, циклическая долговечность. Число циклов напряжения до появления разрушения. (См. Испытание на усталость в Гл. 2.)

Дюрометр Шора. Прибор для определения твердости полимеров и резины. Применяется числовая шкала. (См. Гл. 2.)

Емкость демпфирования. Параметр, являющийся индикатором способности материала к подавлению вибраций.

Жесткость, модуль сдвига. Жесткость — характеристика материала для определения способности сопротивляться любому виду деформации (сдвигу, растяжению, изгибу и т.д.). В условиях малых и умеренных напряжений (1 условие) большинство твердых материалов следует закону Гука при сдвиге. Если построить график зависимости напряжения сдвига от деформации сдвига, то на начальном участке получим прямую (следствие 1 условия). Модуль сдвига — отношение: напряжение сдвига/деформация сдвига или тангенс угла наклона этой прямой. Угол наклона этой прямой характеризует сдвиговую жесткость материала. А так как из тригонометрии (при малых углах — 2 усло-

вие) tg угла равен самому углу (следствие 2 условия), то приходим (в этих двух условиях) к идентичности понятий «жесткость» и «модуль сдвига».

Закалка. Термическая обработка материалов с быстрым охлаждением.

Закалка с последующим отпуском. Нагрев предварительно закаленного материала для увеличения его пластичности или твердости.

Изгиб, угол изгиба. Результат, указанный в угловой мере, статических испытаний на изгиб до соприкосновения сторон, которые проводятся на материалах в форме листов, стержней и проволоки, а также на трубах с загибом до 90° . Углом изгиба называют угол, в пределах которого материал может быть изогнут без обнаружения нарушения целостности (Рис. 1.1). См. Испытание на изгиб в Гл. 2.



Рис. 1.1. Изгиб образца

Износостойкость. Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию (разрушение поверхности ввиду отделения его частиц) в определенных условиях трения. И. оценивается величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания, и определяется при испытаниях на трение и изнашивание в лабораторных или натуральных условиях по определенным методикам.

Изотактическая структура. Полимерная структура, в которой боковые группы молекул расположены упорядоченно все на одной боковой стороне молекулярной цепочки.

Изотермическая закалка с выдержкой в бейнитовой области, аустемперинг. Тепловая обработка, применяемая к железным сплавам, для повышения их вязкости и прочности. Материал нагревают до аустенизирующей температуры и закаляют до температуры M_3 с такой скоростью, что не формируются ни феррит, ни перлит. Затем выдерживают при температуре M_3 , пока не закончится превращение его в бейнит.

Изохронный график напряжение—деформация. См. вступление к термину Модуль ползучести.

Испытание Джомени. Испытание применяется для получения информации о прокаливаемости сплавов. (См. Гл. 2 для более полной информации.)

Испытание Изода. Испытание (см. Испытание на удар в Гл. 2.) применяют для определения чувствительности материала к нагрузке, прикладываемой с высокой скоростью. Оно состоит в нанесении резкого удара по образцу. Результаты испытания выражаются количеством энергии, поглощенной образцом при разрушении. Чем выше измеренная величина Изода, тем больше вязкость материала.

Испытание Роквелла. Метод Роквелла применяется для оценки твердости материала. Имеются числовые шкалы Роквелла, по которым можно определять непосредственно результаты испытаний. (См. Испытание на удар в Гл. 2.)

Испытание Шарпи. Испытание (см. Испытание на удар в Гл. 2) для определения чувствительности материала к нагрузке, прикладываемой с высокой скоростью. Оно состоит в нанесении резкого удара по образцу. Результаты испытания выражаются количеством энергии, поглощенной образцом при разрушении. Чем выше величина Шарпи, тем больше гибкость материала.

Коррозионная стойкость. Способность материала к сопротивлению ухудшению его свойств при химической или электрохимической реакции в непосредственном контакте с окружающей средой. Существует много видов коррозии, и для каждого из них имеется свой метод защиты материала.

Коэффициент пропускания, нормальный. Нормальный коэффициент пропускания — это отношение: (прошедший поток света)/(падающий поток). Он, как правило, выражается в процентах. Коэффициент пропускания зависит от толщины материала, поэтому результаты обычно приводятся к толщине в 1 мм. Для некоторых материалов это значение коэффициента пропускания может быть равно нулю, если они совершенно непрозрачны при малой толщине.

Кристаллическая структура. Структура с упорядоченным периодическим (регулярным) расположением атомов или молекул.

Линовка профиля. Предельная линовка профиля — это максимальный диаметр круглого проката, в середине которого могут быть получены требуемые свойства материала.

Мартенсит. Основной термин, применяемый для описания формы структуры железных сплавов, когда скорость охлаждения от аустенитового состояния слишком высокая и допускает диффузию атомов углерода из гранецентрированной кубической формы аустенита и превращение ее в объемно-центрированную форму феррита. Результатом является более высокая деформационная жесткость структуры.

Мер. См. Мономер.

Модуль ползучести. Напряжение, деленное на деформацию для определенного момента времени. Начальные результаты испытания на ползучесть обычно представлены серией графиков деформации в зависимости от времени для различных уровней напряжения. Из этих графиков для определенного времени могут быть получены величины деформаций при различных напряжениях. Результирующие величины напряжение—деформация могут быть использованы к данным графика напряжение—деформация для определенного времени. Такой график называется изохронным графиком напряжение—деформация. Модуль ползучести не равен модулю растяжения. (См. Испытание на ползучесть в Гл. 2.)

Модуль упругости, модуль Юнга. Коэффициент, характеризующий упругие свойства твердых тел и являющийся коэффициентом пропорциональности E между деформацией и приложенными механическими напряжениями и наоборот. Модуль упругости E — отношение растягивающего напряжения σ к относительному удлинению ϵ : $E = \sigma/\epsilon$. Графически модуль упругости, или модуль Юнга, это тангенс угла наклона в графике напряжение—деформация на его начальном прямолинейном участке (**Рис. 1.2**). См. Испытание на растяжение в Гл. 2.

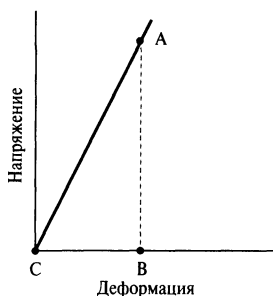


Рис. 1.2. Модуль растяжения AB/BC

Модуль сечения. Для большинства полимерных материалов нет линейного участка графика напряжение—деформация, поэтому невозможно оценить их модуль растяжения. В таких случаях используется модуль сечения. Этот модуль определяется как напряжение при величине деформации в 0.2%, деленное на эту деформацию (**Рис. 1.3**).

Модуль Юнга. См. Модуль упругости.

Мономер. Низкомолекулярное соединение вещества, молекулы которого способны реагировать между собой или с молекулами других веществ с образованием полимера.

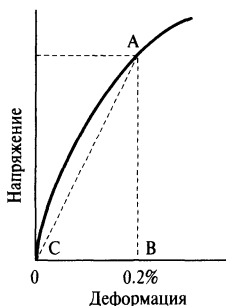


Рис. 1.3. Модуль сечения AB/BC

Наполнители. Пластмассы и резины, а также полимеры почти всегда содержат в себе другие материалы. Их вводят для изменения свойств и удешевления материала.

Напряжение (механическое). В технике механическое напряжение растяжения и сжатия обычно определяется как отношение: (сила)/(начальная площадь поперечного сечения образца). Истинное напряжение — это отношение: (сила)/(площадь поперечного сечения образца, которую образец имеет в этот момент). Сдвигающее напряжение — это отношение: (сдвигающая сила)/(площадь образца, сопротивляющаяся сдвигу). Механическое напряжение имеет размерность Па (паскаль), или $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$, причем $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$.

Науглероживание. Состояние затвердевания, в результате которого на поверхности железных сплавов образуется твердый слой. Обработка включает в себя нагрев сплава до состояния аустенизации в атмосфере, обогащенной углеродом, благодаря чему углерод диффундирует внутрь поверхностных слоев, закаливая их к тому же до превращения в мартенсит.

Нормализация. Тепловая обработка, включающая в себя нагрев железного сплава до температуры, при которой происходит полная аустенизация структуры с последующим охлаждением на воздухе. В результате этого появляется более мягкий материал, но мягкий не сам по себе, а вследствие проведения отжига.

Обрабатываемость на станках. Не существует общепринятого стандарта испытания на обрабатываемость. Она базируется на эмпирических данных испытания и потому субъективна. Обрабатываемость измеряется на различных встречающихся в механической обработке материалах.

Ориентация. Метод повышения механических свойств полимеров. Любой из видов полимеров — кристаллических или стеклообразных — может быть ориентирован при медленном

растяжении, если он находится в высокоэластичном или вязкотекучем состоянии. Макромолекулы ориентируются при действии высоких температур и механических напряжений — вытяжки вдоль ориентированных вытянутых молекул, приобретают упорядоченную структуру по сравнению с неориентированными. После достижения нужной степени ориентации температура снижается и полученная структура фиксируется. Прочность при разрыве и модуль упругости в направлении ориентации увеличиваются. Различают одно- и многоосную ориентацию в одном и нескольких направлениях.

Остаточные напряжения. Напряжения, остающиеся в материале, который был подвергнут пластической деформации, после снятия нагрузки.

Отжиг. Процесс, включающий нагрев и выдержку материала при достаточно высокой температуре для приведения его в конечном итоге к пластическому состоянию после охлаждения с соответствующей скоростью, как правило, медленной. В случае железных сплавов требующаяся температура отжига выше критической температуры. Цель отжига может заключаться в том, чтобы облегчить холодную обработку материала, улучшить эффективность инструмента, механические свойства материала и т. п.

Относительная магнитная проницаемость. Ее определяют как отношение индукции в материале к индукции в положении, когда материал помещен в вакуум, и измеряют по магнитным свойствам материала.

Относительное удлинение тела. Эта величина определяется так:

$$\begin{aligned} \text{относительное удлинение} = \\ = \frac{\text{начальная длина} - \text{конечная длина}}{\text{начальная длина}} \times 100\%. \end{aligned}$$

Измеряется у пластичных материалов. Более высокий процент удлинения получается у материалов с большей пластичностью. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Относительное уменьшение площади поперечного сечения тела. Эта величина определяется так:

$$\begin{aligned} \text{относительное уменьшение площади поперечного сечения} = \\ = \frac{\text{начальная площадь} - \text{конечная площадь}}{\text{начальная площадь}} \times 100\%. \end{aligned}$$

Также является мерой пластичности материала. Более высокий процент получается у материалов с большей пластичностью. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Перлит. Слоистая структура феррита и карбида железа.

Пластическая деформация. Вид деформации, при которой снятие нагрузки с деформируемого образца не вызывает полного восстановления его свойств и геометрических характеристик. См. также Упругая деформация.

Пластические материалы. Материалы, показывающие до разрушения значительную величину пластической деформации.

Пластический разрыв. Процесс, в котором до разрушения наблюдается значительная величина пластической деформации. У металлов излом представляет типичный конус и образование в форме чашки, а поверхность излома грубая и по виду волокнистая.

Плоская деформация нагружением. См. Вязкость разрушения.

Плотность¹. Масса, содержащаяся в единице объема.

Поверхностное упрочнение. Основной термин, применяемый для описания ряда процессов, после проведения которых поверхность сплава на железной основе становится тверже, чем его сердцевина.

Повышение твердости выделением вторичных фаз. Процесс тепловой обработки, в результате которого выделяются вторичные фазы (преципитаты, дисперсионное твердение) таким путем, что происходит твердение материала.

Поглощение воды. Процентный прирост массы полимерного материала после погружения его в воду на определенное время при контролируемых условиях.

Показатель преломления. Отношение: (скорость света в вакууме)/(скорость света в материале). Для материала скорость света зависит от направления прохождения света через материал, и поэтому показатель преломления изменяется с изменением направления прохождения света.

Ползучесть. Непрерывная деформация материала с течением времени, когда его подвергают постоянному напряжению. Для определенного материала ползучесть зависит от режима работы, т. е. от температуры и начального напряжения, а режим работы, в свою очередь, зависит также от свойств материала. (См. Испытание на ползучесть в Гл. 2.)

Полностью твердый. Термин применяется для описания степени твердости сплавов. Это есть состояние наклепанного материала. Вне этого состояния материал недолго будет работоспособным.

Полутвердый. Термин применяется для описания степени твердости сплавов. Это есть состояние наклепанного материала на половине пути между мягким и полностью твердым.

¹ Единица плотности в СИ — кг/м³. (Прим. ред.)

Правило Хукса. Если материал подчиняется правилу Хукса, то его удлинение прямо пропорционально прикладываемой силе. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Предел долговечности. Это величина напряжения, при котором испытуемый образец имеет срок долговечности, равный N циклам напряжения. (См. Испытание на усталость в Гл. 2.)

Предел ползучести. Напряжение, требующееся для создания данной деформации, под действием которой материал деформируется на определенную величину за определенное время при заданной температуре.

Предел пропорциональности. Вплоть до предела пропорциональности удлинение образца прямо пропорционально растягивающим силам, т. е. деформация пропорциональна прикладываемому напряжению (Рис. 1.4).



Рис. 1.4. График напряжение—деформация

Предел прочности на растяжение, временное сопротивление. Показатель прочности материала, предшествующей разрушению. Его определяют как отношение: (максимальная сила до разрушения)/(начальная площадь поперечного сечения образца). (См. Рис. 1.4, Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Предел прочности на сжатие. Это максимальное сжимающее напряжение, выдерживаемое материалом до разрушения.

Предел упругости. Характеристика пружинных материалов, используемых для упругих приборов и машин. Максимальная сила (или напряжение), при которой, когда она снята, материал возвращается к своим первоначальным размерам. Для многих материалов предел упругости и предел пропорциональности один и тот же: это предельная максимальная сила, до которой растяжение пропорционально силе, или максималь-

ное напряжение, до которого деформация пропорциональна напряжению. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Предел усталости (выносливости). Это величина наибольшего напряжения, которое материал будет выдерживать без разрушения за заданное число циклов N . (См. Испытание на усталость в Гл. 2.)

Пробное напряжение. Пробное напряжение в 0.2% определяют как такое напряжение, которое смещает результаты испытания на 0.2%, т. е. напряжение задается на кривой растяжения на графике напряжение—деформация при пересечении прямой, параллельной линейной части графика, проходящими через 0.2%-ное значение деформации (**Рис. 1.5**). Пробное напряжение в 0.1% определяется аналогичным образом. Пробные напряжения указываются, когда материал имеет не вполне определенную точку текучести. (См. Испытание на растяжение в Гл. 2.)

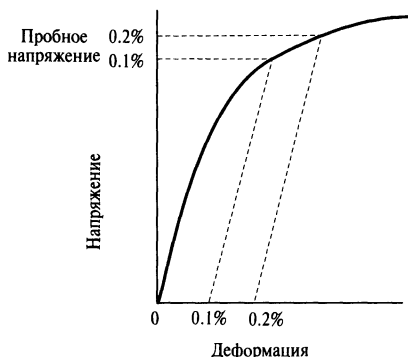


Рис. 1.5. Деформация пробным напряжением

Прокаливаемость. Термин «прокаливаемость материала» применяется для описания меры глубины повышенной твердости, распространяющейся внутрь материала при закалке. (См. Прокаливаемость в Гл. 2.)

Проницаемость. Термин описывает скорость, с которой газы или пары проходят сквозь материал. Скорость прохождения через единицу площади поверхности материала определяется так:

$$\frac{\text{скорость прохождения}}{\text{площадь}} = \frac{P(p_1 - p_2)}{L},$$

где P — коэффициент проницаемости, p_1 и p_2 — давление соответственно на каждой стороне материала и L — толщина материала. Применяют разнообразные единицы для обозначения

проницаемости: то же давление одни исследователи дают в сантиметрах ртутного столба, другие в Па или $\text{Н}\cdot\text{м}^{-2}$; время может быть дано в днях или секундах; скорость — в терминах объема в кубических сантиметрах (см^3) или массы в молях или килограммах (кг), или граммах (г).

Прочность¹. См. Предел прочности на сжатие. Сопротивление срез. Предел прочности на растяжение.

Равновесная диаграмма. Это диаграмма для металлов, построенная на большом числе экспериментальных данных, у которой кривые охлаждения известны для всего диапазона какой-нибудь группы сплавов. По диаграмме можно также предсказать состояние сплава определенного состава, если он нагрет или охлажден до некоторой температуры.

Разрывное напряжение при растяжении. Предельное растягивающее напряжение после наступления предела прочности, вызывающее разрыв материала в наиболее тонком месте образца — шейке, где сосредотачивается пластическая деформация. См. Предел прочности на растяжение.

Расширение, температурный коэффициент линейного расширения. Это величина, характеризующая увеличение единицы длины материала, когда его температура возрастает на один градус. Его определяют по формуле

$$\begin{aligned} \text{Температурный коэффициент линейного расширения} = \\ = \frac{\text{изменение длины}}{\text{длина} \times \text{изменение температуры}}. \end{aligned}$$

Размерность: $^{\circ}\text{C}^{-1}$ или K^{-1} .

Расширение линейное. Альтернативное название температурного коэффициента линейного расширения.

Результаты испытания Виккерса. Испытание Виккерса применяется для измерения твердости материала. Чем больше число твердости по Виккерсу, тем больше твердость материала. (См. Измерение твердости в Гл. 2.)

Рекристаллизация. Описывает в основном процесс обновления, освобождения нагретом зернистой структуры от деформации, созданной в наклепанном металле.

Синдиотактическая структура. Полимерная структура, в которой молекулы боковых групп регулярно чередуются по обеим сторонам молекулярной цепочки.

Снятие напряжения. Обработка по снижению остаточных напряжений при нагреве материала до нужной температуры с последующим медленным охлаждением.

¹ Прочность — способность материала сопротивляться тем или иным воздействиям без разрушения. Единица измерения П. в СИ — $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{кг}$. (Прим. ред.)

Соотношение Пуассона. Отношение: (поперечная деформация)/(продольная деформация).

Сополимер. Полимерный материал, состоящий из комбинации двух или трех мономеров в простой полимерной цепочке.

Сопротивление срезу. Срезающее напряжение, требующееся для получения излома.

Спекание. Процесс, при котором порошки связываются молекулярным или атомным притяжением в результате нагрева до температуры ниже точки плавления этих порошков.

Сплав. Металлический материал, полученный при затвердевании расплавов компонентов, из которых по крайней мере один является металлом.

Способность к сварке. Способность к сварке определенной комбинации материалов указывает на легкость, с какой может быть выполнена качественная сварка.

Срез. Разрушение при сдвиге одной части материала относительно другой под действием касательных напряжений.

Старение. Термин применяется для описания изменения свойств у некоторых металлов и сплавов при окружающей (комнатной) температуре (естественное С), после горячей или холодной обработки (искусственное С). Это изменение вызвано в основном имеющимися выделениями вторичных фаз (преципитатным, или так называемым дисперсионным, твердением), не изменяющими химических свойств соединения.

Старение мартенсита. Обработка путем повышения твердости выделением вторичных фаз, применяемая к тем же самым железным сплавам. (См. Повышение твердости выделением вторичных фаз.)

Степень твердости. Термин применяется к цветным сплавам как индикатор степени твердость/прочность со следующей градацией: твердый, полутвердый, три четверти твердости.

Сфероидизация. Обработка для создания сферических или шаровидных форм карбида в стали.

Твердость. Твердость материала может быть охарактеризована в тех же самых терминах стандартного испытания, включающего в себя вдавливание индентора (образца материала), например по Бринеллю, Виккерсу или Роквеллу, или царапание поверхности материала, применяемого в испытании по Моосу. (См. Измерение твердости в Гл. 2.)

Температура перехода. Температура, при которой материал изменяется от состояния вязкого до состояния хрупкого разрушения.

Температура перехода в стеклообразное состояние. Температура, при которой полимер изменяется от гибкого до жесткого состояния. Модуль растяжения при этом показывает резкое изменение от низкого значения, свойственного резине, до высокого, свойственного стеклообразному материалу.

Тепловое коробление/прогибание температурой. Определенная величина относительного прогиба, которую показывает узкая полоска полимерного материала под специальной нагрузкой при определенной температуре.

Тепловое расширение. См. Расширение, коэффициент линейного расширения.

Теплопроводность. Это скорость переноса энергии в форме тепла через материал, зависящая пропорционально от коэффициента теплопроводности. Коэффициент теплопроводности определяется так:

$$\text{коэффициент теплопроводности} = \frac{\text{скорость переноса тепла}}{\text{площадь поперечного сечения} \times \text{температурный градиент}}.$$

Коэффициент теплопроводности имеет размерность $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Более высокая теплопроводность определяет большую скорость передачи тепла от более нагретого участка образца к менее нагретому, что приводит к выравниванию температуры образца.

Теплостойкий сплав. Сплав, разработанный для применения при высоких температурах.

Термическая обработка на твердый раствор. Тепловая обработка, включающая в себя нагрев сплава до необходимой температуры, выдержка его при этой температуре в течение промежутка времени, достаточного для перехода в твердый раствор одного или более входящих в него элементов, и охлаждение со скоростью, достаточной для перехода его в твердый раствор.

Точка плавления. Температура, при которой материал переходит из твердого состояния в жидкое.

Точка размягчения. Для многих металлов, когда растягивающая сила, прикладываемая к испытываемому образцу, устойчиво растет, наступит момент, когда длина начнет увеличиваться не пропорционально прикладываемой силе, а быстрее до тех пор, пока сила не достигнет максимума. Это значение называют верхней точкой размягчения. Затем сила падает до значения, называемого нижней точкой размягчения, и вновь увеличивается, когда вытягивание опять будет непрерывным. (См. **Рис. 1.5**, Испытание на растяжение в Гл. 2.)

Транс-структура. Один из двух видов изомерии (пространственное расположение) одинаковых групп относительно углеродной цепи полимера. Это полимерная структура, в которой одинаковые группы, например Н и CH_3 , соединенные с двойной связью углеродной цепи, расположены по разные стороны от двойной связи. Дан пример транс-бутена. См. также Цис-структура.

Трение, коэффициент трения. Коэффициент трения — это максимальное значение силы трения, градуированной к нормальной силе. В ситуации, когда объект начинает движение, максимальная сила трения равна силе, требующейся для старта скользящего объекта. Когда объект находится уже в движении, сила трения — это такая сила, которая требуется для поддержания движения с постоянной скоростью. Она меньше, чем сила трения, необходимая для старта скользящей части механизма. Следовательно, есть два коэффициента трения — статический и динамический, причем статический коэффициент больше динамического.

Ударные свойства. См. Испытание Шарпи и Испытание Изода, а также Испытание на удар в Гл. 2.

Удельная теплоемкость. Ее определяют так:

$$\text{удельная теплоемкость} = \frac{\text{поглощенное тепло}}{\text{масса} \times \text{изменение температуры}}.$$

Количество поглощенного тепла, когда растет температура материала при нагревании, зависит от его удельной теплоемкости. Чем выше удельная теплоемкость материала, тем меньше рост температуры на единицу массы для данного количества поглощенного тепла. Удельная теплоемкость имеет размерность Дж·кг⁻¹·К⁻¹.

Удельная электропроводность. Определяют по величине электропроводности цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади сечения по формуле:

$$\text{удельная электропроводность} = \frac{\text{электропроводность} \times \text{длина}}{\text{площадь поперечного сечения}},$$

$$\text{электропроводность (проводимость)} = \frac{1}{\text{сопротивление}}.$$

Электропроводность имеет размерность Ом⁻¹, или См (сименс), а удельная электропроводность — Ом⁻¹·м⁻¹. Удельная электропроводность измеряется на проводящем электричество материале. Чем больше электропроводность, тем больше ток при определенной разности потенциалов. Эталоном удельной электропроводности, согласно Международному стандарту на отожженную медную проволоку (IACS), принята удельная электропроводность 100%-ной отожженной меди при 20°C. Удельная электропроводность всех других материалов выражается в процентном отношении к этому значению.

Удельное электрическое сопротивление. Величина, обратная удельной электропроводности. Ее измеряют на материале соответственно данному определению:

$$\text{удельное сопротивление} = \frac{\text{сопротивление} \times \text{площадь поперечного сечения}}{\text{длина}}.$$

Удельное сопротивление имеет размерность Ом·м.

Удельный вес¹. Удельным весом материала γ называется отношение его плотности к плотности воды:

$$\text{удельный вес } \gamma = \frac{\text{Плотность материала}}{\text{Плотность воды}}.$$

Единица удельного веса в СИ — Н·м⁻³.

Упругое восстановление формы после деформации, частичное. Определяется как деформация, вернувшаяся в исходное состояние, деленная на ползучую деформацию, когда нагрузка снята.

Упругая деформация. Вид деформации, при которой снятие нагрузки с деформируемого образца полностью возвращает его в исходное состояние. Объем и форма образца полностью восстанавливаются. См. также Пластическая деформация.

Усталостная прочность. Усталостная прочность при N циклах напряжения — это величина напряжения, ниже которой испытываемый образец имеет срок службы, равный N циклам. (См. Испытание на усталость в Гл. 2.)

Феррит. Твердый раствор из одного или более элементов в форме центрированной кубической решетки железа. В него обычно входит углерод.

Хрупкий материал. Материал, имеющий незначительную пластическую деформацию до его излома. Например, применяемый для фарфоровых чашек материал является хрупким, он имеет незначительную пластическую деформацию, до того как разрушится. Сломанная чайная чашка может быть склеена, что даст чашку тех же размера и формы, как и оригинал.

Хрупкое разрушение. Разрушение, при котором трещина зарождается и распространяется до некоторой значительной пластической деформации. Поверхность металла при хрупком разрушении блестит, а ее зернистость обусловлена отражением света от отдельных кристаллов. В полимерных материалах поверхность излома может быть гладкой и зеркальной или отчасти расколотой и неровной.

Цементация. Термин применяется для описания процессов изменения состава поверхностных слоев железных сплавов с об-

¹ Удельный вес — вес единицы объема материала. В отечественной технической

разованием твердого поверхностного слоя. (См. Науглероживание и азотирование.)

Цементит. Соединение, образованное из железа и углерода, часто называется карбид железа.

Цис-структура. Один из двух видов изомерии (пространственное расположение) одинаковых групп относительно углеродной цепи полимера. Это полимерная структура, в которой одинаковые группы, например Н и CH_3 , соединенные с двойной связью углеродной цепи, расположены по одну сторону от двойной связи. Дан пример цис-бутена. См. также Транс-структура.

Число твердости по Бринеллю (НВ). Число, которое присваивается материалу по результатам испытания Бринелля (см. Измерение на твердость в Гл. 2), т. е. измерения твердости материала. Чем больше число, тем тверже материал. Оно определяется как отношение нагрузки на индентор (стальной шарик) к площади поверхности отпечатка на материале.

Шкала по Моосу. Шкала твердости для определения твердости материала методом царапания набором из 10 минералов, расположенных в порядке возрастания твердости. Это 10-балльная числовая шкала относительной твердости минералов, более высокое число для более твердого материала. (См. Испытание на удар в Гл. 2.)

Эластичность. Термин характеризует упругие свойства полимеров. Способность материала к большим обратимым изменениям формы при малых нагрузках из-за колебания звеньев, и поэтому макромолекула способна изгибаться.

Электрическая прочность диэлектрика. Параметр диэлектрика для определения его способности противостоять пробой. Это напряженность электрического поля в диэлектрике $E_{\text{пр}}$, при которой происходит пробой. Измеряется как отношение напряжения пробоя $V_{\text{пр}}$ (минимальной разности потенциалов на диэлектрике, вызывающей пробой) к толщине диэлектрика d в месте пробоя и равна:

$$E_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{d}.$$

Измеряется в СИ в МВ/м (мегавольт на метр). Удобнее использовать эквивалентную размерность — кВ/мм (киловольт на миллиметр).

Глава вторая

Методы испытаний

Рассмотрим несколько обычных методов испытаний, применяемых для определения свойств материалов, используемых в технике.

Испытание на изгиб

Изгиб — это результат испытания образца, когда в образце возникают растягивающие и сжимающие напряжения. На изгиб испытываются материалы с малой пластичностью: чугуны, стали инструментальные, стали после поверхностного упрочнения, керамики.

Используют 2 схемы нагружения сосредоточенной силой. Образец помещают на 2 опоры — нагрузка дается по центру. 2-я схема — двумя симметричными силами (испытание на чистый изгиб), каждая составляет $1/2$ общей нагрузки симметрично на полусумме расстояний от центра до каждой опоры. Характеристиками, которые определяют, служат предел прочности при изгибе и угол изгиба (см. **Рис. 1.1**).

Испытание на ползучесть

Для металлов, исключая очень мягкие, подобные свинцу, при нормальных температурах испытаниями на ползучесть пренебрегают. Но они становятся важными при повышенных температурах. По этой причине испытания на ползучесть проводят в основном при высоких температурах. На **Рис. 2.1** схематически показан такой вид испытания. Температура образца поддерживается постоянной с помощью управляющего устройства, имеющего термодатчик, присоединенный к образцу. Удлинение образца измеряется в зависимости от времени. Испытания могут продолжаться довольно долго. Для полимерных материалов ползучесть, как правило, весьма значительна и при нормальных температурах.

Результаты испытания на ползучесть могут быть представлены графиком деформации в зависимости от времени при определенном напряжении до разрыва образца в какой-то момент времени (см. Разрывное напряжение, Гл. 1) или, в частности для по-

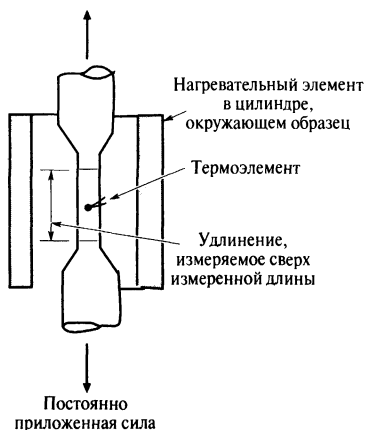


Рис. 2.1. Испытание материала на ползучесть

лимерных материалов, изохронным графиком напряжение — деформация (см. Модуль ползучести, Гл. 1), или характеристикой модуля ползучести (см. Гл. 1).

Испытание на усталость

Различные виды испытания на усталость имитируют изменения напряжений, которым подвергаются материалы различных деталей, когда они находятся в эксплуатации. Изгибно-нагрузочная машина, например, применяется для изгибания образца относительно точки опоры поочередно в двух направлениях (Рис. 2.2а), тогда как машина для испытания на усталость при скручивании свивает его поочередно в одном направлении и затем в противоположном (Рис. 2.2б). Третий тип машины используется для проведения чередующихся операций растяжения и сжатия при прямом напряжении на образец (Рис. 2.2в). Испытания могут проводиться с механическим напряжением, которое периодически изменяется от нуля в положительном и отрицательном направлениях (Рис. 2.2г), повторяется от нуля до максимального значения (Рис. 2.2д) или изменяется в обоих направлениях около некоторой величины, не достигая нуля за все время испытания (Рис. 2.2е). Цель испытания: подвергнуть материал типичному напряжению, при котором он будет эксплуатироваться.

Результаты испытания на усталость могут быть выражены в виде графика S/N , характеристик предельной усталости или пределом долговечности для N циклов (см. Гл. 1).

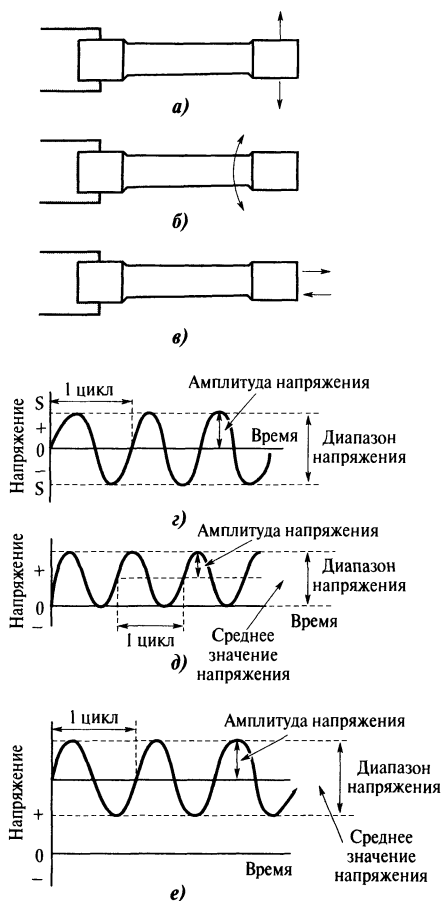


Рис. 2.2. Испытание на усталость

Прокаливаемость

Прокаливаемость измеряется при реакции стандартного образца для испытания на стандартное испытание, называемое испытанием Джоменни. Оно включает в себя нагрев стального образца до состояния аустенизации, выдержку в вертикальном положении и закалку его нижнего конца с помощью струи воды (Рис. 2.3). Это метод закалки при различных скоростях охлаждения по длине образца. Когда образец охлажден после закалки,

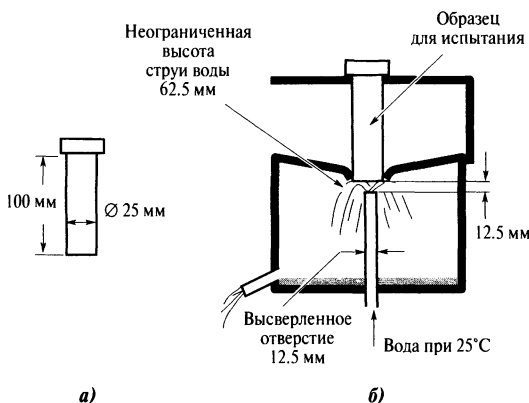


Рис. 2.3. Испытание Джоменн:
 а — образец для испытания;
 б — аппаратура для испытания.

плоскую часть его вдоль одной стороны шлифуют на глубину около 0.4 мм и проводят измерения твердости по длине образца. Важным моментом испытания Джоменн является не то, что измеряется твердость в разных точках по длине образца, а то, что твердость определяется при различных скоростях охлаждения, так как каждой точке по длине образца соответствует своя скорость охлаждения (**Рис. 2.4**). Если скорости охлаждения известны в точках как на поверхности, так и внутри образца стали, то результаты испытания Джоменн могут быть использованы для индикации твердости в этих точках.



Рис. 2.4. Скорости охлаждения на различных расстояниях от закаливаемого конца образца для испытания Джоменн

Измерение твердости

Большинство обычных методов измерения твердости металлов включает стандартный индентор, вдавливаемый в поверхность материала. Измерения, связанные с углублением на поверхности, принимают как измерения твердости материалов, особенно металлов. Испытания Бринелля, Виккерса и Роквелла являются наиболее серьезными. (См. Испытания Бринелля, Виккерса и Роквелла в Гл. 1.)

В испытании Бринелля твердость определяют надавливанием стального шара с заданной силой в течение 10...15 с на поверхность материала. Сняв нагрузку и отведя шар от образца, измеряют диаметр углубления. Число твердости Бринелля, обычно указываемое как HB, получается при делении величины прикладываемой силы на площадь сферического углубления. Эта площадь может быть вычислена или взята из таблиц, в которых она дана в зависимости от диаметра шара и диаметра углубления:

$$\text{твердость} = \frac{\text{приложенная сила}}{\text{площадь сферической поверхности от индентора}}.$$

Размерность площади дается в мм², а силы — в кгс (1 кгс = 9.8 Н). Диаметр D применяемого шара и величина прикладываемой силы F , связанные соотношением F/D^2 , дают значения 1, 5, 10 или 30; диаметры шаров бывают 1, 2, 5 или 10 мм. В принципе равным значениям F/D^2 будут соответствовать равные значения твердости независимо от диаметра применяемого шара.

Испытание Бринелля не может применяться к очень мягким или очень твердым материалам. В первом случае размер углубления будет равен диаметру шара, а во втором — углубления либо не будет, либо оно будет настолько малым, что невозможно будет провести на нем измерения. Если измерения не были эффективны при толщине испытуемого образца, то толщина материалов, подвергающихся испытанию, должна быть по крайней мере в десять раз больше углубления.

В испытании Виккерса употребляется алмазный резец, который прижимается к поверхности материала на время от 10 до 15 с. В результате образуется отпечаток квадратной формы. После снятия нагрузки и отвода резца от поверхности материала измеряются диагонали углубления для определения площади поверхности отпечатка. Число твердости по Виккерсу, указываемое как HV, получается при делении величины прикладываемой силы на площадь поверхности углубления. Площадь поверхности может быть рассчитана. Предполагается, что углубление имеет форму правильной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине 136°. Это угол вершины алмазно-

го резца. При желании можно пользоваться таблицами отношения размеров диагоналей к площади.

Испытание Виккерса¹ более точно по сравнению с испытанием Бринелля, так как диагонали квадрата измеряются с меньшей ошибкой, чем диаметр круга. С другой стороны, его применение имеет некоторые ограничения по сравнению с испытанием Бринелля.

В испытании Роквелла в качестве индентора употребляется алмазный конус или закаленный стальной шар. При контакте с поверхностью материала прикладывается сила давления индентора в 90.8 Н. Затем добавляется дополнительная сила и происходит увеличение проникновения индентора в глубь материала. После этого дополнительная сила снимается и уменьшается глубина проникновения индентора из-за не совсем пластической деформации материала. Определяется разность между конечной глубиной проникновения индентора в материал и глубиной до приложения дополнительной силы. Это остаточное увеличение в проникновении (e) индентора обусловлено дополнительной силой:

$$\text{твердость} = E - e ,$$

где E — константа, определяемая по форме индентора. Для конусного алмазного индентора $E = 100$, для стального шара $E = 130$.

Шкалы Роквелла даются для определенного индентора и прикладываемой дополнительной силы. В Табл. 2.1 приведены шкалы и типы используемых материалов, с которыми проводится испытание Роквелла. Что касается результатов испытания Роквелла, обозначаемых как HR, то шкала помечает их буквами при оценке. Шкалы В и С, как правило, применяются для металлов.

Табл. 2.1. Шкалы Роквелла и типичные применения

Шкала	Индентор	Сила [кН]	Типичные применения
A	Алмаз	0.59	Тонкая сталь и поверхностно цементированная сталь
B	Шар Ø 1.588 мм	0.98	Медные сплавы, алюминиевые сплавы, мягкие стали
C	Алмаз	1.47	Сталь, твердые литейные чугуны, глубоко цементированная сталь
D	Алмаз	0.98	Тонкая сталь и среднецементированная сталь
E	Шар Ø 3.175 мм	0.98	Литейный чугун, алюминиевые, магниевые и подшипниковые сплавы
F	Шар Ø 1.588 мм	0.59	Отожженные медные сплавы, мягкие тонколистовые металлы, латунь
G	Шар Ø 1.588 мм	1.47	Ковкие чугуны, пушечные бронзы, бронзы, медно-никелевые сплавы
H	Шар Ø 3.175 мм	0.59	Алюминий, свинец, цинк
K	Шар Ø 3.175 мм	1.47	Алюминий и магниевые сплавы
L	Шар Ø 6.350 мм	0.59	Пластмассы

¹ Применяется для измерения твердости очень твердых материалов. (Прим. ред.)

Табл. 2.1 (окончание)

Шкала	Индентор	Сила [кН]	Типичные применения
M	Шар Ø 6.350 мм	0.98	То же
P	Шар Ø 6.350 мм	1.47	—
R	Шар Ø 12.70 мм	0.59	Пластмассы
S	Шар Ø 12.70 мм	0.98	—
V	Шар Ø 12.70 мм	1.47	—

Для большинства обычных инденторов в испытании Роквелла размер проникновения лучше иметь малым. Это локализует изменение структуры, так как состав может влиять на результаты испытания. Однако в отличие от испытаний Бринелля и Виккерса здесь не требуются полированные поверхности для точных измерений.

Стандартное испытание Роквелла не может применяться к тонколистовому материалу. Тем не менее существует вариант этого испытания, известный как испытание поверхностной твердости Роквелла. Чем больше прикладываемая сила и глубина проникновения, определенная более чувствительным прибором, тем меньше может быть воздействие индентора на материал. При этом взамен начальной силы в 90.8 Н применяется сила в 29.4 Н. В Табл. 2.2 перечислены шкалы для этих испытаний.

Табл. 2.2. Шкалы Роквелла для испытания поверхностной твердости тонколистового материала

Шкала	Индентор	Прикладываемая сила [кН]
15-N	Алмаз	0.14
30-N	То же	0.29
45-N	То же	0.44
15-T	Шар Ø 1.588 мм	0.14
30-T	То же	0.29
45-T	То же	0.44

Испытания Бринелля, Виккерса и Роквелла могут применяться к полимерным материалам. Испытание Роквелла предпочтительнее, так как измерение проникновения в глубь материала удобнее, чем проникновения по площади поверхности, и оно употребляется более широко. Шкала R является наиболее часто используемой шкалой.

Дюрометр Шора для измерения твердости полимеров и эластомеров дает значения твердости по числовой шкале Шора. Для шкалы А усеченный конус индентора придавливается к поверхности материала при нагрузке в 0.8 Н. Измеряется глубина проникновения индентора. Это может быть сделано немедленно

при приложенной нагрузке, а затем при нагрузке, изменяющейся во времени. Для шкалы D применяется индентор с круглым кончиком конуса, нагрузка 44.5 Н.

В испытании Мооса твердость оценивается по сопротивлению материала царапанию. За эталоны шкалы Мооса приняты 10 сортов минералов: каждый может царапать предшествующий ему в шкале материал, но не будет царапать следующий за ним.

Материалы: 1 — тальк; 2 — гипс; 3 — кальциевый шпат; 4 — флюорит; 5 — апатит; 6 — полевой шпат; 7 — кварц; 8 — топаз; 9 — корунд; 10 — алмаз.

Твердость материала по Моосу при испытании на единицу меньше номера того минерала, который царапал его.

На Рис. 2.5 показан основной диапазон значений твердости по Виккерсу, Бринеллю, Роквеллу и Моосу. Это приблизительная связь между значениями твердости и пределами прочности на растяжение. Так, для отожженных сталей предел прочности на растяжение в МПа ($\text{МН}\cdot\text{м}^{-2}$) примерно равен 3.54 значения твердости по Бринеллю, а для закаленных и отпущенных сталей — 3.24. Для латуни коэффициент примерно равен 5.6, а для алюминиевых сплавов около 4.2.

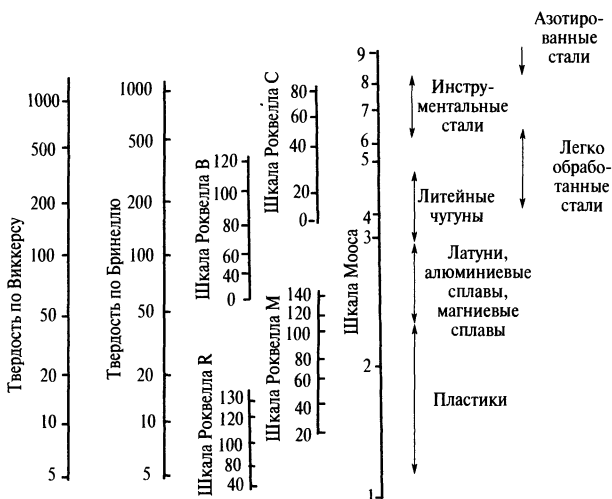


Рис. 2.5. Шкалы твердости и ее типичные значения

Испытание на удар

Есть два основных вида испытаний на удар: Изода и Шарпи (см. Испытания Изода и Шарпи, Гл. 1). Оба испытания включают похожие типы измерений, но различные по форме образцы. Оба имеют маятник, движущийся вниз от определенной высоты до удара по образцу (Рис. 2.6). Высота, до которой маятник поднимается после поражения и перелома образца, определяет измеряемую энергию, израсходованную на разрушение. Если энергия не использована, то маятник откатнется на ту же самую высоту, которая была у него до старта. Чем больше энергии затрачено на перелом образца, тем ниже высота, до которой поднимется маятник. Американские и британские технические условия требуют применения стандартных образцов для испытания.

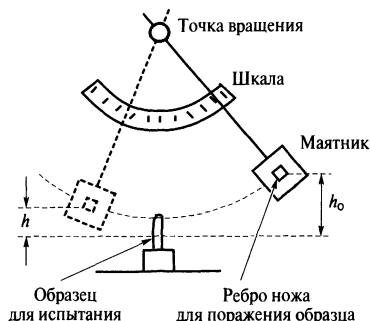


Рис. 2.6. Принцип действия испытания на удар

В испытании Изода измеряется энергия, поглощенная консолью при переломе образца для испытания (Рис. 2.7). Удар производится по лицевой стороне образца на фиксированной высоте. На этой же стороне ниже сделана зарубка. Образцы для испытания из металлов по британским стандартам имеют в сечении квадрат со стороной 10 мм или круг $\varnothing 11.4$ мм. На Рис. 2.8 детально показан образец для испытания с квадратным сечением в 10 мм. Для полимерных материалов стандартные образцы для испытания имеют квадрат со стороной 12.7 мм (Рис. 2.9) или от 6.4 до 12.7 мм в зависимости от толщины испытуемого материала. Металлические образцы для испытания маятник поражает со скоростью $3...4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, полимерные материалы — со скоростью $2.44 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

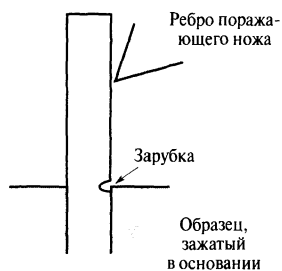


Рис. 2.7. Схема испытания образца по Изоду

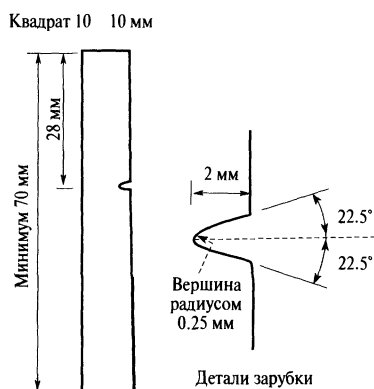


Рис. 2.8. Стандартный металлический образец для испытания по Изоду

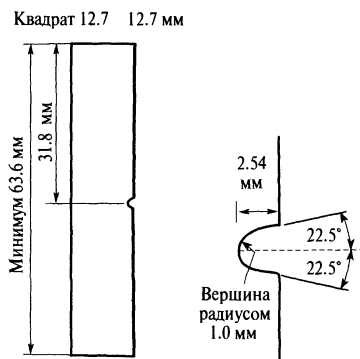


Рис. 2.9. Стандартный полимерный образец для испытания по Изоду

В испытании Шарпи измеряется энергия, поглощенная бруском при переломе образца для испытания (**Рис. 2.10**).

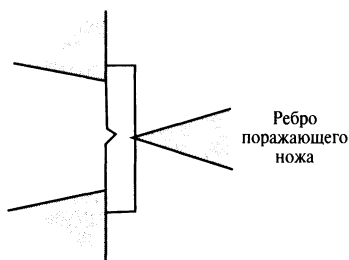


Рис. 2.10. Форма образца для испытания по Шарпи

Образец опирается на оба конца и имеет зарубку в середине. Зарубка нанесена на его лицевой стороне непосредственно напротив места, в которое попадает маятник. Британский стандарт предписывает для испытания металлов образец квадратного сечения со стороной 10 мм и длиной 55 мм. На **Рис. 2.11** показаны детали такого стандартного образца и три возможные формы зарубки.

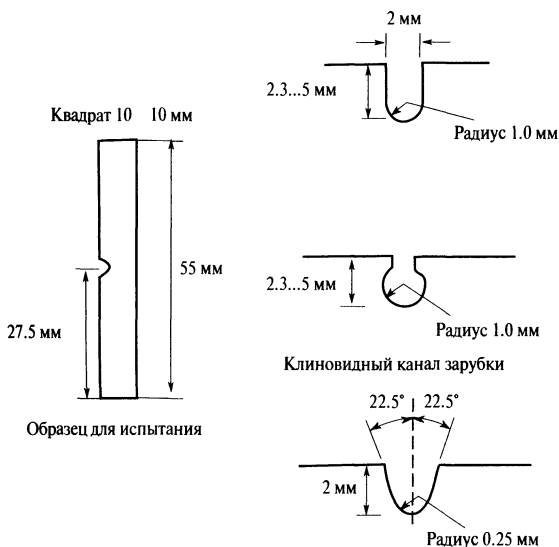


Рис. 2.11. Стандартный металлический образец для испытания по Шарпи

Нельзя сравнивать результаты, полученные с разными формами зарубок, так как для адекватного сравнения результатов испытаний на металлах должна применяться зарубка одного типа. Образцы для испытания полимерных материалов используют с зарубками и без них. В случае отлитых в форму полимерных материалов стандартный образец имеет длину 120 мм, ширину 15 мм и толщину 10 мм. С тонкостенными полимерными материалами применяются образцы другой ширины и толщины. Зарубка наносится вальцовкой желобка поперек одной поверхности. Желобок имеет ширину 2 мм и радиус меньше 0.2 мм при вершинах основания и стенках желобка. Металлические образцы для испытания маятник поражает со скоростью $3 \dots 5.5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, образцы из полимерных материалов — $2.9 \dots 3.8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Результаты испытания на удар определяются не только характеристикой типа испытания, т.е. Изода или Шарпи, но и формой применяемой зарубки. В случае металлов результаты испытания выражают в количестве энергии, поглощенной образцом при переломе. Для полимерных материалов результаты испытания часто указывают в виде поглощенной энергии, деленной на площадь поперечного сечения образца позади зарубки, если она у него имеется.

Испытание на растяжение

При испытании на растяжение, когда растяжение производится силой, достаточной для вытягивания с постоянной скоростью образца стандартных размеров, удлинение образца измеряется прибором для измерения удлинения — экстензометром. Следует применять образцы стандартного вида и размеров, для того чтобы исключить какие-либо погрешности в данных, полученных при испытании, обусловленные различными конфигурациями образцов для испытания. На **Рис. 2.12** показаны формы двух образцов для испытания: круглый (**а**) и плоский (**б**), которые применяются в испытаниях на растяжение по американскому стандарту. Размеры таких стандартных образцов даны в **Табл. 2.3**. Эти формы применимы ко всем металлам, кроме отливок из литейного чугуна. Важным отличительным признаком размеров является радиус r , задаваемый для буртиков образца. Отклонения в радиусе могут влиять на данные, полученные при испытании.

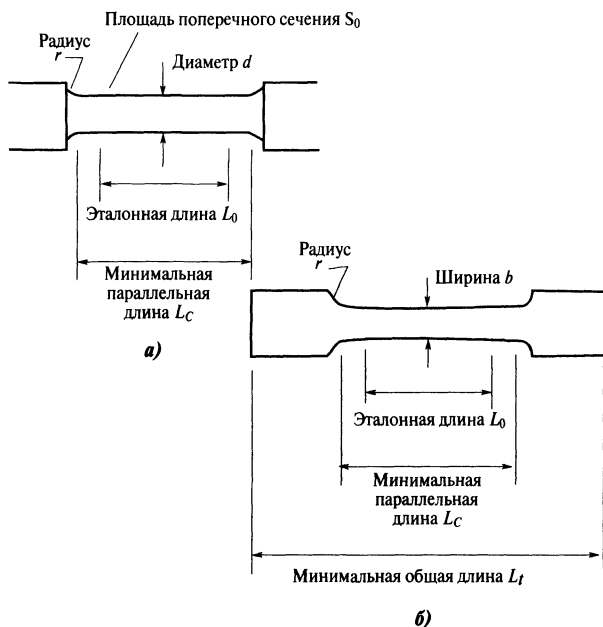


Рис. 2.12. Образцы для испытания на растяжение

Табл. 2.3. Размеры образцов для испытания на растяжение по американскому стандарту

Плоские образцы для испытания				
b [мм]	L_0 [мм]	L_c [мм]	L_t [мм]	r [мм]
40	200	225	450	25
12.5	50	60	200	13
6.25	25	32	100	6
Круглые образцы для испытания				
d [мм]	L_0 [мм]	L_c [мм]	r [мм]	
12.50	50	60	10	
8.75	35	45	6	
6.25	25	32	5	
4.00	16	20	4	
2.50	10	16	2	

Примечание:

Длина $L_0 = 4 d$.

По европейским стандартам пропорциональные образцы для испытания на растяжение подчиняются соотношению

$$L_0 = k\sqrt{S_0},$$

где S_0 — площадь поперечного сечения образца. Поперечное сечение может быть круглым, квадратным, прямоугольным, кольцеобразным или иной формы. Коэффициент k равен 5.65. Если площадь поперечного сечения мала, то может применяться более высокое значение $k = 11.3$. Для непропорциональных образцов при испытаниях листового материала употребляется узкая полоска или плоская толщиной от 0.1 до 0.3 мм:

Табл. 2.4. Размеры образцов для испытания по европейскому стандарту

Тип образца для испытания	Ширина b [мм]	L_0 [мм]	L_c [мм]	L_t [мм]
1	12.5±0.150	75	87.5	—
2	20±1	80	120	140

При испытаниях тонколистового и полосового проката с толщиной, равной 3 мм или более, используются следующие соотношения:

для образцов круглого сечения

$$L_c \geq L_0 = d/2;$$

для образцов призматического сечения

$$L_c \geq L_0 = 1.5\sqrt{S_0};$$

для пропорциональных образцов для испытания

$$L_0 = 5.65\sqrt{S_0}.$$

Эти формулы дают для образцов круглого сечения $L_0 = 5d$. Данные для таких образцов см. в **Табл. 2.5, 2.6**.

Табл. 2.5. Размеры круглых образцов для испытания по европейскому стандарту

d [мм]	S_0 [мм ²]	L_0 [мм]	L_c [мм]
20±0.150	314.2	100±1.0	110
10±0.075	78.5	50±0.5	55
5±0.040	19.6	25±0.25	28

Примечание:

$$L_t > L_c = 2d.$$

Табл. 2.6. Скорость напряжения для образцов для испытания по европейскому стандарту

Модуль растяжения [ГПа]	Скорость [МПа/с]	
	минимальная	максимальная
<150	2	10
> 150	6	30

Глава третья

Железные сплавы

3.1. МАТЕРИАЛЫ

Сплавы

Термин «железоуглеродистые сплавы» применяется для сплавов железа с углеродом и классифицируются по содержанию в них углерода, как показано в Табл. 3.1. Чистое железо¹ — относительно мягкий материал, и его трудно использовать в каких-либо коммерческих целях.

Табл. 3.1. Сплавы железа с углеродом

Материал	Процентное содержание углерода
Сталь	0.05...2.14
Ковкий чугун	2.4...2.9
Литейный чугун	2.2...4.3

Термин «углеродистая сталь» употребляется для таких сталей, у которых, по существу, присутствуют только железо и углерод, а термин «легированная сталь» — для сплава, в который входят другие элементы. Нержавеющие стали относятся к сплавам, имеющим высокое процентное содержание хрома, а следовательно, высокое сопротивление коррозии. Термин «инструментальная сталь» определяет углеродистые стали или сплавы, которые были закалены и подвергнуты отпуску и обладают необходимыми свойствами для применения их в качестве инструментального материала.

Далее перечислены различные типы железоуглеродистых сплавов.

Легированные стали

Термин «низколегированная сталь» используется для сплавов сталей, имеющих легирующие добавки меньше 2%, «среднелегированная сталь» содержит добавки от 2% до 10%, а «высоколегированная сталь» имеет добавки выше 10%. Во всех случаях количество углерода в сплавах меньше 1%. К сталям добавляются такие простые элементы, как алюминий, хром, кобальт,

¹ Содержит 99 9917% Fe, имеет твердость HB 490 МПа, плотность 7.874 г·м⁻³.
(Прим. ред.)

медь, свинец, марганец, молибден, никель, фосфор, кремний, сера, титан, вольфрам, ниобий, бор и ванадий.

Имеется целый ряд технологических способов, при использовании которых легирующие элементы могут влиять на свойства стали. Основные из них следующие: 1. Условие затвердевания стали. 2. Форма карбидов. 3. Форма графита. 4. Стабильность аустенита или железа. 5. Изменение критической скорости охлаждения. 6. Улучшение коррозионного сопротивления. 7. Изменение условий роста зерна. 8. Улучшение обрабатываемости на станках.

(См. Система кодирования сталей, Составы легированных сталей, Параметры ползучести, Обрабатываемость на станках, Сопротивление окислению, Механические свойства легированных сталей, Термические свойства, Применение легированных сталей.)

Углеродистые стали

Как уже отмечалось, в углеродистых сталях присутствуют только железо и углерод. Такие стали с содержанием углерода меньше 0.80% называются доэвтектоидными, с содержанием углерода между 0.80% и 2.14% — заэвтектоидными относительно эвтектоидного состава 0.8% С. Стали с содержанием углерода между 0.10% и 0.25% обозначают как мягкие, между 0.20% и 0.50% — как среднеуглеродистые, а при содержании углерода более чем 0.50% — как стали с повышенным содержанием углерода. Равновесная диаграмма состояния железо—углерод показана на **Рис. 3.1**.

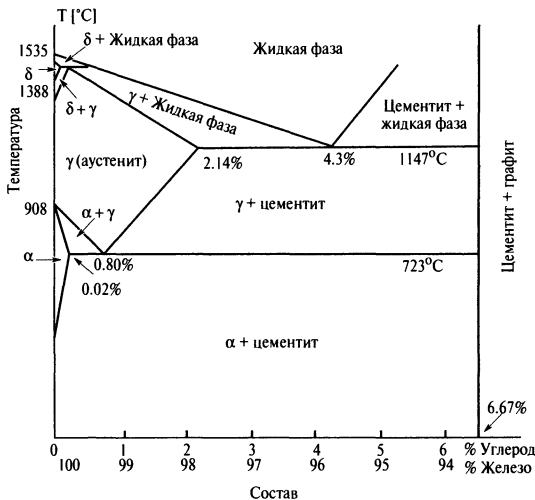


Рис. 3.1. Равновесная диаграмма состояния железо—углерод

(См. Система кодирования сталей, Составы углеродистых сталей, Параметры ползучести, Твердость, Ударные свойства, Обрабатываемость на станках, Механические свойства углеродистых сталей, Термические свойства, Применение углеродистых сталей.)

Литейные чугуны

Литейные чугуны могут быть разделены на 5 основных категорий:

1. Серые чугуны.

Содержат углерод (графит) в пластинчатой форме. Большинство типов серого чугуна имеют графит в перлитовой структуре.

2. Пластичные чугуны, или чугуны с шаровидным графитом.

Содержат графит в форме шаровидных включений, образовавшихся во время литья при добавлении к расплавам магния или церия. Материал имеет большую пластичность, чем серые чугуны.

3. Белые чугуны¹.

В них нет графита, содержат твердый цементит.

4. Ковкие чугуны.

Получаются при тепловой обработке белых чугунов. Их иногда разделяют на две категории, ферритовый и перлитовый, или рассматривают как три группы: белосердечный, черносердечный и перлитовый. Ковкие чугуны имеют лучшую тягучесть, чем серые литейные чугуны, и это, в сочетании с их высоким пределом на растяжение, способствует их широкому применению.

5. Высоколегированные чугуны.

Сплавы, которые содержат соответствующие добавки таких элементов, как кремний, хром, никель или алюминий. Их можно рассматривать как две категории чугунов: безграфитные белые чугуны и чугуны, содержащие графит. Безграфитные белые чугуны имеют очень высокое сопротивление истиранию. В содержащих графит чугунах он находится в форме чешуек или шаровидных включений, и к ним применимы определения теплового сопротивления серых и пластичных чугунов. Такие типы чугунов имеют весьма высокое коррозионное сопротивление и называются коррозионностойкими.

(См. Система кодирования литейных чугунов, Составы литейных чугунов, Ударные свойства, Механические свойства литейных чугунов, Тепловые свойства, Применение литейных чугунов.)

¹ Название получили за специфический белый (светлый) блеск в изломе.
(Прим ред.)

Автоматные стали

Эти стали имеют улучшенную обрабатываемость на станках (резанием) как следствие добавки серы, свинца, селена и/или кальция. Такие стали называются соответственно сернистыми, свинцовосодержащими, селеносодержащими и/или кальцийсодержащими автоматными. Фосфор может тоже улучшать обрабатываемость стали, способствуя образованию самоломающей стружки во время механической обработки.

(См. Кодирование сталей, Составы автоматных сталей, Обрабатываемость на станках, Механические свойства автоматных сталей.)

Мартенситно-стареющие высокопрочные стали

Мартенситно-стареющие высоколегированные стали обладают значительной прочностью, которая может быть увеличена выделением вторичных фаз (преципитатов). Это сплавы железа с никелем (8...22%), иногда с кобальтом и очень малым содержанием углерода (меньше 0.03%). Для старения в мартенсите сплавы легируют титаном, молибденом, вольфрамом. Никель и кобальт уменьшают растворимость легирующих добавок в α -железе (Fe_α), что приводит к упрочнению при старении и повышает сопротивление хрупкому разрушению. Содержание углерода небольшое, поскольку относительно высокое содержание никеля приводит к образованию графита в структуре, что может вызвать снижение прочности и твердости стали.

Типичная тепловая обработка состоит в нагреве стали выше 830°C и охлаждении на воздухе. В результате получается безуглеродистый мартенсит. Последующая механическая обработка и деформация стали приводят к увеличению ее твердости путем выделения преципитатов при нагреве выше 500°C в течение двух или трех часов. До обработки материал имеет типичный предел прочности на растяжение около 700 МПа, или $MH \cdot m^{-2}$, и твердость 300 HV, в то время как после обработки соответственно около 1700 МПа, или $MH \cdot m^{-2}$, и 550 HV.

(См. Составы мартенситно-стареющих сталей и Механические свойства мартенситно-стареющих сталей.)

Нержавеющие стали

Есть несколько типов нержавеющих сталей: ферритные, мартенситные и аустенитные. В их состав входит хром, повышающий сопротивление коррозии.

Ферритные стали содержат хрома 12...25% и меньше 0.1% углерода. Такие стали после охлаждения жидкого состояния только изменяются к ферриту и таким образом, поскольку не образу-

ется аустенит, затвердевают при закалке и не могут дать мартенсит. Тем не менее они могут твердеть при холодной обработке.

Мартенситные стали содержат хрома 12...18% и углерода 0.1...1.2%. После охлаждения жидкого состояния они образуют аустенит и, таким образом, могут твердеть путем закалки до заданного состояния структуры мартенсита с частицами карбида хрома. Мартенситные стали подразделяются на три группы: нержавеющие чугуны, нержавеющие стали и высокохромистые стали. Нержавеющие чугуны содержат около 0.1% углерода и 12...13% хрома, нержавеющие стали — 0.25...0.30% углерода и 11...13% хрома, а высокохромистые стали — 0.05...0.15% углерода, 16...18% хрома и 2% никеля.

Аустенитные стали содержат хрома 16...26%, более 6% никеля и очень мало углерода, 0.1% или менее. Такие сплавы полностью аустенитные при всех температурах. Они могут твердеть и при закалке, и при холодной обработке.

Во время сварки у нержавеющих сталей могут происходить структурные изменения, которые снижают коррозионную стойкость материала. Этот эффект, известный как разрушение сварного соединения, является результатом выделения преципитатов хрома, богатого карбидами на границах зерен. Единственный путь к преодолению его заключается в стабилизации стали путем добавки к ней других элементов, таких как ниобий и титан, которые имеют большее сходство с углеродом, чем хром, и таким образом формируются карбиды во включениях преципитатов в хrome.

(См. Система кодирования нержавеющих сталей, Составы нержавеющих сталей, Параметры ползучести, Соппротивление окислению, Механические свойства нержавеющих сталей, Тепловые свойства, Применение нержавеющих сталей.)

Инструментальные стали

Не имеющие примесей углеродистые стали обладают твердостью благодаря высокому содержанию в них углерода. Эти стали нуждаются в закалке в холодной воде для получения максимальной твердости. К сожалению, они немного хрупкие и им не хватает пластичности. Там, где требуется материал с умеренной пластичностью, может применяться углеродистая сталь с содержанием углерода около 0.7%. А там, где твердость является основным требованием, а ударная вязкость не важна, могут применяться углеродистые стали с содержанием углерода около 1.2%.

Сплавы инструментальных сталей делаются более твердыми и более износостойкими при добавлении к ним элементов, способствующих появлению стойких твердых карбидов. В качестве таких элементов применяются марганец, хром, молибден, вольф-

рам и ванадий. Марганцевая инструментальная сталь содержит примерно 0.7...1% углерода и 1.0...2.0% марганца. Такая сталь закалена в масле от температуры 780...800°C и затем отпущена. Марганец может быть частично заменен хромом, что только улучшает вязкость стали. Сопротивление ударной нагрузке у инструментальных сталей предназначается для улучшения вязкости при воздействии на них ударами. Для этого необходимо мелкое зерно, которое получают при добавлении ванадия. Инструментальные стали, рассчитанные на применение в процессах с деформированием в горячем состоянии, требуют сохранения своих свойств при рабочих температурах. Хром и вольфрам, если они добавлены к сталям в форме карбидов, которые имеют и стойкость, и твердость, сохраняют свойства стали до высоких температур.

Стали, используемые для обработки с высокой скоростью на станках, называются быстрорежущими инструментальными сталями. В результате обработки материал нагревается. Такие стали не должны отпускаться при высоких температурах, которые появляются во время обработки на станках. Считается, что комбинация вольфрама и хрома в виде карбидов, сформированных при этих элементах, дает требуемые свойства стали. Они будут особенно прочны при высоких температурах.

(См. Кодирование инструментальных сталей, Составы инструментальных сталей, Свойства инструментальных сталей, Применение инструментальных сталей.)

3.2. КОДЫ И СОСТАВЫ СПЛАВОВ

Системы кодирования углеродистых сталей

См. Система кодирования сталей.

Системы кодирования литейных чугунов

Коды, принятые для литейных чугунов, относятся к их механическим свойствам. Так, серые литейные чугуны, согласно британским стандартам (BS), имеют 7 марок: 150, 180, 220, 260, 300, 350 и 400. Это значения минимальных пределов прочности на растяжение в МПа, или $\text{MN}\cdot\text{м}^{-2}$, или $\text{N}\cdot\text{мм}^{-2}$ для контрольных образцов диаметром в 30 мм. Американское общество по испытанию материалов (ASTM) использует значения минимальных напряжений в $\text{k.s.i. (klb}\cdot\text{in}^{-2})$ [кфунт·дюйм⁻²].

Согласно британским стандартам ковкие литейные чугуны определяются буквами В, Р или А, что означает черносердечный, перлитовый или белосердечный; следующее за буквой число указывает минимальный требуемый предел прочности на растяжение в МПа, или $\text{MN}\cdot\text{м}^{-2}$ для размеров профилей проката меньше

15 мм, далее после косой черты число, обозначающее относительное удлинение в процентах. Так, для примера, В340/12 — черносердечный литейный чугун с минимальным пределом прочности на растяжение в 340 МПа и относительным удлинением в 12%. В американских стандартах технические условия на ковкие литейные чугуны даны двумя числами: первое — для обозначения предела текучести в 10^2 p.s.i. [фунт силы·дюйм⁻²] и второе — относительного удлинения, выраженного в процентах.

Тягучие чугуны, согласно британским стандартам, обозначаются двумя числами: первое указывает минимальный предел прочности на растяжение в МПа, или МН·м⁻², или Н·мм⁻², а второе — относительное удлинение в процентах, например 420/12. В американских стандартах тягучие чугуны определяются тремя числами: первое представляет минимальный предел прочности на растяжение в k.s.i. [кфунт·дюйм⁻²], второе — предел текучести в k.s.i. и третье — относительное удлинение в процентах, например 60—40—18.

Сплавы литейных чугунов, согласно британским стандартам, для безграфитных белых чугунов имеют номера 1, 2 или 3 для указания типа чугуна или сплава (1 — низколегированный, 2 — хромоникелевый, 3 — высокохромированный), следующая за цифрой буква показывает характеристику сплава. Для содержащих графит чугунов, аустенитных чугунов, буквой L обозначается чугун с чешуйками графита, а S — чугун с частицами сфероидального графита. Далее следуют номера и буквы, обозначающие в процентах состав основных элементов сплавов. Высококремниевый феррит и содержащие графит сплавы определяются по основным сплавляемым элементам и их содержанию в процентах, например Si10.

Системы кодирования нержавеющей сталей

Британская система стандартов кодирования этих сталей связана с системой кодирования Американского института черной металлургии (AISI). В основном первые три цифры британской системы совпадают с тремя цифрами, используемыми американской системой. В британской системе, кроме того, за этими тремя цифрами следует буква S, а также два числа в интервале от 11 до 99. Это обозначения вариантов стали, специфицированные по первым трем числам, которые находятся в интервале 300...499. (См. Составы нержавеющей сталей для прямых эквивалентов.)

Американская система кодирования сталей

В системе кодов Американского института черной металлургии—Общества инженеров автомобильного транспорта (AISI—SAE) применяется кодирование четырьмя цифрами. Первые две

цифры обозначают тип стали: с помощью первой цифры указывается группирующий основной сплавленный элемент, а вторая в некоторой степени служит указанием на приблизительное процентное содержание этого элемента. Третья и четвертая цифры показывают содержание углерода, умноженное на коэффициент 100. В Табл. 3.2 в общих чертах дана система кодов AISI—SAE.

Табл. 3.2. Система кодов Американского института черной металлургии—Общества инженеров автомобильного транспорта (AISI-SAE)

Номер серии	Тип стали	Примеры разбиения на серии
1000	Углеродистая	10XX — легированная углеродом с максимумом 1% марганца
		11XX — резульфицированная
		12XX — резульфицированная и рефосфорированная
		15XX — не легированная углеродом, 1.00...1.65% Mn
	Марганцевые	13XX — 1.75% Mn
2000	Никелевые	23XX — 3.5% Ni
		25XX — 5.0% Ni
3000	Никель-хромистые	31XX — 1.25% Ni, 0.65 или 0.80% Cr
		32XX — 1.75% Ni, 1.07% Cr
		33XX — 3.50% Ni, 1.50 или 1.57% Cr
		34XX — 3.00% Ni, 0.77% Cr
4000	Молибденовые	40XX — 0.20 или 0.25% Mo 44XX — 0.40 или 0.52% Mo
	Хромомолибденовые	41XX — 0.50, 0.80 или 0.95% Cr, 0.12, 0.20, 0.25 или 0.30% Mo
		43XX — 1.82% Ni, 0.50 или 0.80% Cr, 0.25% Mo
	Никель-хромомолибденовые	S47XX — 1.05% Ni, 0.45% Cr, 0.20 или 0.35% Mo
		46XX — 0.85 или 1.82% Ni, 0.20 или 0.25% Mo
		48XX — 3.5% Ni, 0.25% Mo
	Никель-молибденовые	
5000	Хромистые	50XX — 0.27, 0.40, 0.50 или 0.65% Cr
		51XX — 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00 или 1.05% Cr
6000	Хромованадиевые	61XX — 0.60, 0.80 или 0.95% Cr, минимум 0.10 или 0.15% V
7000	Вольфрамохромистые	72XX — 1.75% W, 0.75% Cr
8000	Никель-хромомолибденовые	81XX — 0.30% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo
		86XX — 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo
		87XX — 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo
		88XX — 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.35% Mo
9000	Марганцово-кремнистая	92XX — 1.40 или 2.00% Si, 0.65, 0.82 или 0.85% Mn, 0.00 или 0.65% Cr
		93XX — 3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo
	Никель-хромомолибденовая	94XX — 0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo
		97XX — 0.55% Ni, 0.20% Cr, 0.20% Mo
		98XX — 1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo

Для иллюстрации применения кодов **Табл. 3.2** рассмотрим сталь 1040. Первая цифра 1 указывает на серию — это углеродистая сталь. Номер 10 сообщает, что это нелегированная углеродистая сталь с содержанием марганца максимум 1.00%. Последняя пара цифр 40, следовательно, сталь содержит 0.40% углерода.

Есть также некоторые спецификации особых сталей, которые имеют модифицированные номера Общества инженеров автомобильного транспорта (SAE), включающие буквы между первой и второй парой цифр (**Табл. 3.3**).

Табл. 3.3. Кодирование основных сталей буквами, добавленными в код Общества инженеров автомобильного транспорта

Код	Значение букв
XXVXX	V — усиленные бором стали
XXLXX	L — свинцовые стали

В добавление к четырем цифрам Общество инженеров автомобильного транспорта дает дополнительную информацию о сталях и их сплавах при помощи буквенных приставок и окончаний (**Табл. 3.4**).

Табл. 3.4. Кодирование сталей и их сплавов буквенными приставками и окончаниями в кодах Общества инженеров автомобильного транспорта

Приставка/окончание	Значение приставок/окончаний
A	Сплав стали, изготовленный в кислой печи
B	Углеродистая сталь, изготовленная в печи Бессемера
C	Углеродистая сталь, изготовленная в основной мартеновской печи
D	Углеродистая сталь, изготовленная в кислой мартеновской печи
E	Изготовленная в электропечи
X	Отклонения состава от нормальных пределов
H (окончание)	Сталь будет оказывать влияние на условия прокаливаемости

Американское общество по испытанию материалов (ASTM) и Американское общество инженеров-механиков (ASME) издаю также стандарты сталей с нанесенным покрытием. Многие эти марки базируются на марках AISI—SAE. (См. Система кодирования нержавеющей сталей.)

Британская система кодирования сталей

В Великобритании стандартные коды для спецификации сталей заданы Британским институтом стандартов. Ниже следуют коды для рафинированных сталей.

1. Первые три цифры кода обозначают тип стали:

От 000 до 199	Углеродистые и углеродистомарганцевые типы; номер обозначает содержание марганца в процентах, умноженное на коэффициент 100
От 200 до 240	Автоматные стали; вторая и третья цифры обозначают приблизительное содержание серы в процентах, умноженное на 100
250	Кремнемарганцевые пружинные стали
От 300 до 499	Нержавеющие и окалиностойкие клапанные стали
От 500 до 999	Легированные стали

2. Четвертым символом является буква:

A	Сталь, поставляемая по ее химическому составу, определенному химическим анализом
H	Сталь, поставляемая по стандартам, исходя из ее закаливаемости
M	Сталь, поставляемая по стандартам, исходя из ее механических свойств
S	Сталь нержавеющая

3. Пятая и шестая цифры обозначают среднее содержание углерода в стали в процентах, умноженных на 100.

Для иллюстрации системы кодов, изложенной выше, рассмотрим сталь с кодом 070M20. Первые три цифры 070 находятся между 000 и 199, и, таким образом, сталь углеродистая или углеродистомарганцевого типа. Код 070 обозначает, что сталь содержит 0.70% марганца. Четвертый символ M, и следовательно, сталь поставляется по техническим условиям исходя из ее механических свойств. Пятая и шестая цифры 20, т.е. сталь содержит 0.20% углерода.

Первые три знака обозначают принадлежность к легированным сталям, подразделяющимся, как показано в Табл. 3.5, согласно основным легирующим элементам.

Табл. 3.5. Система кодов легированных сталей по британскому стандарту

Цифры	Основные легирующие элементы
500...519	Ni
520...539	Cr
540...549	Mo
550...569	V, Ti, Al, Nb
570...579	Si—Ni, Si—Cr, Si—Mo, Si—V
580...589	Mn—Si, Mn—Ni
590...599	Mn—Cr
600...609	Mn—Mo
610...619	Mn—V
620...629	Ni—Si, Ni—Mn
630...659	Ni—Cr
660...669	Ni—Mo
670...679	Ni—V, Ni—X
680...689	Cr—Si, Cr—Mn

Табл. 3.5 (окончание)

Цифры	Основные легирующие элементы
690...699	Cr—Ni
700...729	Cr—Mo
730...739	Cr—V
740...749	Cr—X
750...759	Mo—Cr, Mo—V, Mo—X
760...769	Si—Mn—Cr
770...779	Mn—Ni—Cr
780...789	Mn—Ni—Mo
790...799	—
800...839	Ni—Cr—Mo
840...849	Ni—Cr—V, Ni—Cr—X
850...859	Ni—Mo—V, Ni—Cr—X
860...869	—
870...879	Cr—Ni—Mo
880...889	—
890...899	Cr—Mo—V
900...909	Cr—Al—Mo
910...919	—
920...929	Si—Mn—Cr—Mo
930...939	—
940...949	Mn—Ni—Cr—Mo
950...969	—
970...979	Ni—Cr—Mo—V
980...999	—

Примечание:

Элементы, данные через тире, например Mo—Cr, являются основными легирующими элементами. Элементы или группы элементов, разделенные запятой, например Mo—Cr, Mo—V, Mo—X, имеют каждый в отдельности номер в спецификационном диапазоне знаков. Символ X — это некий средний элемент, иной, чем уже указанный в паспорте.

Прокомментируем пример из Табл. 3.5: 805M20 есть сплав Ni—Cr—Mo, первые три знака попадают внутрь диапазона 800...839.

Стали, как правило, имеют механические свойства, соответствующие техническим условиям. Это обычно предел прочности на растяжение в упрочненном и отпущенном состояниях. Для определения предела прочности на растяжение (Табл. 3.6) может использоваться код, обозначающий диапазон предела прочности на растяжение, который соответствовал нагруженному состоянию стали. Буква как бы указывает это состояние.

Табл. 3.6. Коды состояний стали

Код состояния	Диапазон предела прочности на растяжение (МПа, или МН·м ⁻²)
P	550...700
Q	629...770
R	700...850
S	770...930
T	850...1000
U	930...1080
V	1000...1150
W	1080...1240
X	1150...1300
Y	12400...1400
Z	1540 минимум

(См. Система кодирования нержавеющей сталей.)

Системы кодирования инструментальных сталей

Британское кодирование инструментальных сталей базируется на той же основе, что и кодирование Американского института черной металлургии (AISI); различие состоит в том, что британские коды получаются при добавлении к американским буквы В (Табл. 3.7).

Табл. 3.7. Американская (AISI) и британская (BS) системы кодирования инструментальных сталей

AISI	BS	Материал
W	BW	Инструментальная сталь, закаленная в воде
O	BO	Инструментальная сталь, закаленная в масле, для холодной обработки
A	AB	Среднелегированная, закаленная для холодной обработки
D	BD	Высокоуглеродистая и высокохромистая сталь для холодной обработки
H	BH	Сплав на основе хрома или вольфрама для горячей обработки
M	BM	Сплав на основе молибдена, быстрорежущая сталь
T	BT	Сплав на основе вольфрама, быстрорежущая сталь
S	BS	Ударостойкая инструментальная сталь
P	BP	Стали для пресс-форм
L	BL	Низколегированная инструментальная сталь для специальных применений
F	BF	Вольфрамоуглеродистые стали

Примечание:

Буквы кода инструментальной стали следуют перед номером, обозначающим маркировку состава стали.

Составы легированных сталей

В Табл. 3.8 и 3.9 даны составы обычно применяемых легированных сталей. В Табл. 3.8 даны составы в соответствии со спецификацией легированных сталей Американского института черной металлургии—Общества инженеров автомобильного транспорта и имеющиеся эквиваленты британских стандартов. В Табл. 3.9 приведены составы сталей в соответствии с британским стандартом (BS) и имеющиеся эквиваленты сталей Американского института черной металлургии (AISI).

Табл. 3.8. Составы обычно применяемых легированных сталей по спецификации Американского института черной металлургии—Общества инженеров автомобильного транспорта

AISI	BS	Среднее процентное содержание элемента					
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	Другие
Марганцевые стали							
1330	—	0.30	1.75	—	—	—	—
1340	—	0.40	1.75	—	—	—	—
Молибденовые стали							
4037	—	0.38	0.80	—	0.25	—	—
Хромомолибденовые стали							
4130	—	0.30	0.50	0.95	0.20	—	—
4140	708/9M40	0.40	0.88	0.95	0.20	—	—
Никель-хромомолибденовые стали							
4320	—	0.20	0.55	0.50	0.25	1.83	—
4340	817M40	0.40	0.70	0.80	0.25	1.83	—
Никель-молибденовые стали							
4620	—	0.19	0.53	—	0.25	1.83	—
4820	—	0.19	0.60	—	0.25	3.50	—
Хромистые стали							
5130	530A30	0.30	0.80	0.95	—	—	—
5140	530M40	0.40	0.80	0.80	—	—	—
5160	—	0.60	0.88	0.80	—	—	—
Хромованадиевые стали							
6150	735A50	0.50	0.80	0.95	—	—	0.15V
Никель-хромомолибденовые стали							
8620	805M20	0.20	0.75	0.50	0.20	0.55	—
8630	—	0.30	0.75	0.50	0.20	0.55	—
8640	—	0.40	0.88	0.50	0.20	0.55	—
8650	—	0.50	0.88	0.50	0.20	0.55	—
8660	—	0.60	0.88	0.50	0.20	0.55	—
Кремнистые стали							
9260	250A58	0.60	0.88	—	—	—	2.0Si

Примечание:

Большинство сталей содержит от 0.15 до 0.30% Si и менее 0.035% P и 0.040% S.

Табл. 3.9. Составы легированных сталей по британскому стандарту

BS	AISI	Среднее процентное содержание элемента					
		C	Mn	Cr	Mo	Ni	Другие
Марганцевые стали							
120M19	—	0.19	1.20	—	—	—	—
120M28	—	0.28	1.20	—	—	—	—
120M36	1039	0.36	1.20	—	—	—	—
150M19	—	0.19	1.50	—	—	—	—
150M28	—	0.28	1.50	—	—	—	—
150M36	1039	0.36	1.50	—	—	—	—
Кремнемарганцевые стали							
250A53	—	0.53	0.85	—	—	—	1.9 Si
250A58	9260	0.58	0.85	—	—	—	1.9 Si
Хромистые стали							
526M60	—	0.60	0.65	0.65	—	—	—
530M40	5140	0.40	0.75	1.05	—	—	—
Марганцево-молибденовые стали							
605M36	—	0.36	1.50	—	0.27	—	—
606M36	—	0.36	1.50	—	0.27	—	P < 0.06, 0.15...0.25 S
608M38	—	0.38	1.50	—	0.50	—	—
Никель-хромистые стали							
653M31	—	0.31	0.60	1.00	—	3.00	—
Хромолибденовые стали							
708M40	4137/40	0.40	0.70	0.90	0.20	—	—
709M40	4140	0.40	0.60	0.90	0.30	<0.40	—
722M24	—	0.24	0.45	3.00	0.55	—	—
Никель-хромолибденовые стали							
817M40	4340	0.40	0.55	1.20	0.30	1.50	—
826M40	—	0.40	0.55	0.65	0.50	2.55	—
835M30	—	0.30	0.55	1.25	0.27	4.10	—
Марганцево-никель-хромолибденовые стали							
945M38	—	0.38	1.40	0.50	0.20	0.75	—

Составы углеродистых сталей

В Табл. 3.10 и 3.11 приведены составы обычно применяемых углеродистых сталей. В Табл. 3.10 даны их составы в соответствии со спецификацией Американского института черной металлургии и имеющиеся эквиваленты составов британского стандарта. В Табл. 3.11 приведены составы в соответствии с британским стандартом и имеющиеся эквиваленты Американского института черной металлургии.

Табл. 3.10. Составы обычных углеродистых сталей по спецификации Американского института черной металлургии—Общества инженеров автомобильного транспорта

AISI	BS	Процентное содержание элемента	
		C	Mn
1006	—	0.08 макс	0.25...0.40
1010	—	0.08...0.13	0.30...0.60
1015	—	0.13...0.18	0.30...0.60
1020	070M20	0.18...0.23	0.30...0.60
1025	—	0.22...0.28	0.30...0.60
1030	—	0.28...0.34	0.60...0.90
1035	080M36	0.32...0.38	0.60...0.90
1040	080A40	0.37...0.44	0.60...0.90
1045	—	0.43...0.50	0.60...0.90
1050	—	0.48...0.55	0.60...0.90
1055	—	0.50...0.60	0.60...0.90
1060	060A62	0.55...0.66	0.60...0.90
1065	—	0.60...0.70	0.60...0.90
1070	—	0.65...0.75	0.60...0.90
1075	—	0.70...0.80	0.40...0.70
1080	—	0.75...0.88	0.60...0.90
1085	—	0.80...0.93	0.70...1.00
1090	—	0.85...0.98	0.60...0.90
1095	060A96	0.90...1.03	0.30...0.50

Примечание:

Максимальное содержание фосфора 0.040% и серы 0.05%.

Табл. 3.11. Составы углеродистых сталей по британскому стандарту

BS	AISI	Среднее процентное содержание элемента	
		C	Mn
070M20	1020	0.20	0.70
070M26	—	0.26	0.70
080M30	—	0.30	0.80
080M36	1035	0.36	0.80
080M40	1043	0.40	0.80
080M46	1043	0.46	0.80
080M50	—	0.50	0.80
070M56	—	0.55	0.70

Составы литейных чугунов

В Табл. 3.12 показаны составы различных типов нелегированных чугунов с основными присадками.

Табл. 3.12. *Типы нелегированных литейных чугунов с основными присадками*

Литейный чугун	Процентное содержание элемента				
	C	Si	Mn	S	P
Серый	2.5...4.0	1.0...3.0	0.25...1.00	0.02...0.25	0.05...1.00
Тягучий	3.0...4.0	1.8...2.8	0.10...1.00	0.03 макс	0.10 макс
Белый	1.8...3.6	0.5...1.9	0.25...0.80	0.06...0.20	0.06...0.18
Ковкий	2.0...2.6	1.1...1.6	0.20...1.00	0.04...0.18	0.18 макс

Присадки таких элементов, как никель, хром или молибден, в нелегированный белый литейный чугун могут изменять его перлитовую структуру к мартенситу, бейниту или аустениту, что часто приводит к получению износостойкого белого чугуна. Коррозионностойкие чугуны получают при высоком процентном содержании кремния, хрома или никеля. Жаростойкие серые и тягучие литейные чугуны получают, когда добавляют кремний, хром, никель, молибден или алюминий. В **Табл. 3.13** приведен подбор составов этих литейных чугунов.

Табл. 3.13. *Составы легированных литейных чугунов*

Материал	Состав присадок [%]
Износостойкие белые	
BS низколегированный, 1А, 1В, 1С	C 2.4...3.4, Si 0.5...1.5, Mn 0.2...0.8, Cr < 2.0
BS хромоникелевый, 2А-Е	C 2.7...3.6, Si 0.3...2.2, Mn 0.2...0.6, Mn 0.2...0.6, Ni 3.0...6.0, Cr 1.5...10.0
BS высокохромистый, 3А-Е	C 2.4...3.2, Si < 1.0, Mn 0.5...1.5, Cr 14.0...17.0, Mo < 3.0, Ni < 1.0, Cu < 1.2
Мартенситный хромоникелевый	C 3.00...3.60, Si 0.40...0.70, Mn 0.40...0.70, Cr 1.40...3.50, Ni 4.00...4.75, P < 0.40, S < 0.15.
Высокохромистый белый	C 2.25...2.85, Si 0.25...1.00, Mn 0.50...1.25, Cr 24.0...30.0, P < 0.40, S < 0.15.
Ni-твердый, 3.5 Ni Cr	C 2.8...3.6, Ni 2.5...4.75, Cr 1.2...1.35, Si 0.4...0.7, Mn 0.2...0.7
Коррозионностойкие	
BS ферритный высококремнистый Si 10	Si 10
BS ферритный высококремнистый Si 14	Si 14
BS ферритный высококремнистый Si Cr 14 4	Si 14, Cr 4
BS ферритный высококремнистый Si 16	Si 16
Высококремнистый	C 0.40...1.1, Si 14...17, Mn < 1.5, Cr < 5.0, Mo < 1.0, Cu < 0.5, P < 0.15, S < 0.15
Высокохромистый	C 1.2...4.0, Si 0.5...3.0, Mn 0.3...1.5, Cr 12...35, Mo < 4.0, Cu < 3.0, Ni < 5.0, P < 0.15, S < 0.15
Ni-стойкий аустенитный	C < 3.0, Si 1.2...2.8, Mn 0.5...1.5, Cr 1.5...6.0, Mo < 1.0, Cu < 7.0, Ni 13.5...36, P < 0.08, S < 0.12

Табл. 3.13 (окончание)

Материал	Состав присадок [%]
Теплостойкие серые	
BS аустенитный L—Ni Mn 13 7	C < 3,0, Ni 12...14, Mn 6,0...7,0, Si 1,5...3,0
BS аустенитный L—Ni Cu Cr 15 6 2	C < 3,0, Ni 13,5...17,5, Cu 5,5...7,5, Cr 1,0...2,5, Si 2,0...2,8, Mn 1,0...1,5
BS аустенитный L—Ni Cu Cr 15 6 3	C < 3,0, Ni 13,5...17,5, Cu 5,5...7,5, Cr 2,5...3,5, Si 1,0...2,8, Mn 1,0...1,5
BS аустенитный L—Ni Cr 20 2	C < 3,0, Ni 18...22, Cr 1,0...2,5, Si 1,0...2,8, Mn 1,0...1,5
BS аустенитный L—Ni Cr 20 3	C < 3,0, Ni 18...22, Cr 2,5...3,5, Si 1,0...2,8, Mn 1,0...1,5
BS аустенитный L—Ni Si Cr 30 5 5	Ni 30, Si 5, Cr 5
BS аустенитный L—Ni 35	C < 2,4, Ni 34...36, Si 1,0...2,0, Mn 0,4...0,8
Среднекремнистый	C 1,6...2,5, Mn 0,4...0,8, Si 4,0...7,0, P < 0,30, S < 0,10
Высокохромистый	C 1,8...3,0, Mn 0,3...1,5, Si 0,5...2,5, Ni < 5,0, Cr 15...35, P < 0,15, S < 0,15
Хромоникелевый	C 1,8...3,0, Mn 0,4...1,5, Si 1,0...2,75, Ni 13,5...36, Cr 1,8...6,0, Mo < 1,0, Cu < 7,0, P < 0,15, S < 0,15
Хромоникель-кремнистый	C 1,8...2,6, Mn 0,4...1,0, Si 5,0...6,0, Ni 13...43, Cr 1,8...5,5, Mo < 1,0, Cu < 10,0, P < 0,10, S < 0,10
Высокоалюминиевый	C 1,3...2,0, Mn 0,4...1,0, Si 1,3...6,0, Al 20...25, P < 0,15, S < 0,15
Теплостойкие тягучие	
BS аустенитный S—Ni Mn 13 7	C < 3,0, Ni 12...14, Mn 6...7, Si 2...3
BS аустенитный S—Ni Cr 20 2	C < 3,0, Ni 18...22, Cr 1,0...2,5, Si 1,0...2,8, Mn 0,7...1,5, P < 0,08
BS аустенитный S—Ni Cr 20 3	C < 3,0, Ni 18...22, Cr 2,5...3,5, Si 1,0...2,8, Mn 0,7...1,5, P < 0,08
BS аустенитный S—Ni Si Cr 20 5 2	C < 3,0, Ni 18...22, Si 4,5...5,5, Cr 1,0...2,5, Mn 1,0...1,5, P < 0,08
BS аустенитный S—Ni 22	C < 3,0, Ni 21...24, Si 1,0...2,8, Mn 1,8...2,4, P < 0,08
BS аустенитный S—Ni Mn 23 4	C < 2,6, Ni 22...24, Mn 4,0...4,4, Si 1,9...2,6
BS аустенитный S—Ni Cr 30 1	Ni 30, Cr 1
BS аустенитный S—Ni Cr 30 3	C < 2,6, Ni 28...32, Cr 2,5...3,5, Si 1,5...2,8, Mn < 0,5, P < 0,08
BS аустенитный S—Ni Si Cr 30 5 5	Ni 30, Si 5, Cr 5
BS аустенитный S—Ni 35	C < 2,4, Ni 34...36, Si 1,5...2,8, Mn < 0,5
BS аустенитный S—Ni Cr 35 3	C < 2,4, Ni 34...36, Cr 2...3, Si 1,5...2,8, Mn < 0,5
Среднекремнистый	C 2,8...3,8, Mn 0,2...0,6, Si 2,5...6,0, Ni < 1,5, P < 0,08, S < 0,12
Хромоникелевый	C < 3,0, Mn 0,7...2,4, Ni 18...36, Si 1,75...5,5, Cr 1,75...3,5, Mo < 1,0, P < 0,08, S < 0,12

Примечание:

Указано общее содержание углерода, а не только свободного.

Составы автоматных сталей

Автоматные стали часто относят к рессульфированным сталям, так как сера является основным элементом присадки, придающей стали высокие режущие свойства. В Табл. 3.14 и 3.15 даны составы обычно применяемых автоматных сталей.

Табл. 3.14. Составы автоматных сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Процентное содержание элемента		
	C	Mn	S
1110	0.08...0.13	0.30...0.60	0.08...0.13
1117	0.14...0.20	1.00...1.30	0.08...0.13
1118	0.14...0.20	1.30...1.60	0.08...0.13
1137	0.32...0.43	1.35...1.65	0.13...0.20
1140	0.37...0.44	0.70...1.00	0.08...0.13
1141	0.37...0.45	1.35...1.65	0.08...0.13
1144	0.40...0.48	1.35...1.65	0.24...0.33
1146	0.42...0.49	0.70...1.00	0.08...0.13
1151	0.48...0.55	0.70...1.00	0.08...0.13

Табл. 3.15. Составы автоматных сталей по британскому стандарту

BS	Процентное содержание элемента		
	C	Mn	S
210M15	0.12...0.18	0.90...1.30	0.10...0.18
212M36	0.32...0.40	1.00...1.40	0.12...0.20
214M15	0.12...0.18	1.20...1.60	0.10...0.18
216M36	0.32...0.40	1.30...1.70	0.12...0.20
216M44	0.40...0.48	1.20...1.50	0.12...0.20
220M07	0.15	0.90...1.30	0.20...0.30
226M44	0.40...0.48	1.30...1.70	0.22...0.30
230M07	0.15	0.90...1.30	0.20...0.30

Составы мартенситно-старееющих сталей

В Табл. 3.16 показаны составы типичных мартенситно-старееющих сталей. (См. Мартенситно-старееющие стали.)

Табл. 3.16. Составы мартенситно-старееющих сталей

AISI	Процентное содержание элемента					
	Ni	Co	Mo	Al	Ti	C (макс)
200	18	8	3.2	0.1	0.2	0.03
250	18	8	5.0	0.1	0.4	0.03
300	18	9	5.0	0.1	0.6	0.03
350	18	12	4.0	0.1	1.8	0.01

Составы нержавеющей сталей

В Табл. 3.17 и 3.18 даны составы типичных нержавеющей и высокопрочных сталей. Нержавеющие стали обладают высоким сопротивлением коррозии благодаря наличию в составе высокого содержания хрома (минимум 12%). Эти стали разделяются на три основные категории согласно их микроструктуре: аустенит, феррит и мартенсит. В Табл. 3.17 даны составы нержавеющей сталей в обозначениях кодов Американского института черной металлургии и имеющие эквиваленты кодов по британскому стандарту. В Табл. 3.18 даны коды сталей по британскому стандарту и эквивалентные коды Американского института черной металлургии.

Табл. 3.17. Составы нержавеющей сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	BS	Процентное содержание элемента				
		C	Cr	Ni	Mn	Другие
Аустенит						
201	—	0.15	17	4.5	6.0	—
301	—	0.15	17	7	2.0	—
302	302S31	0.15	18	9	2.0	—
304	304S15	0.08	19	9.5	2.0	—
	304S16, S18, S25, S40					
309	—	0.20	23	13.5	2.0	—
316	316S16	0.08	17	12	2.0	—
	316S18, S25, S26, S30, S33, S40, S41					
321	321S12	0.08	18	10.5 2.0	—	5 Ti, %C
	321S18, S22, S27, S31, S40, S49, S50, S59, S87					
Феррит						
405	405S17	0.08	13	—	1.0	0.20 Al
409	—	0.08	11	—	1.0	6 Ti, %C
430	430S15	0.12	17	—	1.0	—
442	—	0.20	20.5	—	1.0	—
446	—	0.20	25.0	—	1.5	—
Мартенсит						
403	420S29	0.15	12.2	—	1.0	—
410	410S21	0.15	12.5	—	1.0	—
	410S27					
420	420S37	> 0.15	12	—	1.0	—
431	431S29	0.20	16	1.8	1.0	—
440C	—	1.07	17	—	1.0	—

Примечание:

Широко распространен также предельный состав: 0.030% S, 0.040% P и 1.00% Si.

Табл. 3.18. Составы нержавеющей стали по британскому стандарту

BS	AISI	Процентное содержание элемента				
		C	Cr	Ni	Mn	Другие
Аустенит						
302S31	302	0.12	18	9	2.0	—
303S31	303	0.12	18	9	2.0	—
304S31	304	0.07	18	9.5	2.0	—
310S31	—	0.15	25	20.5	2.0	—
316S33	316	0.07	17	12.5	2.0	2.8 Mo
321S31	321	0.08	18	10.5	2.0	5 C, Ti
Феррит						
403S17	—	0.08	13	0.5	1.0	—
430S17	430	0.08	17	0.5	1.0	—
Мартенсит						
410S21	410	0.12	12.5	1.0	1.0	—
416S21	416	0.12	12.5	1.0	1.5	—
420S29	403	0.17	12.5	1.0	1.0	—
420S37	420	0.24	13	1.0	1.0	—
431S29	431	0.16	16.5	2.5	1.0	—

Примечание:

В основном стали содержат около 0.05% P, 0.03% S и 1.0% Si.

Составы инструментальных сталей

В Табл. 3.19 даны составы обычно применяемых инструментальных сталей. В присадках к сталям используются спеченные карбиды (см. Гл. 10), керамики (см. Гл. 10) и кобальтохромовольфрамомолибденовые сплавы. Обозначение кодов Американского института черной металлургии то же, к кодам британского стандарта прибавляется буква В.

Табл. 3.19. Составы инструментальных сплавов

AISI	Процентное содержание элемента					
	C	W	Mo	Cr	V	Другие
Закаленные в воде						
W1	0.6...1.4	—	—	—	—	—
W2	0.6...1.4	—	—	—	0.25	—
W5	1.10	—	—	0.50	—	—
Стойкие к удару						
S1	0.50	2.50	—	1.50	—	—
S2	0.50	—	0.50	—	—	1.00 Si
S5	0.55	—	0.40	—	—	0.80 Mn, 2.0 Si
S7	0.50	—	1.40	3.25	—	—
Закаленные в масле						
O1	0.90	0.50	—	0.50	—	1.00 Mn
O2	0.90	—	—	—	—	1.60 Mn
O6	1.45	—	0.25	—	—	0.80 Mn, 1.00 Si
O7	1.20	—	—	1.75	0.75	—

Табл. 3.19 (продолжение)

AISI	Процентное содержание элемента					
	C	W	Mo	Cr	V	Другие
Закаленные на воздухе						
A2	1.00	—	1.00	5.00	—	—
A3	1.25	—	1.00	5.00	1.00	—
A4	1.00	—	1.00	1.00	—	2.00 Mn
A6	0.70	—	1.25	1.00	—	2.00 Mn
A7	2.25	1.00	1.00	5.25	4.75	W оптимально
A8	0.55	1.25	1.25	5.00	—	—
A9	0.50	—	1.40	5.00	1.00	1.50 Ni
A10	1.35	—	1.50	—	—	1.80 Mn, 1.25 Si, 1.80 Ni
Высокоуглеродистые высокохромистые стали						
D2	1.50	—	1.00	12.00	1.00	—
D3	2.25	—	—	12.00	—	—
D4	2.25	—	1.00	12.00	—	—
D5	1.50	—	1.00	12.00	—	3.00 Co
D7	2.35	—	1.00	12.00	4.00	—
Стали для работы при высоких температурах (хромистые)						
H10	0.40	—	2.50	3.25	0.40	—
H11	0.35	—	1.50	5.00	0.40	—
H12	0.35	1.50	1.50	5.00	0.40	—
H13	0.35	—	1.50	5.00	1.00	—
H14	0.40	5.00	—	5.00	—	—
H19	0.40	4.25	—	4.25	2.00	4.25 Co
Стали для работы при высоких температурах (вольфрамовые)						
H21	0.35	9.00	—	3.50	—	—
H22	0.35	11.00	—	2.00	—	—
H23	0.30	12.00	—	12.00	—	—
H24	0.45	15.00	—	3.00	—	—
H25	0.25	15.00	—	4.00	—	—
H26	0.50	18.00	—	4.00	1.00	—
Стали для работы при высоких температурах (молибденовые)						
H42	0.60	6.00	5.00	4.00	2.00	—
Быстрорежущие вольфрамовые стали						
T1	0.75	18.00	—	4.00	1.00	—
T2	0.80	18.00	—	4.00	2.00	—
T4	0.75	18.00	—	4.00	1.00	5.00 Co
T5	0.80	18.00	—	4.00	2.00	8.00 Co
T6	0.80	20.00	—	4.50	1.50	12.00 Co
Быстрорежущие молибденовые стали						
M1	0.85	1.50	8.50	4.00	1.00	—
M2	0.85/1.00	6.00	5.00	4.00	2.00	—
M4	1.30	5.50	4.50	4.00	4.00	—
M6	0.80	4.00	5.00	4.00	1.50	12.0 Co
M7	1.00	1.75	8.75	4.00	2.00	—

Табл. 3.19 (окончание)

AISI	Процентное содержание элемента					
	C	W	Mo	Cr	V	Другие
M10	0.85/1.00	—	8.00	4.00	2.00	—
M30	0.80	2.00	8.00	4.00	1.25	5.00 Co
M33	0.90	1.50	9.50	4.00	1.15	8.00 Co
M34	0.90	2.00	8.00	4.00	2.00	8.00 Co
M36	0.80	6.00	5.00	4.00	2.00	8.00 Co
M41	1.10	6.75	3.75	4.25	2.00	5.00 Co
M42	1.10	1.50	9.50	3.75	1.15	8.00 Co
M43	1.20	2.75	8.00	3.75	1.60	8.25 Co
M44	1.15	5.25	6.25	4.25	2.00	12.00 Co
M46	1.25	2.00	8.25	4.00	3.20	8.25 Co
M47	1.10	1.50	9.50	3.75	1.25	5.00 Co

3.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Отжиг

В Табл. 3.20 и 3.21 приведено кодирование сталей по температуре отжига, подходящее для ряда углеродистых и легированных сталей по классификации Американского института черной металлургии и британского стандарта. В Табл. 3.22 указаны температуры отжига для нержавеющей сталей. А в разделе «Механические свойства» приводятся спецификации марок сталей вместе с их свойствами.

Табл. 3.20. Кодирование сталей по температуре отжига
углеродистых и легированных сталей (классификация
Американского института черной металлургии)

AISI	Температура отжига [°C]	AISI	Температура отжига [°C]
Углеродистые стали		Легированные стали	
1020	855...900	1330	845...900
1025	855...900	1340	845...900
1030	845...885	4037	815...855
1035	845...885	4130	790...845
1040	790...970	4140	790...845
1045	790...870	4340	790...845
1050	790...870	5130	790...845
1060	790...845	5140	815...870
1070	790...845	5160	815...870
1080	790...845	6150	845...900
1090	790...830	8630	790...845
1095	790...830	8640	815...870
		8650	815...870
		8660	815...870
		9260	815...870

Табл. 3.21. Кодирование сталей по температуре отжига для углеродистых и легированных сталей (британский стандарт)

BS	Температура отжига [°C]
Углеродистые стали	
070M20	880...910
080M30	860...890
080M40	830...860
080M50	810...840
070M55	810...840
Легированные стали	
120M36	840...870
150M19	840...900
150M36	840...870
530M40	810...830
605M36	830...860
606M36	830...860
708M40	850...880
817M40	820...850
826M40	820...850
835M30	810...830

Табл. 3.22. Кодирование нержавеющей сталей по температуре отжига по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Температура отжига [°C]
Аустенит	
201, 301, 302, 304	1010...1120
309, 316	1040...1120
321	955...1065
Феррит	
405	650...815
409	870...900
431	705...790
Мартенсит	
403, 410, 420	830...885
431	Нет рекомендации
440C	845...900

Примечание:

Кодирование нержавеющей сталей для эквивалентных кодов британского стандарта см. Кодирование систем нержавеющей сталей и Составы нержавеющей сталей.

Науглероживание

См. Поверхностное упрочнение для конкретных процессов, применяемых к сплавам на основе железа.

Азотирование

См. Поверхностное упрочнение для конкретных процессов, применяемых к сплавам на основе железа.

Поверхностное упрочнение

Твердость поверхности сталей можно изменить при обработке поверхностной закалкой. В Табл. 3.23 показаны эффекты такой обработки. Некоторые стали разрабатывались изначально для науглероживания с целью получить поверхность с высоким сопротивлением износу, а сердцевину — с адекватной прочностью и ударной вязкостью для требуемой нагрузки. Такие стали называют науглероженными, или сталями с упрочненным поверхностным слоем, как, например, приведенные из британских стандартов: углеродистые стали 045M10, 080M15, 130M15, 210M15; боросодержащие стали 170H15, 173H16, 174H20, 175H23; легированные стали 523H15, 527H17, 590H17, 635H15, 637H17, 655H13, 665H17, 665H20, 665H23, 708H20, 805H29, 805H22, 808H17, 815H17, 820H17, 822H17, 832H13, 835H15. Стали по британскому стандарту, годные для проведения азотирования: 708M40, 709M40, 720M32, 722M24, 897M39, 905M39.

Табл. 3.23. Эффекты поверхностной закалки

Процесс	Температура [°C]	Науглероженный слой		Основные материалы
		Глубина [мм]	Твердость [HRC]	
Твердая цементация	810...1100	0.25...3	45...65	Малоуглеродистые и науглероженные легированные стали
Газовая цементация	810...980	0.07...3	45...65	То же
Жидкое цианирование	760...870	0.02...0.7	50...60	Малоуглеродистые и легированные стали
Азотирование	500...530	0.07...0.7	50...70	Легированные стали
Газовое цианирование	700...900	0.02...0.7	50...60	Малоуглеродистые и легированные стали
Пламенная закалка	850...1000	Свыше 0.8	55...65	Стали с 0.4...0.7% углерода
Индукционная закалка	850...1000	0.5...5	55...65	То же

Закалка с последующим отпуском

Закалка с последующим отпуском — это процесс, в котором сталь, упрочненная в результате резкого охлаждения, доводится по-

вторно до температуры A_1 ниже критической для того, чтобы прийти к модификации мартенситной структуры. После заковки предел прочности на растяжение будет максимальным, а ударная вязкость минимальна. Вообще, чем выше температура заковки с последующим отпуском, тем ниже предел прочности на растяжение и выше ударная вязкость. На Рис. 3.2 показаны типичные изменения свойств, полученные для легированной стали (0.40% углерода, 0.70% марганца, 1.8% никеля, 0.80% хрома и 0.25% молибдена).



Рис. 3.2. Влияние эффекта заковки с последующим отпуском на свойства стали

(См. данные о свойствах ряда сталей, полученные при испытании их на растяжение для определения эффектов заковки и последующего отпуска.)

3.4. СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

Параметры ползучести

Приближенные значения высокотемпературных пределов ползучести используемых сплавов на основе железа при падении

разрывного напряжения ниже примерно 50 МПа, или $\text{МН} \cdot \text{м}^{-2}$, за 100000 ч приведены в Табл. 3.24. В Табл. 3.25 показаны значения разрывных напряжений при различных температурах для некоторых типичных сталей.

Табл. 3.24. *Высокотемпературные пределы ползучести сплавов на основе железа*

Материал	Высокотемпературный предел [°C]
Литейный чугун	350
Углеродистые стали	450
Хромомолибденовые стали	550
Сталь с 18% хрома и 10% никеля	600
Сталь с 25% хрома и 20% никеля	750

Табл. 3.25. *Разрывные напряжения для сталей*

Состав (% основного элемента)	Время обработки [ч]	Разрывное напряжение [МПа, или $\text{МН} \cdot \text{м}^{-2}$] после тепловой обработки				
		400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
0.2 С, 0.75 Мп (нормализована 920°C, отпущена 600°C)	1000	295	118	—	—	—
	10000	225	59	—	—	—
	100000	147	30	—	—	—
0.17 С, 1.3 Мп (нормализована 920°C, отпущена 600°C)	1000	310	118	—	—	—
	10000	235	67	—	—	—
	100000	167	30	—	—	—
5 Сг, 0.5 Мо (отожжена)	1000	230	130	—	—	—
	10000	200	100	—	—	—
	100000	170	75	—	—	—
9 Сг, 1 Мо (нормализована 990°C, отпущена 750°C)	1000	275	200	100	—	—
	10000	260	170	75	—	—
	100000	240	130	54	—	—
18 Сг, 8 Ni (охлаждена воздухом, 1050°C)	1000	354	262	146	54	—
	10000	336	231	100	31	—
	100000	323	200	70	20	—
18 Сг, 12 Ni, 2 Мо (нормализована 1050°C, охлаждена воздухом)	1000	477	385	230	108	35
	10000	462	338	185	70	22
	100000	430	293	139	46	11
25 Сг, 20 Ni (1000/1150°C, охлаждена воздухом, закалена)	1000	—	—	175	88	39
	10000	—	—	135	58	20
	100000	—	—	42	17	6

Удельное электрическое сопротивление

В Табл. 3.26 приведены удельные электрические сопротивления, которые имеют различные типичные сорта железных сплавов при 20°C.

Табл. 3.26. Удельные электрические сопротивления железных сплавов

Материал	Удельное сопротивление [мкОм·м]
Малоуглеродистая сталь	0.16
Среднеуглеродистая сталь	0.17
Марганцевая сталь	0.23
Автоматная сталь	0.17
Никель-марганцевая сталь	0.23...0.39
Хромистая сталь	0.22
Хромомолибденовая сталь	0.22
Никель-хромомолибденовая сталь	0.25...0.27
Нержавеющая, аустенит	0.69...0.78
Нержавеющая, феррит	0.60
Нержавеющая, мартенсит	0.55...0.70

Примечание:

Удельные сопротивления уменьшались при тепловой обработке, которой подвергались металлы.

Усталость

Предел усталости для большинства материалов на основе железа составляет приблизительно 0.4...0.6 предела прочности на растяжение. На практике, однако, эти значения во многом зависят от условий на поверхности, связанных с составом.

Твердость

Значения твердости сталей см. в таблицах в разделах этой главы Механические свойства материалов или, в случае инструментальных сталей, Свойства инструментальных сталей.

Ударные свойства

См. в разделе Механические свойства таблицы значений энергий ударов для различных сталей при температуре порядка 20°C. Однако большинство сталей становятся хрупкими при низких температурах, и это заметно в уменьшении энергии удара, разрушающего материал. Для некоторых сталей переход тягучесть—хрупкость происходит при температуре около 0°C, для других она может быть ниже, до -60 или -80°C.

Обрабатываемость на станках

На обрабатываемость стали на станках влияет ее состав, микроструктура и твердость. Обрабатываемость сплава улучшается при добавлении к нему серы и/или свинца, в то же время такие элементы, как алюминий и кремний, могут ухудшать ее. Свинцовосодержащие и ресульфированные стали известны как автоматные стали из-за их хорошей обрабатываемости. Добавка серы и/или свинца к сплаву дает некоторое незначительное ухудшение его механических свойств, и сварку производить, вообще говоря, не рекомендуется. На обрабатываемость влияет также микроструктура. Например, ферритные стали имеют обрабатываемость лучше, чем мартенситные.

Показатель обрабатываемости дается по определению легкости, с какой материал обрабатывается на станках. В системе Американского института черной металлургии показателем обрабатываемости в 100% (эталоном) взята сталь 1212, а показатели всех других сталей определены по отношению к ней. В системе британских стандартов эталонную роль выполняет сталь 070M20. Сталь 1212 — рефосфорированная, а 070M20 — углеродистая. В Табл. 3.27 и 3.28 даны типичные значения показателя обрабатываемости для различных материалов на основе железа.

Табл. 3.27. Показатели обрабатываемости сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Показатель обрабатываемости [%]
Углеродистые стали	
1010	55
1015	60
1020	65
1030	70
1040	60
1050	45
Ресульфированные и рефосфорированные стали	
1211	94
1212	100
1213	136
Легированные стали	
1340	50
4130	70
4320	60
5140	65
6150	55
8640	65
8660	55

Табл. 3.28. Показатели обрабатываемости сталей по британскому стандарту

BS	Показатель обрабатываемости [%]
Углеродистые стали	
070M20	100
080M30	70
080M40	70
080M50	50
070M55	50
Легированные стали	
120M36	65
150M19	70
150M36	65
530M40	40
605M36	50
708M40	40
722M24	35
817M40	35
Автоматные стали	
210M15	200
212M36	70
214M15	140
220M07	200

Механические свойства легированных сталей

В Табл. 3.29 и 3.30 приведены параметры прочности на растяжение типичных легированных сталей. Данные Табл. 3.29 соответствуют классификации сталей Америки, а Табл. 3.30 — британским стандартам. Составы этих сталей приведены в этой главе, в разделе Составы легированных сталей. Туда же включены, вместе с параметрами на растяжение и твердостью сталей, и энергии ударов, разрушающих материал. Модули растяжения для всех сталей находятся в пределах 200...207 ГПа, или ГН·м⁻².

Табл. 3.29. Механические свойства легированных сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Условия	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Марганцевые стали						
1330	Q,T 200°C	1600	1450	9	460	—
	Q,T 650°C	730	570	23	216	—
1340	Q,T 200°C	1800	1600	11	500	—
	Q,T 650°C	800	620	22	250	—
	N 870°C	840	560	22	250	90
	A 800°C	700	440	26	200	70

Табл. 3.29 (продолжение)

AISI	Условия	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Молибденовые стали						
4037	Q,T 200°C	1030	760	6	310	—
	Q,T 650°C	700	420	29	220	—
Хромомолибденовые стали						
4130	Q,T 200°C	1630	1460	10	470	—
	Q,T 650°C	810	700	22	245	—
	N 870°C	670	440	26	200	85
	A 860°C	560	360	28	155	60
4140	Q,T 200°C	1770	1640	8	510	—
	Q,T 650°C	760	650	22	230	—
	N 870°C	1020	660	18	300	23
	A 815°C	660	420	26	200	54
Никель-хромомолибденовые стали						
4320	N 895°C	790	460	21	235	73
	A 850°C	580	610	29	160	110
4340	Q,T 200°C	1880	1680	10	520	28
	Q,T 650°C	970	860	19	280	50
	N 870°C	1280	860	12	360	8
	A 810°C	745	470	22	220	50
Никель-молибденовые стали						
4620	N 900°C	575	365	29	175	130
	A 855°C	510	370	31	150	94
4820	N 860°C	750	485	24	230	110
	A 815°C	680	465	22	200	93
Хромистые стали						
5130	Q,T 200°C	1610	1520	10	475	—
	Q,T 650°C	795	690	20	245	—
5140	Q,T 200°C	1790	1640	9	490	—
	Q,T 650°C	760	660	25	235	—
	N 870°C	790	470	23	230	38
	A 830°C	570	290	29	170	40
5160	Q,T 200°C	2200	1790	4	630	—
	Q,T 650°C	900	800	20	270	—
	N 855°C	960	530	18	270	11
	A 812°C	720	275	17	200	10
Хромованадиевые стали						
6150	Q,T 200°C	1930	1690	8	540	—
	Q,T 650°C	945	840	17	280	—
	N 870°C	940	615	22	270	36
	A 815°C	670	410	23	200	27

Табл. 3.29 (окончание)

AISI	Условия	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Никель-хромомолибденовые стали						
8620	N 915°C	630	360	26	185	100
	A 870°C	535	385	31	150	110
8630	Q,T 200°C	1640	1500	9	465	—
	Q,T 650°C	770	690	23	240	73
	N 870°C	650	430	24	190	95
	A 840°C	560	370	29	155	95
8640	Q,T 200°C	1860	1670	10	505	—
	Q,T 650°C	900	800	20	280	90
8650	Q,T 200°C	1940	1680	10	525	—
	Q,T 650°C	970	830	20	280	—
	N 870°C	1020	690	14	300	13
	A 800°C	720	390	23	210	30
8660	Q,T 425°C	1630	1550	13	460	22
	Q,T 650°C	965	830	20	280	81
Кремнистые стали						
9260	Q,T 425°C	1780	1500	8	470	—
	Q,T 650°C	980	815	20	295	—

Примечание:

Q — закаленная, T — отпущенная, N — нормально цементованная,
A — отожженная.

Табл. 3.30. Механические свойства легированных сталей
по британскому стандарту

BS	Условия	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Марганцевые стали						
120M19	Q,T	550...700	355	18	150...210	40
	N	460	265	19	140...190	34
120M28	Q,T	620...770	415	16	180...230	40
	N	530	330	16	150...210	34
120M36	Q,T	620...770	415	18	180...230	40
	N	570	340	16	170...220	—
150M19	Q,T	550...700	340	18	150...210	54
	N	510	295	17	150...210	40
150M28	Q,T	620...770	400	16	180...230	47
	N	560	325	16	170...220	34
150M36	Q,T	620...770	400	18	180...230	47
	N	600	355	15	180...230	—

Табл. 3.30 (окончание)

BS	Условия	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Хромистые стали						
526M60	Q,T	850...1000	620	11	250...300	—
530M40	Q,T	700...850	525	17	200...260	54
Марганцеволибденовые стали						
605M36	Q,T	700...900	585	15	200...255	40
606M36	Q,T	700...850	525	15	200...255	40
608M38	Q,T	770...930	555	13	220...280	34
Никель-хромистые стали						
653M31	Q,T	770...930	585	15	220...280	20
Хромолибденовые стали						
708M40	Q,T	700...850	525	17	200...260	54
709M40	Q,T	770...930	555	13	220...280	27
722M24	Q,T	850...1000	650	13	250...300	27
Никель-хромолибденовые стали						
817M40	Q,T	850...1000	650	13	250...300	40
826M40	Q,T	930...1250	740	12	270...330	34
835M30	Q,T	1540	1235	7	440	20
Марганцево-никель-хромолибденовые стали						
945M38	Q,T	700...850	495	15	200...260	34

Примечание:

Все свойства указаны для круглого сечения порядка 260 мм и более.

Q — закаленная, T — отпущенная, N — нормально цементованная.

Механические свойства углеродистых сталей

В Табл. 3.31 и 3.32 приведены механические свойства углеродистых сталей. Модули растяжения у этих сталей равны примерно 200...207 ГПа, или ГН·м⁻². На Рис. 3.3 показано, как зависят механические свойства сплава от процентного содержания углерода в нем и, следовательно, от его микроструктуры.

Табл. 3.31. Механические свойства углеродистых сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
1015	Прокат	420	315	39	125	110
	N 925°C	420	325	37	120	115
	A 870°C	385	285	37	110	115

Табл. 3.31 (окончание)

AISI	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
1020	Прокат	450	330	36	145	85
	N 925°C	440	345	36	130	115
	A 870°C	395	295	37	110	120
1030	Прокат	550	345	32	180	75
	N 925°C	520	345	32	150	95
	A 840°C	465	340	31	125	70
	WQ, T 200°C	850	650	17	495	—
	WQ, T 650°C	585	440	32	210	—
1040	Прокат	620	415	25	200	50
	N 900°C	590	375	28	170	65
	A 790°C	520	355	30	150	45
	WQ, T 200°C	900	660	16	515	—
	WQ, T 650°C	670	495	28	200	—
1050	Прокат	725	415	20	230	30
	N 900°C	750	430	20	220	25
	A 790°C	635	365	24	185	16
	WQ, T 200°C	1120	810	9	515	—
	WQ, T 650°C	720	540	28	235	—
1060	Прокат	815	480	17	240	18
	N 900°C	775	420	18	230	13
	A 790°C	625	370	23	180	11
	Q, T 200°C	1100	780	13	320	—
	Q, T 650°C	800	525	23	230	—
1080	Прокат	965	585	12	290	7
	N 900°C	1010	525	11	290	7
	A 790°C	615	375	25	175	6
	Q, T 200°C	1310	980	12	390	—
	Q, T 650°C	890	600	21	255	—
1095	Прокат	965	570	9	295	4
	N 900°C	1015	500	10	295	5
	A 790°C	655	380	13	190	3
	Q, T 200°C	1290	830	10	400	—
	Q, T 650°C	895	550	21	270	—

Примечание:

WQ — закаленная в воде, Q — закаленная, N — нормально цементованная, A — отожженная, T — отпущенная.

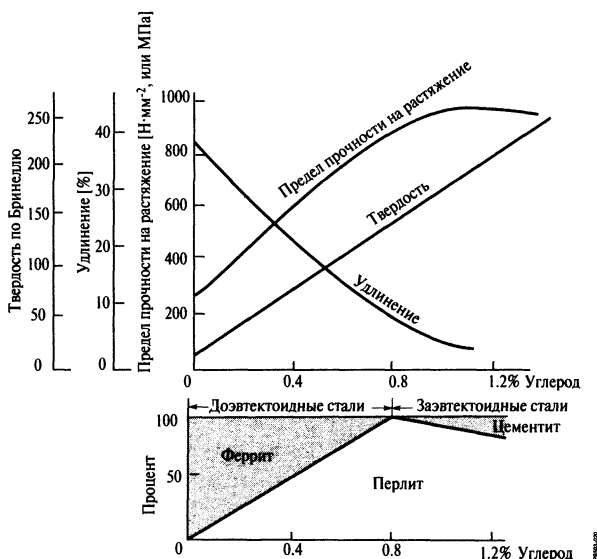


Рис. 3.3. Влияние содержания углерода на свойства углеродистых сталей

Табл. 3.32. Механические свойства углеродистых сталей по британскому стандарту

BS	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость HB	Удар при испытании Изода [Дж]
070M20	N 880...910°C	400	200	21	125...180	—
	Q, T	550...700	355	20	150...210	40
070M26	N 870...900°C	430	215	20	140...190	—
	Q, T	550...700	355	20	150...210	40
080M30	N 860...890°C	460	230	19	140...190	—
	Q, T 550...660°C	550...700	340	18	150...210	40
080M36	N 840...870°C	490	245	18	140...190	—
	Q, T 550...660°C	620...780	400	16	180...230	25
080M46	N 810...840°C	550	280	15	150...210	—
	Q, T 550...660°C	625...775	370	16	180...230	—
080M50	N 810...840°C	570	280	14	180...230	—
	Q, T 550...660°C	700...850	430	14	200...255	—
070M55	N 810...840°C	600	310	13	200...250	—
	Q, T 550...660°C	700...850	415	14	200...255	—

Примечание:

Все данные указаны для большого круглого сечения проката. N — нормально цементованная, Q — закаленная, T — отпущенная.

Механические свойства литейных чугунов

В Табл. 3.33 приведены общие свойства чугунов, а в Табл. 3.34 даны значения механических свойств особых литейных чугунов. Напряжение пластического течения белого и серого чугунов есть, в сущности, то же самое, что и предел прочности на растяжение. Для тягучих и ковких чугунов напряжение пластического течения составляет около трех четвертей предела прочности на растяжение.

Табл. 3.33. Механические свойства литейных чугунов

Чугун	Условия получения	Модуль растяжения [ГПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Ударные свойства [Дж]
Белый	Литье	170	275	0	500	4*
Серый	Литье	100...145	150...400	0.2...0.7	130...300	8...50 ⁺
Черносердечный	Отожжен	170	290...340	6...12	125...140	13...17**
Белосердечный	Отожжен	170	270...410	3...10	120...180	2...5**
Перлитный ковкий	Нормализован	170	440...570	3...7	140...240	2...10**
Тягучий ферритный	Литье	165	370...500	7...17	115...215	5...15**
Тягучий перлитный	Литье	165	600...800	2...3	215...305	2...5**
Стойкий к истиранию	Литье или обработан теплом	180...200	230...460	—	400...650	6...12 ⁺
Стойкий к коррозии	Литье или отожжен	124	90...150	—	450...520	5...8 ⁺
Жаростойкий серый сплав	То же	70...110	140...240	1...3	110...740	40...80 ⁺
Жаростойкий тягучий сплав	То же	90...140	370...490	7...40	130...250	4...30 ⁺⁺

Примечание:

Для ударной вязкости, * — испытание Шарпи, образец не надрезан,
 ** — испытание Шарпи, образец с надрезом, + — испытание Изода, образец не надрезан, ++ — испытание Изода, образец с надрезом.

Табл. 3.34. Механические свойства особых литейных чугунов

Материал, марка	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на сжатие [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ
Серые чугуны					
BS 150	150	98	600	0.6	136...167
BS 180	180	117	670	0.5	150...183
BS 220	220	143	770	0.5	167...204
BS 260	260	170	860	0.4	185...226
BS 300	300	195	960	0.3	202...247
BS 350	350	228	1080	0.3	227...278

Табл. 3.34 (продолжение)

Материал, марка	Предел проч- ности на рас- тяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на сжатие [МПа]	Удлине- ние [%]	Твер- дость НВ
BS 400	400	260	1200	0.2	251...307
ASTM 20	152	—	572	—	156
ASTM 25	179	—	669	—	174
ASTM 30	214	—	752	—	210
ASTM 35	252	—	855	—	212
ASTM 40	293	—	965	—	235
ASTM 50	362	—	1130	—	262
ASTM 60	431	—	1293	—	302
Ковкие чугуны					
Черносердечный В30-06	300	—	—	6	<150
Черносердечный В32-10	320	190	—	10	<150
Черносердечный В35-12	350	200	—	12	<150
Ферритный ASTM 32510	345	224	—	10	<156
Ферритный ASTM 35018	365	241	—	18	<156
Белосердечный W35-04	350	—	—	4	<230
Белосердечный W38-12	380	200	—	12	<200
Белосердечный W40-05	400	220	—	5	<220
Белосердечный W45-07	450	260	—	7	<220
Перлитный P45-06	450	270	—	6	150...200
Перлитный P50-06	500	300	—	5	160...220
Перлитный P55-04	550	340	—	4	180...230
Перлитный P60-03	600	390	—	3	200...250
Перлитный P65-02	650	430	—	2	210...260
Перлитный P70-02	700	530	—	2	240...290
Перлитный ASTM 40010	414	276	—	10	149...197
Перлитный ASTM 45008	448	310	—	8	156...197
Перлитный ASTM 45006	448	310	—	6	156...207
Перлитный ASTM 50005	483	345	—	5	179...229
Перлитный ASTM 60004	552	414	—	4	197...241
Перлитный ASTM 70003	586	483	—	3	217...269
Перлитный ASTM 80002	655	552	—	2	241...285
Перлитный ASTM 90001	724	621	—	1	269...321
Тягучие чугуны					
ASTM 60-40-18	414	276	—	18	143...187
ASTM 80-60-03	552	414	—	3	>200
ASTM 65-45-12	448	310	—	12	167
ASTM 80-55-06	552	379	—	6	192
ASTM 100-70-03	689	483	—	3	—
ASTM 120-90-02	827	621	—	2	331

Табл. 3.34 (продолжение)

Материал, марка	Предел проч- ности на рас- тяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Предел проч- ности на сжа- тие [МПа]	Удлине- ние [%]	Твер- дость HB
Абразивостойкие белые чугуны					
BS низколегированный сплав, 1А, 1В	230...460	—	—	—	400
BS никель-хромистый, 2А-Е	250...450	—	—	—	550
BS высокохромистый, 3А-Е	300...450	—	—	—	400...650
Мартенситный никель-хромистый	—	—	—	—	550...650
Высокохромистый белый	—	—	—	—	450...600
Ni-твердый, Ni 3.5%, Cr	280...510	—	—	—	—
Коррозионностойкие сплавы					
BS ферритные высококремниевый	93...154	—	—	—	450...520
Высококремниевый	90...180	—	690	—	480...520
Высокохромистый	205...830	—	690	—	250...740
Высоконикелевый серый	170...310	—	690...1100	—	120...250
Высоконикелевый тягучий	380...480	—	1240...1380	—	130...240
Жаропрочные серые сплавы					
BS аустениты					
L—Ni Mn 13 7	140...220	—	—	—	120...150
L—Ni Cu Cr 15 6 2	170...210	—	—	2	140...200
L—Ni Cu Cr 15 6 3	190...240	—	—	1...2	150...250
L—Ni Cr 20 2	170...210	—	—	2...3	120...215
L—Ni Cr 20 3	190...240	—	—	1...2	160...250
L—Ni Si Cr 20 5 3	190...280	—	—	2...3	140...250
L—Ni Cr 30 3	190...240	—	—	1...3	120...215
L—Ni Si Cr 30 5 5	170...240	—	—	—	150...210
L—Ni 35	120...180	—	—	1...3	120...140
Среднекремнистый серый	170...310	—	620...1040	—	170...250
Высокохромистый серый	210...620	—	690	—	250...500
Высоконикелевый серый	170...310	—	690...1100	—	130...250
Ni—Cr—Si серый	140...310	—	480...690	—	110...210
Высокоглиноземистый	235...620	—	—	—	180...350
Жаропрочные тягучие сплавы					
BS аустениты					
S—Ni Mn 13 7	390...460	210...260	—	15...25	130...170
S—Ni Cr 20 2	370...470	210...250	—	7...20	140...200
S—Ni Cr 20 3	390...490	210...260	—	7...15	150...255
S—Ni Si Cr 20 5 2	370...430	210...260	—	10...18	180...230

Табл. 3.34 (окончание)

Материал, марка	Предел проч- ности на рас- тяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Предел проч- ности на сжа- тие [МПа]	Удлине- ние [%]	Твер- дость НВ
S—Ni 22	370...440	170...250	—	20...40	130...170
S—Ni Mn 23 4	440...470	210...240	—	25...45	150...180
S—Ni Cr 30 1	370...440	210...270	—	13...18	130...190
S—Ni Cr 30 3	370...470	210...260	—	7...18	140...200
S—Ni Si Cr 30 5 5	390...490	240...310	—	1...4	170...250
S—Ni 35	370...410	210...240	—	20...40	130...180
S—Ni Cr 35 3	370...440	210...290	—	7...10	140...190
Среднекремнистый тягучий	415...690	—	—	—	140...300
С высоким содержанием Ni (20) тягучий	380...415	—	1240...1380	—	140...200

Примечание:

Значения пределов тягучести для серых чугунов установлены по 0.1% пробного напряжения от предела тягучести; для всех других чугунов эти значения составляют 0.2%.

Механические свойства автоматных сталей

В Табл. 3.35 и 3.36 приведены механические свойства автоматных рессульфированных и рефосфорированных сталей.

Табл. 3.35. Механические свойства рессульфированных и рефосфорированных сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
1117	Прокат	490	305	33	140	80
	N 900°C	470	300	34	140	85
	A 855°C	430	280	33	120	94
1118	Прокат	520	320	32	150	110
	N 925°C	480	320	34	140	103
	A 790°C	450	285	35	130	106
1137	Прокат	630	380	28	190	83
	N 900°C	670	400	23	200	64
	A 790°C	585	345	27	170	50
	WQ, T 200°C	1500	1165	5	415	—
	WQ, T 650°C	650	530	25	190	—
1141	Прокат	675	360	22	190	11
	N 900°C	710	405	23	200	53
	A 790°C	600	350	26	160	34
	Q, T 200°C	1630	1210	6	460	—
	Q, T 650°C	710	590	23	220	—

Табл. 3.35 (окончание)

AISI	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
1144	Прокат	700	420	21	210	53
	N 900°C	670	400	21	200	43
	Q, T 200°C	880	630	17	280	—
	Q, T 650°C	720	500	23	220	—

Примечание:

Q — закаленный в масле, WQ — закаленный в воде, T — отпущенный, N — нормально цементованный, A — отожженный.

Табл. 3.36. Механические свойства автоматных сталей по британскому стандарту

BS	Условия получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
212M36	Q, T 550...660°C	550...700	340	20	150...210	25
214M15	Q	590	—	13	—	35
216M36	Q, T 550...660°C	550...700	380	15	150...210	25
216M44	Q, T 550...660°C	700...850	450	15	200...255	15
220M07	N 900...930°C	360	215	22	>103	—
226M44	Q, T 550...660°C	700...850	450	16	200...255	20
230M07	N 900...930°C	360	215	22	>103	—

Примечание:

Q — закаленный в масле, T — отпущенный, N — нормально цементованный.

Механические свойства мартенситно-стареющих сталей

В Табл. 3.37 приведены механические свойства мартенситно-стареющих сталей. (См. Составы мартенситно-стареющих сталей для очищенных от примесей марок.)

Табл. 3.37. Механические свойства мартенситно-стареющих сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Предел прочности [МПа]	0.2% пробного напряжения [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ
200	1390	1340	11	450
250	1700	1620	9	520
300	1930	1810	7	570

Механические свойства нержавеющей сталей

В Табл. 3.38 и 3.39 приведены механические свойства типичных нержавеющей и жаростойких сталей. Модули растяжения для всех сталей составляют примерно 200...207 ГПа, или ГН·м⁻².

Табл. 3.38. Механические свойства нержавеющей сталей
по классификации Американского института
черной металлургии

AISI	Условие получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]
Аустенитная				
201	A	790	380	55
301	A	760	280	60
	H	1450	1310	15
302	A	620	310	50
304	A	580	290	55
	H	1100	1000	10
309	A	620	310	45
316	A	580	290	50
321	A	620	240	45
Ферритная				
405	A	480	275	20
409	A	470	275	20
430	A	520	345	25
442	A	550	310	20
446	A	550	345	20
Мартенситная				
403	A	520	275	30
410	A	520	275	30
420	A	655	345	25
	T 200°C	1760	1380	10
	T 650°C	790	585	20
431	A	860	655	20
	T 200°C	1410	1070	15
	T 650°C	870	655	20
440C	A	760	480	13
	T 300°C	1970	1900	2

Примечание:

Предел текучести установлен по величине 0.2% пробного напряжения.

A — отожженная, H — половина твердости как результат холодной обработки,

T — отпущенная.

Табл. 3.39. Механические свойства нержавеющей сталей
по британскому стандарту

BS	Условие получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
Аустенитная						
302S31	Мягкая	510	190	40	183	—
303S31	Мягкая	510	190	40	183	—
304S31	Мягкая	490	195	40	183	—

Табл. 3.39 (окончание)

BS	Условие получения	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость НВ	Удар при испытании Изода [Дж]
310S31	Мягкая	510	205	40	207	—
316S33	Мягкая	510	205	40	183	—
321S31	Мягкая	510	200	35	183	—
Ферритная						
403S17	АС 740°C	415	280	20	170	—
430S15	АС 780°C	430	280	20	170	—
Мартенситная						
410S21	OQ	1850	1190	3	350	7
	OQ,T 750°C	570	370	33	170	130
416S21	OQ,T 750°C	700	370	15	205	25
	OQ,T 400°C	1500	1360	18	455	16
420S29	OQ,T 700°C	760	630	26	220	95
	OQ,T 650°C	880	695	22	260	34

Примечание:

Мягкая — размягчена при нагреве примерно до 1000...1100°C, OQ — закаленная в масле, АС — охлажденная на воздухе, Т — отпущенная.

Сопротивление коррозии

Фактором, ограничивающим применение материалов при высоких температурах, является коррозия поверхности, т.е. образование окалины, ведущее к окислению. Материалы с хорошим сопротивлением коррозии — это те, которые образуют непроницаемый окисный слой, способный сопротивляться дальнейшему проникновению кислорода в материал. В **Табл. 3.40** приведена общая схема пределов окисления для различных сталей.

Табл. 3.40. Пределы окисления сталей

Материал	Предел окисления [°C]
Углеродистые стали	450
Сталь 0.5% Мо	500
Сталь 1.0% Cr, 0.5% Мо	550
Сталь 12% Cr, Мо, V	575
Сталь 18% Cr, 8% Ni	650
Сталь 19% Cr, 11% Ni, 2% Si	900
Сталь 23% Cr, 20% Ni	1100

Критическое сечение

Критическим сечением называется такое, которое обеспечивает равномерную прокаливаемость при заданной скорости охлаждения. Механические свойства сталей зависят от размера по-

перечного сечения материала. На этом основании свойства материалов часто указывают в терминах размера поперечного сечения. Предельное очертание профиля — это максимальный диаметр круглого сортового проката, в центре которого можно получить требуемые свойства. Причиной различия механических свойств, получающихся при различных размерах круглого проката у одной и той же марки стали, является то, что во время тепловой обработки скорости охлаждения в центре проката, как правило, различные, что приводит к изменению его размеров. В результате получаются различия и в микроструктуре, а отсюда следует также наблюдаемое различие в механических свойствах. Вообще, чем больше критическое сечение, тем меньше предел прочности на растяжение и больше относительное удлинение. В Табл. 3.41 приведено несколько типичных значений критического сечения.

Табл. 3.41. Эффект влияния критического сечения на свойства материала

Материал	Критическое сечение [мм]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Удар при испытании Изода [Дж]
Углеродистая сталь	29	770	590	25	60
	152	700	490	25	40
Сталь Ni—Cr—Mo	29	1100	930	20	68
	152	1000	850	20	68

Плотность

Плотность беспримесного чугуна равна $7.88 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при 20°C . Добавки легирующих элементов при относительно малых их количествах изменяют это значение. Например, углерод, марганец, хром и алюминий уменьшают плотность, тогда как никель, молибден, кобальт и вольфрам увеличивают ее. Таким образом, углеродистые стали имеют плотность около $7.80 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, легированные стали — около $7.81 \cdot 10^3$, ферритные и мартенситные нержавеющие — около $7.7 \cdot 10^3$, а аустенитные нержавеющие — около $8.0 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Тепловые свойства

Тепловые свойства, т.е. удельная теплоемкость, тепловое сопротивление и температурный коэффициент линейного расширения изменяются с температурой. В Табл. 3.42 приведены средние значения этих параметров для температур в области 20°C .

Табл. 3.42. Тепловые свойства железоуглеродистых сплавов

Материал	Удельная теплоемкость [Дж·кг ⁻¹ ·°C ⁻¹]	Удельная теплопроводность [Вт·м ⁻¹ ·°C ⁻¹]	Температурный коэфф. линейного расширения [10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹]
Легированная сталь	510	37	12
Углеродистая сталь	480	47	15
Литейный чугун, серый	265...460	53...44	11
Нержавеющая, ферритная	510	26	11
Нержавеющая, мартенситная	510	25	11
Нержавеющая, аустенитная	510	16	16

Примечание:

Преобразование Дж·кг⁻¹·°C⁻¹ в кал·г⁻¹·°C⁻¹ умножением на 2.39·10⁻⁴. Преобразование Вт·м⁻¹·°C⁻¹ в кал·см⁻¹·°C⁻¹ умножением на 2.39·10⁻³.

Свойства инструментальных сталей

Инструментальные стали можно сравнивать по их твердости и эксплуатационным характеристикам. Характеристиками твердости являются глубина закалки (как мера прокаливаемости), опасность растрескивания во время операции закалки, величина коробления и сопротивление обезуглероживанию (сталь, нагретая до температуры закалки, может терять углерод из поверхностных слоев, что ведет к нагреву поверхности). Изменение в эксплуатации таких характеристик, как износостойкость, ударная вязкость и обрабатываемость на станках, противодействует размягчающему нагреву при температурах, появляющихся во время применения инструмента. В Табл. 3.43 производится сравнение этих свойств для инструментальных сталей. В Табл. 3.44 даны значения твердости инструментальных сталей при их охлаждении и нагреве, типичные для каждой марки. Инструментальные стали марок D и O подвержены в основном меньшему короблению, чем другие марки, особенно коробление может сохраняться низким у марки O. Стали марки S обладают прочностью в условиях эксплуатации при наличии ударов. Стали марки H разработаны для использования при повышенных температурах. Быстрорежущие стали обладают твердостью, указанной в таблице; они сохраняют ее, хотя режущая кромка при резании с высокой скоростью разогревается.

(См. Система кодирования инструментальных сталей, Составы инструментальных сталей, Применение инструментальных сталей.)

Табл. 3.43. Сравнение свойств инструментальных сталей

АISI	Среда закалки	Глубина закаливания	Риск растрескивания	Коробление	Сопротивление обезуглероживанию	Сопротивление размягчению	Износостойкость	Прочность	Обрабатываемость на станках
Закалка в воде									
W1	W	P	H	H	VH	L	F	H	VG
W2	W	P	H	H	VH	L	F	H	VG
W5	W	P	H	H	VH	L	F	H	VG
Сопротивление ударной нагрузке									
S1	O	M	L	M	M	M	F	VG	F
S2	W	M	H	H	L	L	F	VG	F
S5	O	M	L	M	L	L	F	VG	F
S7	A	G	VL	L	M	H	F	VG	F
Закалка в масле									
O1	O	M	L	L	H	L	M	M	G
O2	O	M	L	L	H	L	M	M	G
O6	O	M	L	L	H	L	M	M	VG
O7	O	M	L	L	H	L	M	M	G
Закалка на воздухе									
A2	A	G	VL	VL	M	H	G	M	F
A3	A	G	VL	VL	M	H	VG	M	F
A4	A	G	VL	VL	M/H	M	G	M	P/F
A6	A	G	VL	VL	M/H	M	G	M	P/F
A7	A	G	VL	VL	M	H	VG	L	P
A8	A	G	VL	VL	M	H	F/G	H	F
A9	A	G	VL	VL	M	H	F/G	H	F
A10	A	G	VL	VL	M/H	M	G	M	F/G
Высокоуглеродистые высокохромистые стали									
D2	A	G	VL	VL	M	H	VG	L	P
D3	O	G	L	VL	M	H	VG	L	P
D4	A	G	VL	VL	M	H	VG	L	P
D5	A	G	VL	VL	M	H	VG	L	P
D7	A	G	VL	VL	M	H	VG	L	P
Хромистые стали для работы при высоких температурах									
H10	A	G	VL	VL	M	H	F	G	F/G
H11	A	G	VL	VL	M	H	F	VG	F/G
H12	A	G	VL	VL	M	H	F	VG	F/G
H13	A	G	VL	VL	M	H	F	VG	F/G
H14	A	G	VL	L	M	H	F	G	G
H19	A	G	L	L	M	H	F/G	G	G

Табл. 3.43 (продолжение)

AISI	Среды заковки	Глубина затвердевания	Риск растрескивания	Коробление	Сопротивление обезуглероживанию	Сопротивление размягчению	Износостойкость	Прочность	Обрабатываемость на станках
Вольфрамовые стали для работы при высоких температурах									
H21	A/O	G	L	L	M	H	F/G	G	G
H22	A/O	G	L	L	M	H	F/G	G	G
H23	A/O	G	L	L	M	VH	F/G	F	G
H24	A/O	G	L	L	M	VH	G	F	G
H25	A/O	G	L	L	M	VH	F	G	G
H26	A/O	G	L	L	M	VH	G	F	G
Молибденовые стали для работы при высоких температурах									
H42	A/O	G	L	L	M	VH	G	F	G
Вольфрамовые быстрорежущие стали									
T1	O	G	L	M	H	VH	VG	L	F
T1	A/S	G	L	L	H	VH	VG	L	F
T2	O	G	L	M	H	VH	VG	L	F
T2	A/S	G	L	L	H	VH	VG	L	F
T4	O	G	M	M	M	VH	VG	L	F
T4	A/S	G	M	L	M	VH	VG	L	F
T5	O	G	M	M	L	VH	VG	L	F
T5	A/S	G	M	L	L	VH	VG	L	F
T6	O	G	M	M	L	VH	VG	L	P/F
T6	A/S	G	M	L	L	VH	VG	L	P/F
Молибденовые быстрорежущие стали									
M1	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M1	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M2	O	G	M/H	M	M	VH	VG	L	F
M2	A/S	G	M/H	L	M	VH	VG	L	F
M4	O	G	M/H	M	M	VH	VG	L	P/F
M4	A/S	G	M/H	L	M	VH	VG	L	P/F
M6	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M6	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M7	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M7	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M10	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M10	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M30	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M30	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M33	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M33	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M34	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M34	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F

Табл. 3.43 (окончание)

AISI	Среда закалки	Глубина за-твердевания	Риск растрескивания	Коробление	Сопротивление обезуглероживанию	Сопротивление размягчению	Износостойкость	Прочность	Обрабатываемость на станках
M36	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M36	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M41	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M41	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M42	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M42	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M43	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M43	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M44	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M44	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M46	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M46	A/S	G	M/H	L	L	VH	VG	L	F
M47	O	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F
M47	A/S	G	M/H	M	L	VH	VG	L	F

Примечание:

Среда закалки: W — вода, O — масло, A — воздух, S — соль.

Глубина затвердевания: G — большая, M — средняя, P — маленькая.

Риск растрескивания: H — высокий, M — средний, L — низкий.

Коробление во время закалки: H — высокая степень, M — средняя, L — низкая, VL — очень низкая.

Сопротивление обезуглероживанию: VH — очень высокое, H — высокое, M — среднее, L — низкое или несущественное.

Сопротивление эффектам размягчения при нагреве: VH — очень высокое, H — высокое, M — среднее, L — низкое.

Сопротивление износу: VG — очень хорошее, G — хорошее, M — среднее, F — порядочное, L — низкое или несущественное.

Прочность: VH — очень высокая, H — высокая, M — средняя, L — низкая.

Обрабатываемость на станках: VG — очень хорошая, G — хорошая, F — порядочная, P — низкая.

Табл. 3.44. Значения твердости инструментальных сталей

Тип инструментальной стали	AISI	Твердость HRC	
		при 20°C	при 560°C
Закаленная в воде	W1	63	10
Сопротивление ударной нагрузке	S1	60	20
Закаленная в масле	O1	63	20
Закаленная на воздухе	A2	63	30
Высокоуглеродистая высокохромистая	D1	62	35
Быстрорежущая вольфрамовая	T1	66	52
Быстрорежущая молибденовая	M10	65	52

3.5. ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

Применение легированных сталей

В Табл. 3.45 и 3.46 приведены некоторые типичные области применения легированных сталей.

Табл. 3.45. Применение легированных сталей
по британскому стандарту

BS	Применение
Марганцевые стали	
150M19	Поддается качественной сварке, растягивающие напряжения свыше 540 МПа. Для большого диаметра валов, подъемных зубчатых колес
150M36	Хуже свариваемая, чем сталь 150M19, но с растягивающими напряжениями свыше 1000 Па при малых сечениях материала. Для осей, рычагов, частей пушек
Хромистые стали	
530M40	Растягивающие напряжения меньше 700 МПа. Для кривошипных валов, осей, соединяющих стержней
Марганцево-молибденовые стали	
605M36	Растягивающие напряжения свыше 850 МПа. Для массивных мощных валов, высокого растяжения стержней и болтов, соединительных стержней
608M38	Растягивающие напряжения свыше 1000 МПа. Для дифференциальных валов, соединительных стержней, высокого растяжения стержней и болтов
Никель-хромистые стали	
653M31	Растягивающие напряжения свыше 900 МПа. Для дифференциальных валов, высокого растяжения стержней и болтов, соединительных стержней
Хромолибденовые	
708M40	Растягивающие напряжения свыше 850 МПа при больших сечениях деталей и 930 МПа для малых сечений. Широкое применение
709M40	Применение, подобное стали 605M36, но незначительное, для деталей больших сечений. Обладает хорошим сопротивлением износу. Для болтов с высоким растяжением, путевых штырей
722M24	Может быть азотирована для получения поверхностной твердости 900 HV. Вязкая. Для массивных мощных кривошипных валов, деталей режущего инструмента
Никель-хромолибденовые стали	
817M40	Растягивающие напряжения свыше 1000 МПа для большого сечения профилей проката и 1500 МПа для малого и где необходимо выдерживать удары и иметь хорошие усталостные свойства, например у зубчатых колес
826M40	Для изделий, требующих растягивающих напряжений свыше 1400 МПа
835M30	Для изделий, требующих растягивающих напряжений свыше 1500 МПа
Марганцево-никель-хромолибденовые стали	
945M38	Подобно стали 817M40

Табл. 3.46. Применение легированных сталей по классификации Американского института черной металлургии

AISI	Применение
Марганцевые стали	
1330	Оси, валы, связывающие стержни, т.е. где требуются напряжения выше, чем для углеродистых сталей
1340	Подобно стали 1330
Молибденовые	
4037	Для задних осей приводов шестеренок и зубчатых передач
Хромомолибденовые	
4130	Имеет повышенную твердость, а также прочность и сопротивление износу по сравнению с аналогичной углеродистой сталью. Может быть закалена в масле вместо воды. Для деталей воздушных судов, осей автомобилей, резервуаров высокого давления
4140	Подобно стали 4130
Никель-молибденовые	
4620	Для трансмиссионных приводов, валов, роликовых подшипников
4820	Подобно стали 4620
Хромистые стали	
5130	Науглероженная сталь
5140	Имеет повышенные твердость, прочность и сопротивление износу по сравнению с подобной углеродистой сталью
5160	Как пружинная сталь
Никель-хромомолибденовые	
4340	Имеет предел эластичности, ударную прочность, сопротивление усталости и твердость выше по сравнению с углеродистой сталью. Для тяжелых режимов работы и деталей высокой прочности, например шасси
8620	Науглероженная сталь
8630	Для валов и штампованных поковок, требующих высокой прочности
8650	Подобно стали 8630
Кремнистые стали	
9260	Для тонколистовых пружин

Применение углеродистых сталей

Листовая сталь с низким содержанием углерода (0.06...0.12%) широко применяется для конструкций корпусов автомобилей и изделий из белой жести. Она формуется, легко сваривается и относительно дешевая, имеет достаточную прочность для областей, где не требуется высокая прочность. Такие стали обрабатываются без нагрева, и конечной их обработкой является холодная прокатка листового материала с обжатием на 3...5%.

По твердости углеродистые стали можно разделить на три группы: с низким содержанием углерода (0.10...0.25%), средним (0.25...0.55%) и высоким содержанием (0.55...1.00%). Стали с низким содержанием углерода обычно не закалены и отпущены,

но они могут быть науглерожены до состояния твердости. Такие стали применяются для лопастей двигателей, шкивов маховиков и других легко нагружаемых деталей. Среднеуглеродистые стали обладают после закалки и отпуска целым диапазоном свойств. Они имеют широкую сферу применения, например как валы или детали в автомобильных трансмиссиях, подвесках и штурвалах. Использование высокоуглеродистых сталей более ограничено, так как они имеют низкую формуемость и свариваемость, а также являются более дорогими. Они применяются в отожженном и отпущенном состояниях, например для зажимных кулачков.

Применение литейных чугунов

В Табл. 3.47 приведены некоторые области применения литейных чугунов. Серые чугуны имеют очень хорошую обрабатываемость на станках и стабильность, хорошее сопротивление износу, но низкий предел прочности на растяжение, а также низкую пластичность. Они обладают хорошей прочностью на сжатие, но низкими ударными свойствами. Белый чугун показывает великолепное сопротивление абразивному износу и высокую твердость. Он, однако, почти не поддается обработке на станках и из-за этого может быть получен в конечной форме только литьем. Ковкие чугуны хорошо обрабатываются на станках и стабильны, имеют более высокие предел на растяжение и пластичность, чем серые чугуны, а также лучшие ударные свойства. У пластичных чугунов высокий предел прочности на растяжение с приемлемой пластичностью. Их обрабатываемость на станках и характеристики износа приемлемые, но не такие хорошие, как у серых чугунов.

Табл. 3.47. Применение литейных чугунов

Материал	Применение
Серые чугуны	Водопроводные трубы, цилиндры двигателей и поршней, машинное литье, оболочки коленчатых рычагов, машинные инструментальные матрицы дыропробивных прессов, коллаки люков
Белый чугун	Закаленные водой детали, такие как измельчающие дроблением предметы и оборудование дробилок
Ковкие чугуны	Зубчатые втулки, педали, рычаги, основной скобяной товар, велосипедные и мотоциклетные рамы
Вязкие чугуны	Трубопроводы, кривошипные валы для тяжелого режима работы
Белый абразивно стойкий чугун	Оборудование переработки абразивных материалов и дробильные кулачки
Коррозионностойкий сплав	Изделия, обладающие кислотоупорностью. Сплав с повышенным содержанием кремния, из-за чего очень хрупкий и трудно обрабатывается на станках
Теплостойкий серый сплав	Высокостойкий к теплу, а также к коррозии. Ni Mn 13 7 немагнитный
Теплостойкий пластичный сплав	Упругий и пластичный при низких температурах. Высокопластичные никелевые сплавы имеют низкое тепловое расширение

Применение нержавеющей сталей

В Табл. 3.48 даны типичные области применения нержавеющей сталей. В основном это аустенитные стали, широко используемые и при нормальной, и при высокой температурах благодаря их высокой стойкости против коррозии и формовкости. Ферритные стали большей частью применяются как основные конструкционные материалы, где могут играть роль их хорошие коррозионные и тепловые свойства. Они, однако, применяются меньше, чем аустенитные стали, так как имеют плохую свариваемость, недостаточную пластичность и чувствительность к надрезу. Мартенситные стали менее коррозионностойкие, чем аустенитные или ферритные. Их параметры на растяжение контролируются при тепловой обработке, которой они подвергаются.

Табл. 3.48. Применение нержавеющей сталей

AISI	BS	Применение
Аустенитная		
201	—	Сталь с низким содержанием никеля, эквивалентная стали 301. Для покрытий шестеренок и внутренних отделок автомобилей
301	—	Когда требуются высокая прочность и высокая пластичность. Для покрытий шестеренок и внутренних отделок автомобилей, рельсовых вагонов, зажимов
302	302S31	Для холодной обработки давлением, в бытовых целях, декоративного назначения, например бытовых и домашних электроприборов, ручного оборудования для пищевых продуктов, пружин, баков, вывесок
304	304S31	Для химического и пищевого оборудования, желобов водосточных труб и разбрызгивателей
309	—	Имеет высокий температурный предел прочности и сопротивление окислению. Для оборудования тепловой обработки, теплообменников, облицовочного материала печей
—	310S31	Для высокотемпературных изделий, таких как компоненты печей и катоды электронных трубок
316	316S33	Имеет высокое сопротивление коррозии и ползучести. Для ручного химического оборудования
321	321S31	Титан в этом сплаве стабилизирует его свойства, откуда использование его там, где сварные конструкции подвержены различным коррозионным условиям и/или высоким температурам, например самолетные выхлопные патрубки, обшивки паровых котлов, резервуары высокого давления
Ферритная		
—	403S17	Мягкая и вязкая сталь. Для бытовых целей, прессования, тянутых компонентов, компонентов прядильного производства
405	—	Для структур, требующих сварки, закаленных штативов
409	—	Сталь основного назначения. Для автомобильных выхлопных систем и емкостей для сельскохозяйственных культур и удобрений
430	430S17	Сталь основного назначения. Для декоративной отделки, ванн моечных машин, нагревателей, баков для кислот
442	—	Для высокотемпературных целей, например для деталей печей
446	—	Для высокотемпературных изделий, например камер сгорания, изложниц для стекла, нагревателей, клапанов

Табл. 3.48 (окончание)

AISI	BS	Применение
Мартенситные		
403	420S29	Для лопаток турбин
410	410S21	Сталь основного назначения. Для деталей машин, резаков, шурупов, болтов, клапанов
—	416S21	Подобно стали 410
420	420S37	Для пружин, деталей машин, ножниц, болтов
431	431S29	Там, где необходимы очень высокие механические свойства, например в самолетных приборах
440C	—	Имеет повышенную твердость способных упрочняться нержавеющей сталей. Для подшипников, циркуляторов, сопел, деталей клапанов

Применение инструментальных сталей

В Табл. 3.49 даны области применения большинства обычно используемых инструментальных сталей.

Табл. 3.49. Применение инструментальных сталей

AISI	% C	Применение
Закаленные в воде		
W1	(0.9 C)	Калибры, зубила, пробойники, лезвия ножниц, клепочные штампы, объемные штампы, вырубной инструмент
—	(1.0 C)	Большие сверла, резаки, развертки, лезвия ножниц, столярные инструменты, инструменты холодной высадки головок заклепок, пробойники, счетчики сливных труб, вырубные штампы
—	(1.2 C)	Крученые сверла, резаки, развертки, столярные инструменты, метчики, напильники, токарные инструменты
W2	—	Большие сверла, резаки, развертки, столярные инструменты, лезвия ножниц, инструменты холодной высадки головок заклепок
W5	—	Тяжелые штампы и вытяжные штампы, развертки, большие пробойники, бритвенные лезвия, холодные гибочные ролики и штампы
Устойчивые к ударам		
S1	—	Дрели для бетона, пневматический инструмент, лезвия ножниц, штампы ковочных машин для высадки головок болтов, раскатки, резаки трубок, объемные штампы
S2	—	Ручные и пневматические зубила, лезвия ножниц, инструменты штамповки, раскатки, штампы, шпиндели, винты приводов зевов валков, хвостовики инструментов
S5	—	Ручные и пневматические зубила, лезвия ножниц, инструменты штамповки, раскатки, штампы, шпиндели, пробойники, вращающиеся ножницы, резаки трубок
S7	—	Лезвия ножниц, пробойники, зубила, матрицы гибки листового металла, вырубные матрицы, кулачки подушек валков, резаки трубок
Закаленные в масле		
O1	—	Вырубные, волочильные и обрезные матрицы, пресс-формы для пластмасс, лезвия ножниц, метчики, развертки, калибры, вкладыши подшипников, пробойники, кондукторы, ножи для резки бумаги

Табл. 3.49 (продолжение)

AISI	% C	Применение
02	—	Вырубные, штампующие, обрезные и гибочные матрицы и пробойники, метчики, развертки, калибры, вкладыши подшипников, кондукторы, циркулярные резак и пилы
06	—	Вырубные и гибочные матрицы, вырубные и гибочные пробойники, раскатки, гибочные ролики холодной штамповки, калибры, метчики, хвостовики, кондукторы
07	—	Вырубные и гибочные матрицы, раскатки, калибры, метчики, дрели, ножи для резки бумаги, столярные инструменты
Закаленные на воздухе		
A2	—	Ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, прессы выдавливания, обрезные, вырубные и чеканящие матрицы, раскатки, лезвия ножниц, вытягивающие и гибочные ролики, калибры, полирующие инструменты, пресс-формы для пластмасс, вкладыши подшипников, пробойники
A3	—	Подобно стали A2
A4	—	Вырубные, гибочные и обрезные штампы, пробойники, лезвия ножниц, раскатки, гибочные ролики, калибры, пробойники
A6	—	Вырубные, гибочные, чеканящие и обрезные штампы, пробойники, лезвия ножниц, раскатки, пресс-формы для пластмасс
A7	—	Вкладыши для установок дробеструйной очистки, гибочные штампы, калибры, волочильные штампы
A8	—	Вырубные, чеканящие и гибочные матрицы, лезвия ножниц
A9	—	Штампы для холодной высадки головок заклепок, чеканящие штампы, гибочные штампы и ролики, инструменты для деформирования в горячем состоянии, такие, как пробойники, раскатки, инструменты прессования, молоты
A10	—	Вырубные и гибочные штампы, калибры, пробойники, гибочные ролики, футеровочные плиты
Высокоуглеродистые высокохромистые стали		
D2	—	Вырубные, волочильные и холодной гибки штампы, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, лезвия ножниц, полирующие инструменты, пробойники, калибры, сверла, раскатки, резак
D3	—	Вырубные, волочильные и холодной гибки штампы, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, лезвия ножниц, полирующие инструменты, пробойники, калибры, гофрирующие штампы
D4	—	Вырубные машины, ободы колес намотки прокатанных периодических профилей, штампы для волочения проволоки, гибочные инструменты и ролики, пробойники, штампы для глубокой вытяжки
D5	—	Вырубные, чеканящие и обрезные штампы, лезвия ножниц, штампы для холодной гибки, пробойники, качественные резак
D7	—	Штампы для волочения проволоки, штампы глубокой вытяжки, керамические инструменты и штампы, вкладыши для пескоструйной очистки
Хромистые стали для работы при высоких температурах		
H10	—	Штампы для горячего прессования и горячей объемной штамповки, раскатки, пробойники, ножницы для горячей резки, штампы для штативов и стаканов
H11	—	Литейные штампы для легких сплавов, штампы для горячей объемной штамповки, пробойники, инструменты для прошивки, гильзы, раскатки

Табл. 3.49 (продолжение)

AISI	% C	Применение
H12	—	Штампы для прессования, пробойники, раскатки, штампы для горячей штамповки стаканов
H13	—	Литейные штампы и стаканы, штампы для прессования, штампы для горячей штамповки и стаканы
H14	—	Штампы для прессования алюминия и латуни, штампы для горячей штамповки и стаканы, пробойники для горячего прессования
H19	—	Штампы для прессования и стаканы, штампы для горячей объемной штамповки и стаканы, раскатки, инструменты для горячего пробоя
Вольфрамовые стали для работы при высоких температурах		
H21	—	Раскатки, штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для прессования и литейные штампы для латуни, клещи для штампов, ковочные машины для горячей высадки
H22	—	Раскатки, штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для прессования, клещи для штампов
H23	—	Штампы для прессования и литья латуни
H24	—	Штампы для горячей вырубки и вытяжки, обрезные штампы, штампы горячей прессовки, штампы горячей гибки, штампы горячейковки, штампы для прессования
H25	—	Штампы для горячей гибки, штампы для литья под давлением и горячей объемной штамповки, лезвия ножниц, клещи для штампов, раскатки, пробойники, штампы для обжатия труб на меньший диаметр
H26	—	Штампы для горячей вырубки, пробойники для горячей прошивки, штампы для горячей обрезки, клещи для штампов, штампы для прессования латуни и меди
Молибденовые стали для работы при высоких температурах		
H82	—	Штампы для холодной обрезки, холодные ковочные машины для высадки и штампы для прессования, штампы стаканов, штампы горячей высадки, пробойники для горячей прошивки, раскатки
Быстрорежущие вольфрамовые стали		
T1	—	Дрели, метчики, пуансоны для мощных прессов, сверла, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, пробойники, выплаивающие штампы, резки для размельчения
T2	—	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, резки для размельчения, сверла, развертки
T4	—	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, инструмент для расточки, дрели, резки для размельчения, сверла
T5	—	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, инструмент для тяжелых режимов работы, требующих соответствующей твердости
T6	—	Инструмент для мощных токарных и продольно-строгальных станков, дрели, резки для размельчения
Быстрорежущие молибденовые стали		
M1	—	Дрели, метчики, развертки, резки для размельчения, пуансоны мощного пресса, пробойники, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формирующие инструменты, сверла, пилы, фрезы, столярный инструмент
M2	—	Дрели, метчики, резки для размельчения, пуансоны, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формирующие резки, сверла, пилы, инструмент для холодной формовки

Табл. 3.49 (окончание)

AISI	% C	Применение
M4	—	Сверла для тяжелых режимов работы, развертки, резак для размельчения, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формирующие резак, вырубные штампы и пробойники, штампы для обжатия труб на меньший диаметр
M6	—	Инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, формирующий инструмент, резак для размельчения, инструмент для расточки
M7	—	Дрели, метчики, развертки, тракты, пилы, резак для размельчения, инструмент для токарных и продольно-строгальных станков, столярный инструмент, пробойники, пуансоны
M10	—	Подобно стали M7
M30	—	Инструмент для токарных станков, резак для размельчения, формирующий инструмент
M33	—	Дрели, метчики, инструмент для токарных станков, резак для размельчения
M34	—	Подобно стали M33
M36	—	Инструмент для мощных токарных и продольно-строгальных станков, резак для размельчения, дрели
M41	—	Дрели, резак для размельчения, инструмент для токарных станков, пуансоны, сверла, формирующие резак
M42	—	Подобно стали M41
M43	—	То же
M44	—	То же
M46	—	То же
M47	—	То же

Глава четвертая

Алюминиевые сплавы

4.1. МАТЕРИАЛЫ

Алюминий

Чистый алюминий — мягкий, очень вязкий материал. Его механические свойства зависят не только от его чистоты, но также и от суммарной обработки, которой он был подвергнут. С ее повышением твердость увеличивается. Алюминий имеет удельную электрическую проводимость, составляющую 65% от проводимости меди, но при равной массе он лучше проводит ток. Материал обладает малой плотностью ($2.7 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$), хорошими теплопроводностью и коррозионнотойкостью (из-за образования на поверхности тонкого слоя окисла, препятствующего проникновению кислорода в глубь материала), высокой пластичностью.

Сплавы алюминия

Алюминиевые сплавы можно разделить на две группы: ковкие и литейные. Каждый из этих сплавов можно разделить еще на две следующие группы: сплавы, не упрочняемые термообработкой, и те, которые можно упрочнять термообработкой. Неупрочняемые термической обработкой алюминиевые сплавы имеют высокую пластичность и коррозионнотойкость, хорошо свариваются. Пластическая деформация упрочняет их почти в 2 раза. Алюминиевые сплавы 2-й группы также обладают хорошей пластичностью и более высокой прочностью, стойки к образованию трещин при горячей пластической деформации, имеют более высокую вязкость разрушения.

Сплавы на основе алюминия обладают низкой плотностью, хорошими электрической и тепловой проводимостями и высокой коррозионной стойкостью. Коррозионная стойкость тонколистового сплава улучшается при плакировании его со слоями нелегированного алюминия.

Основные элементы, сплавляемые с алюминием, это медь, железо, марганец, магний, кремний и цинк. В Табл. 4.1 перечис-

Табл. 4.1. Изменение свойств алюминия при легировании

Элемент	Основные эффекты
Медь	Предел прочности возрастает примерно на 12%. Возможно преципитатное затвердевание. Обрабатываемость на станках улучшается
Железо	Предел прочности и твердость сплавов увеличиваются при малом процентном содержании, тепловые растрескивания в отливках уменьшаются
Марганец	Пластичность увеличивается. В комбинации марганца с железом жидкотекучесть сплава увеличивается
Магний	Предел прочности увеличивается. Возможно преципитатное затвердевание при содержании магния более 6%. Коррозионная стойкость увеличивается
Кремний	Способность металла заполнять литейную форму улучшается, великолепные отливки сплава. Коррозионная стойкость сплавов увеличивается
Цинк	Способность металла заполнять литейную форму ухудшается. Предел прочности при комбинации цинка с другими сплавляемыми элементами увеличивается

лены наиболее существенные эффекты, появляющиеся у сплавов при легировании.

Литейные сплавы

Сплав, применяемый в литейном процессе, должен легко заполнять все части литейной формы и затвердевать без слишком большой усадки. Некоторая неизбежная усадка не должна приводить к разрывам затвердевшего сплава. Выбор сплава влияет на процесс литья. В песочном литье скорость охлаждения относительно мала, а с литьем в пресс-форму, когда металл вводится под давлением, она намного больше. Скорость охлаждения влияет на предел прочности конечного литья. Следовательно, алюминиевый сплав, который подходит для песочного литья, может не подходить для такого же литья в пресс-форму.

Группа сплавов, которые применяются в условиях «как литье», т. е. с негорячей обработкой, имеют кремний в качестве основного сплавляемого элемента (см. на Рис. 4.1 равновесную диаграмму). Добавка кремния улучшает текучесть жидкого металла. Эвтектика сплавов алюминий—кремний находится при содержании кремния 11.6%. Сплав этого состава изменяется от жидкого состояния к твердому без какого-либо изменения температуры, а сплавы, близкие к этому составу, затвердевают в узком температурном диапазоне. Благодаря этому они более всего подходят для литья в пресс-форму, когда требуется быстрое изменение от жидкого состояния к твердому, что позволяет выталкивать их из пресс-формы с высокой скоростью. Микроструктура эвтектического состава имеет крупные кристаллы кремния, что вызывает снижение прочности и пластичности. Структуру можно сделать мельче путем модификации при добавке пример-

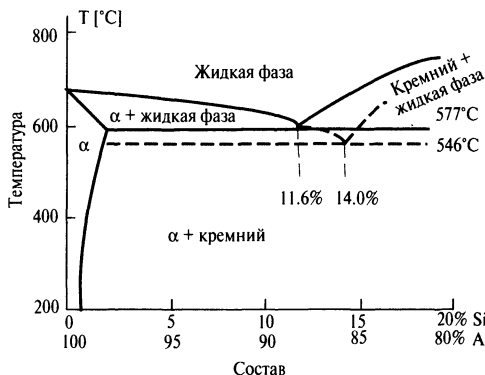


Рис. 4.1. Равновесная диаграмма алюминий—кремний

но 0.005...0.15% натрия и этим повысить механические свойства сплава. Такое же изменение эвтектического состава вызовет добавка около 14% кремния (см. штриховую линию на **Рис. 4.1**).

Другие литейные сплавы, которые не обрабатываются в горячем виде, — это сплавы алюминий—кремний—медь и алюминий—магний—марганец. Сплавы алюминий—кремний—медь могут быть отлиты как в песок, так и в формы, сплавы алюминий—магний—марганец подходят только для песочного литья.

Добавка меди к сплавам алюминий—кремний позволяет подвергать литье горячей обработке. Добавка малого количества магния к сплавам алюминий—кремний также дает возможность проводить горячую обработку материала.

(См. Система кодирования составов литейных сплавов, Система кодирования отпусков, Составы литейных сплавов, Отжиг, Горячая обработка литейных сплавов, Электрические свойства, Механические свойства, Применения литейных сплавов.)

Ковкие сплавы

Обычно применяемые не обрабатываемые в горячем виде ковкие алюминиевые сплавы — это сплавы алюминий—марганец и алюминий—магний (на **Рис. 4.2** показана необходимая нам часть равновесной диаграммы). Широко применяемая группа обрабатываемых в горячем виде сплавов базируется на основе сплава алюминий—медь (на **Рис. 4.3** показана часть относящейся к этим сплавам равновесной диаграммы). Когда такой сплав, как известно из научной литературы, с 3% меди немного охлажден, структура при 540°C твердого раствора α -фазы дает precipitates соединения медь—алюминий, если температура

уменьшается ниже линии солидуса. В результате при комнатной температуре будет твердый раствор α -фазы с этими преципитатами. Преципитаты скорее крупные, но их можно изменить нагревом сплава выше 500°C , выдержать при этой температуре, и тогда при затвердевании получается пересыщенный твердый раствор как раз α -фазы без преципитатов. Эта обработка, известная как обработка на твердый раствор, дает устойчивое состояние. Со временем образуются тонкие преципитаты. Нагрев вы-

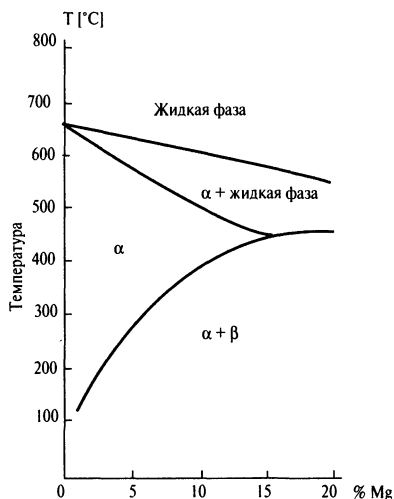


Рис. 4.2. Равновесная диаграмма сплавов алюминий—магний

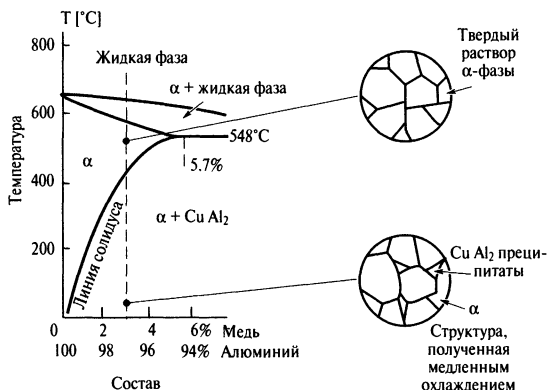


Рис. 4.3. Равновесная диаграмма сплавов алюминий—медь

ше примерно 165°C ускоряет на 10 ч этот процесс, вызывая старение и полный процесс преципитатного затвердевания, так что в результате получается прочный и твердый материал.

Другими обрабатываемыми в горячем виде ковкими сплавами алюминия являются алюминий—магний—кремний сплавы с преципитатами, формирующимися из соединений алюминий—медь и алюминий—медь—магний. Некоторые сплавы основаны на твердых растворах алюминий—магний—кремний и алюминий—цинк—магний—медь.

(См. Система кодирования составов ковких сплавов, Система кодирования отпуска сплавов, Отжиг, Горячая обработка ковких сплавов, Электрические свойства, Производственные свойства, Механические свойства, Тепловые свойства, Формовка материала, Применение ковких сплавов.)

4.2. КОДЫ И СОСТАВЫ СПЛАВОВ

Системы кодирования составов литейных сплавов

Для кодирования литейных алюминиевых сплавов Алюминиевая ассоциация (АА) США применяет систему в виде четырех цифр с последней цифрой, отделенной от других трех десятичной точкой. Первая цифра указывает основной сплавляемый элемент (см. Табл. 4.2). Вторая и третья цифры идентифицируют специфику сплава внутри группы. Четвертая цифра определяет произведенную форму изделия: 0 — литейный сплав, а 1 — слиток. Модификация исходного состава указывается буквой перед числовым кодом.

Табл. 4.2. Система кодирования составов литейных сплавов
Алюминиевой ассоциации

АА	Основные сплавляемые элементы
1XX.X	Алюминий минимальной чистоты 99.00%
2XX.X	Медь
3XX.X	Кремний плюс медь или магний
4XX.X	Кремний
5XX.X	Магний
6XX.X	Неиспользованные серии цифр
7XX.X	Цинк
8XX.X	Олово
9XX.X	Другие элементы

В соответствии с британским стандартом BS1490 код составов литейных сплавов включает буквы LM перед числом. Число указывает спецификацию сплава. В Табл. 4.3 приведены соотношения между литейными сплавами по британскому

Табл. 4.3. Эквивалентные номера литейных сплавов по британскому стандарту и системе Алюминиевой ассоциации

BS	AA
LM4	319.0
LM5	514.0
LM9	A360.0
LM10	520.0
LM12	222.0
LM13	336.0
LM16	355.0
LM18	443.0
LM20	413.0
LM21	319.0
LM24	A380.0
LM25	356.0
LM30	390.0

стандарту (BS) и теми же обычно применяемыми сплавами Алюминиевой ассоциации (AA), которые обсуждаются далее в этой главе.

Системы кодирования составов ковких сплавов

Система кодирования, применяемая для составов ковких алюминиевых сплавов, является той же, что и для литейных сплавов. Она использует четыре цифры. Первая указывает основной сплавляемый элемент (см. **Табл. 4.4**). Вторая характеризует модификации пределов примеси. Последние две цифры для сплавов 1XXX дают содержание алюминия выше 99.00% в сотых долях процента. Для сплавов в других сериях цифр последние две цифры просто идентифицируют их.

Табл. 4.4. Система кодирования составов ковких сплавов

AA	Основной сплавляемый элемент
1XXX	Алюминий минимальной чистоты 99.00%
2XXX	Медь
3XXX	Марганец
4XXX	Кремний
5XXX	Магний
6XXX	Магний и кремний
7XXX	Цинк
8XXX	Другие элементы
9XXX	Неиспользованные серии цифр

Системы кодирования твердости сплавов

Полная спецификация сплава, литейного или ковкого, требует характеристики его твердости, т. е. степени холодной или горячей обработки, связанной со спецификацией состава. В **Табл. 4.5** даны основные обозначения, применяемые по американской системе. Британская система является видоизменением американской и приведена в **Табл. 4.7**. Основными обозначениями служат буквы, число после них указывает степень холодной или горячей обработки, как видно из **Табл. 4.6** для большинства обычных кодов. Полная спецификация содержит код состава сплава и следующее через черту обозначение его степени твердости, например 1060-H14.

Табл. 4.5. Основные американские коды степени твердости сплавов

AA код	Степень твердости сплава
F	Соответствует только изготовленному
O	Отожжен
H	Упрочнен деформированием, только обработан ковкой
T	Обработан теплом для получения стабильной степени твердости, иной, чем по спецификации O или H
W	Обработан теплом. Применяется только для сплавов, которые прошли естественный путь затвердевания

Табл. 4.6. Подразделение кодов степени твердости сплавов

AA код	Степень твердости сплава
Упрочнение деформированием	
H1	Только что упрочнен деформацией, но нет тепловой обработки. Уменьшение твердости определяется второй цифрой (1...8). Единица указывает наименьшее суммарное затвердевание, а 8 — наибольшее. H12 обозначает четверть твердости, H14 — половину, H16 — три четверти, H18 — полностью твердый
H2	Упрочнен деформацией и частично отожжен. Уменьшение твердости после отжига указывается второй цифрой (1...8), как и у H1
H3	Упрочнен деформацией и стабилизирован тепловой обработкой при низкой температуре. Уменьшение твердости до стабилизации указывается второй цифрой (1...8), как и у H1
Тепловая обработка	
T1	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки и подвергнут естественному старению
T2	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки, подвергнут холодной обработке, деформирован в холодном состоянии и подвергнут естественному старению
T3	Тепловая обработка на твердый раствор, деформирован в холодном состоянии и подвергнут естественному старению
T4	Тепловая обработка на твердый раствор, подвергнут естественному старению. T42 указывает, что материалу разрешена обработка от O или F отпуска
T5	Охлажден от повышенной температуры процесса формовки и затем искусственно подвергнут старению

Табл. 4.6 (окончание)

AA код	Степень твердости сплава
T51	Снято напряжение при правке растяжением после тепловой обработки на твердый раствор и охлаждения от повышенной температуры формования. T510 — сплав, у которого не было дальнейшей обработки после правки растяжением. T511 — сплав, у которого имела место некоторая незначительная правка
T52	Снято напряжение при сжатии после тепловой обработки на твердый раствор или охлаждения от повышенной температуры формования
T54	Снято напряжение при комбинации правкой растяжением и сжатием
T6	Тепловая обработка на твердый раствор и затем искусственное старение. T62 — материал с тепловой обработкой на твердый раствор из О или F отпуска
T7	Тепловая обработка на твердый раствор и стабилизация
T8	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и искусственное старение
T9	Тепловая обработка на твердый раствор, искусственное старение и затем холодная обработка
T10	Охлажден от повышенной температуры процесса формования, холодная обработка и затем искусственное старение

Табл. 4.7. Британские коды степени твердости сплавов

BS код	AA код	Степень твердости сплава
M	F	Соответствует только изготовленному
O	O	Отожжен
H	H	Закален деформацией. Следующие номера (1...8) указывают степень твердости, как и у американских кодов
TB	T4	Тепловая обработка на твердый раствор и естественное старение. Нет холодной обработки после тепловой, возможно некоторое легкое разглаживание или правка
TB7	T7	Тепловая обработка на твердый раствор и стабилизация
TD	T3	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и естественное старение
TE	T10	Охлаждение от повышенной температуры процесса формовки и преципитатное упрочнение
TF	T6	Тепловая обработка на твердый раствор и преципитатное упрочнение
TF7	—	Тепловая обработка на твердый раствор, преципитатное упрочнение и стабилизация
TH	T8	Тепловая обработка на твердый раствор, холодная обработка и затем преципитатное упрочнение
TS	T	Термическая обработка до повышенной размерной стабилизации

Составы литейных сплавов

В Табл. 4.8 показаны составы обычно применяемых алюминиевых сплавов по системе Алюминиевой ассоциации, а в Табл. 4.9 — те же составы по британским стандартам.

Табл. 4.8. Составы литейных сплавов по системе Алюминиевой ассоциации

AA	Процесс	Состав содержания элементов в процентах				
		Si	Cu	Mg	Mn	Другие
Без тепловой обработки						
Сплавы алюминий—медь						
208.0	S*	3.0	4.0	—	—	—
213.0	S, P	2.0	7.0	—	—	—
Сплавы алюминий—кремний—медь/магний						
308.0	S, P	5.5	4.5	—	—	—
319.0	S, P*	6.0	3.5	—	—	—
360.0	D	9.5	—	0.50	—	<2.0 Fe
A360.0	D	9.5	—	0.50	—	<1.3 Fe
380.0	D	8.5	3.5	—	—	<2.0 Fe
Сплавы алюминий—кремний						
413.0	D	12.0	—	—	—	<2.0 Fe
C443.0	D	5.2	<0.6	—	—	<2.0 Fe
Термообработанные						
Сплавы алюминий—медь						
222.0	S, P	—	10.0	0.25	—	—
242.0	S, P	—	4.0	1.5	—	2.0 Ni
295.0	P	0.8	4.5	—	—	—
Сплавы алюминий—кремний—магний						
355.0	S, P	5.0	1.2	<0.50	—	<0.60 Fe, <0.35 Zn
356.0	S, P	7.0	<0.25	0.32	<0.35	—
357.0	S, P	7.0	—	0.50	—	—

Примечание:

Процесс S — песочное литье, P — литье в постоянную пресс-форму, D — литье в пресс-форму. В процессах S и P металл разливается в пресс-форму под собственным весом, в процессе D разливка идет под давлением. Процесс D дает фиксированную скорость охлаждения, S — замедленную скорость.

* — оптимальная тепловая обработка.

Табл. 4.9. Составы литейных сплавов по британскому стандарту

BS	Процесс	Средний состав элементов в процентах				
		Si	Cu	Mg	Mn	Другие
LM4	S, C	5.0	3.0	<0.15	0.4	<1.0 Fe, <0.3 Ni, <0.5 Zn
LM5	S, C	<0.3	<0.1	4.5	0.5	<0.6 Fe, <0.3 Ni, <0.1 Zn
LM6	S, C	11.5	<0.1	<0.1	<0.5	<0.6 Fe, <0.1 Ni, <0.1 Zn
LM9	S, C	11.5	<0.1	0.4	0.5	<0.6 Fe, <0.1 Ni, <0.1 Zn
LM10	S, C	<0.25	<0.1	10.2	<0.1	<0.35 Fe, <0.1 Ni, <0.1 Zn
LM12	C	<2.5	10.0	0.3	<0.6	<1.0 Fe, <0.5 Ni, <0.8 Zn
LM13	S, C	11.0	0.9	1.2	<0.5	<1.0 Fe, <1.5 Ni, <0.5 Zn

Табл. 4.9 (окончание)

BS	Процесс	Средний состав элементов в процентах				
		Si	Cu	Mg	Mn	Другие
LM16	S, C	5.0	1.3	0.5	<0.5	<0.6 Fe, <0.1 Zn, <0.25 Ni
LM18	S, C	5.3	0.1	<0.1	0.5	0.6 Fe, <0.1 Ni, <0.1 Zn
LM20	C	11.5	<0.4	<0.2	<0.5	<1.0 Fe, <0.1 Ni, <0.2 Zn
LM21	S, C	6.0	4.5	0.2	0.4	<1.0 Fe, <0.3 Ni, <2.0 Zn
LM24	C	8.0	3.5	<0.3	<0.5	<1.3 Fe, <0.5 Ni, <0.1 Zn
LM25	S, C	7.0	<0.1	0.4	<0.3	<0.5 Fe, <0.1 Ni, <0.1 Zn
LM30	C	17.0	4.5	0.6	<0.3	<1.1 Fe, <0.1 Ni, <0.2 Zn

Примечание:

Все составы содержат также около 0.1...0.3% Pb, 0.05...0.10% Sn и 0.2% Ti.
S — песочное литье, C — кокильная отливка.

Составы ковких сплавов

В Табл. 4.10 показаны составы обычно применяемых ковких сплавов по системе Алюминиевой ассоциации.

Табл. 4.10. Составы ковких сплавов

AA	Состав содержания элементов в процентах						
	Al	Mn	Mg	Cu	Si	Cr	Другие
Без тепловой обработки							
Нелегированный алюминий							
1050	>99.50	—	—	—	—	—	Cu, Si, Fe
1060	>99.60	—	—	—	—	—	Cu, Si, Fe
1100	>99.00	—	—	0.12	—	—	Si, Fe
1200	>99.00	—	—	—	—	—	Cu, Si, Fe
Сплавы алюминий—марганец							
3003	98.6	1.2	—	0.12	—	—	—
3004	97.8	1.2	1.0	—	—	—	—
3105	99.0	0.55	0.50	—	—	—	—
Сплавы алюминий—магний							
5005	99.2	—	0.8	—	—	—	—
5050	98.6	—	1.4	—	—	—	—
5052	97.2	—	2.5	—	—	0.25	—
5083	94.7	0.7	4.4	—	—	0.15	—
5086	95.4	0.4	4.0	—	—	0.15	—
5154	96.2	—	3.5	—	—	0.25	—
5252	97.5	—	2.5	—	—	—	—
5454	96.3	0.8	2.7	—	—	0.12	—
5456	93.9	0.8	5.1	—	—	0.12	—

Табл. 4.10 (окончание)

АА	Состав содержания элементов в процентах						
Термообработанные							
Сплавы алюминий—медь							
2011	93.7	—	—	5.5	—	—	0.4 Bi, 0.4 Pb
2014	93.5	0.8	0.5	4.4	0.8	—	—
2024	93.5	0.6	1.5	4.4	—	—	—
2219	93.0	0.3	—	6.3	—	—	0.06 Ti, 0.1 V, 0.18 Zr
2618	93.7	—	1.6	2.3	0.18	—	1.1 Fe, 1.0 Ni, 0.07 Ti
Сплавы алюминий—магний—кремний							
6061	97.9	—	1.0	0.28	0.6	0.2	—
6063	98.9	—	0.7	—	0.4	—	—
6151	98.2	—	0.6	—	0.9	0.25	—
6262	96.8	—	1.0	0.28	0.6	0.09	0.6 Bi, 0.6 Pb
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь							
7075	90.0	—	2.5	1.6	—	0.23	5.6 Zn
7178	88.1	—	2.7	2.0	—	0.26	6.8 Zn

4.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Отжиг

Типичные температуры и процедуры отжига для спецификации Алюминиевой ассоциации ковких сплавов приводят их к О степени твердости, как следует ниже. Для серии сплавов 1XXX, 3XXX, 5XXX эта температура 345°C, а время выдержки и скорость охлаждения не важны. Сплав 3003 является исключением, ему требуется температура отжига 415°C. Серии сплавов 2XXX и 6XXX требуют температуру отжига 415°C с выдержкой от 2 до 3 ч и охлаждение до 260°C со скоростью около 30°C/ч. Исключением является сплав 2036 с температурой отжига 385°C. Серии сплавов 7XXX требуют температуру 415°C и выдержку от 2 до 3 ч. В этом случае допускается неконтролируемое охлаждение примерно до 200°C с последующим повторным нагревом до 230°C на 4 ч. Исключением является сплав 7005, требующий температуру отжига 345°C и выдержку от 2 до 3 ч с последующим охлаждением до 200°C со скоростью 30°C/ч или менее.

Термическая обработка литейных сплавов

В Табл. 4.11 приведены параметры типичных видов термической обработки, термической обработки на твердый раствор и старение для обычно применяемых литейных сплавов Алюминиевой ассоциации. Термическая обработка на твердый раствор,

как правило, следует с закалкой в воде от 65 до 100°C. В Табл. 4.12 приведены аналогичные данные для литейных сплавов по британскому стандарту.

Табл. 4.11. Термическая обработка для литейных сплавов
Алюминиевой ассоциации

Сплав AA	Тип литья	Термическая обработка на твердый раствор		Термическая обработка на старение		Степень твердости
		Температура [°C]	Время [ч]	Температура [°C]	Время [ч]	
222.0	S	—	—	315	3	O
	S	510	12	155	11	T61
	P	—	—	170	16...22	T551
242.0	S	—	—	345	3	O
	S	—	—	205	8	T571
	S/P	515	4...12	205...230	3...5	T61
295.0	S	515	12	—	—	T4
	S	515	12	155	3...6	T6
	S	515	12	260	4...6	T7
	S/P	—	—	225	7...9	T51
355.0	S	525	12	155	3...5	T6
	P	525	4...12	155	2...5	T6
	S	525	12	225	3...5	T7
	P	525	4...12	225	3...9	T7
	S/P	—	—	225	7...9	T51
356.0	S	540	12	155	3...5	T6
	P	540	4...12	155	2...5	T6
	S	540	12	205	3...5	T7
	P	540	4...12	225	7...9	T7
	S/P	—	—	225	7...9	T51
357.0	S	540	10...12	155	10...12	T61
	P	540	8	175	6	T6

Примечание:

S — песочное литье, P — литье в постоянную пресс-форму.

Табл. 4.12. Термическая обработка для литейных сплавов
по британскому стандарту

BS	Термическая обработка на твердый раствор		Среда заковки	Преципитатная термическая обработка		Степень твердости
	Температура [°C]	Время [ч]		Температура [°C]	Время [ч]	
LM4	505...520	6...16	W 70...80	150...170	6...18	TF(T10)
LM9	—	—	—	150...170	16	TE(T6)
	520...535	2...8	W	150...170	16	TF(T6)
LM10	425...435	8	O 160m	—	—	TB(T4)
LM13	—	—	—	160...180	4...16	TE(T10)
	515...525	8	W 70...80	160...180	4...16	TF(T6)
	515...525	8	W 70...80	200...250	4...16	TF7

Табл. 4.12 (окончание)

BS	Термическая обработка на твердый раствор		Среда закалки	Преципитатная термическая обработка		Степень твердости
	Температура [°C]	Время [ч]		Температура [°C]	Время [ч]	
LM16	520...530	12	W 70...80	—	—	TB(T4)
	520...530	12	W 70...80	160...170	8...10	TF(T6)
LM25	525...545	4...12	W 70...80	250	2...4	TB7(T7)
	—	—	—	155...175	8...12	TE(T10)
	525...545	4...12	W 70...80	155...175	8...12	TF(T6)
LM30	—	—	—	175...225	8	TS(T)

Примечание:

Среда закалки: W — вода, W 70...80 — вода от 70 до 80°C, O 160m — масло при максимальной температуре 160°C.

Термическая обработка ковких сплавов

В Табл. 4.13 приведены параметры термической обработки на твердый раствор и преципитатной термической обработки с конечной закалкой для обычно применяемых ковких сплавов по спецификации Алюминиевой ассоциации. Условия закалки зависят от формы материала, например плоский лист или тянутый прутки, и от режимов обработок между обработками на твердый раствор и преципитатной. Таблица дает только указание на возможные последствия обработок. После термической обработки на твердый раствор сплавы закаляются в воде до комнатной температуры.

Табл. 4.13. Термическая обработка на твердый раствор и преципитатная термическая обработка

AA	Термическая обработка на твердый раствор		Преципитатная термическая обработка		
	Температура [°C]	Степень твердости	Температура [°C]	Время [ч]	Степень твердости
Сплавы алюминий—медь					
2011	525	T4(TB)	—	—	—
		+CW	—	—	—
2014	500	T3(TD)	160	14	T8(TH)
		T4(TB)	160	10/18	T6(TF)
		+CW	—	—	—
2024	495	T3(TD)	160	18	T6(TF)
		T4(TB)	—	—	—
		+CW	—	—	—
2219	535	T3(TD)	190	12	+CW T81(TH)
		+CW	—	—	—
		T31(TD)	190	18	+CW T81(TH)
		T42(TB)	190	36	T62(TF)

Табл. 4.13 (окончание)

AA	Термическая обработка на твердый раствор		Преципитатная термическая обработка		
	Температура [°C]	Степень твердости	Температура [°C]	Время [ч]	Степень твердости
Сплавы алюминий—магний—кремний					
6061	530	T4(TB)	160	18	T6(TF)
		T42(TB)	160	18	T62(TF)
6063	520	T4(TB)	175	8	T6(TF)
		T42(TB)	175	8	T62(TF)
6151	515	T4(TB)	170	10	T6(TF)
6262	540	T4(TB)	170	8	T6(TF)
		T42(TB)	170	8	T62(TF)
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь					
7075	480	W	120	24	T6(TF)
		+SR W51	120	24	T651

Примечание:

CW — холодная обработка, SR — снято напряжение. Где возможно, ближайшие эквиваленты сплавам по британскому стандарту для степеней твердости даны в круглых скобках.

4.4. СВОЙСТВА СПЛАВОВ**Плотность**

Плотность алюминия при 20°C равна $2.69 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а сплавы имеют плотность примерно $2.6 \dots 2.8 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Электрические свойства

В Табл. 4.14 и 4.15 приведены для температуры 20°C удельные электрические сопротивления сплавов в единицах Ом·м и электропроводности по шкале Международного стандарта на отожженную медную проволоку (IACS). Эта шкала выражает проводимости в процентах по отношению к проводимости отожженной меди при 20°C, удельное сопротивление которой равно $1.7241 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (стандарт удельного сопротивления).

Табл. 4.14. Электрические параметры литейных алюминиевых сплавов

BS/AA	Степень твердости	Проводимость [% IACS]	Удельное электрическое сопротивление [мкОм·м]
LM4/319.0	M, TF (F, T6)	32	0.054
LM5/514.0	M (F)	31	0.056
LM6	M	37	0.047
LM9/A360.0	M, TE (F, T10)	38	0.045
LM10/520.0	TB (T4)	20	0.086
LM12/222.0	M (F)	33	0.052

Табл. 4.14 (окончание)

BS/AA	Степень твердости	Проводимость [% IACS]	Удельное электрическое сопротивление [мкОм·м]
LM13/A332.0	TE, TF (T10, T6)	29	0.059
LM16/355.0	TB, TF (T4, T6)	36	0.048
LM18/443.0	M (F)	37	0.047
LM20/413.0	M (F)	37	0.047
LM21/319.0	M (F)	32	0.054
LM24/380.0	M (F)	24	0.072
LM25/356.0	M, TE (F, T10)	39	0.044
LM30/390.0	M, TS (F, T)	20	0.086

Примечание:

Закалки даны в обозначениях британского стандарта с указанием в круглых скобках соответствующих им американских эквивалентов.

Табл. 4.15. Электрические параметры ковких алюминиевых сплавов

AA	Степень твердости	Проводимость [% IACS]	Удельное сопротивление [мкОм·м]
Нелегированный алюминий			
1050	O	61	0.028
1060	O	62	0.028
	H18	61	0.028
1100	O	59	0.029
	H18	57	0.030
1200	O, H4, H8	60	0.029
Сплавы алюминий—медь			
2011	T3, T4(TD, TB)	39	0.044
	T8(TH)	45	0.038
2014	O	50	0.034
	T3, T4(TD, TB)	34	0.051
	T6(TF)	40	0.043
2024	O	50	0.034
	T3, T4(TD, TB)	30	0.057
	T6(TF)	37	0.046
	T8(TH)	39	0.044
2219	O	44	0.039
	T31, T37(TD)	28	0.062
	T351	—	—
	T62, T81(TF, TH)	30	0.057
	T851	—	—
2618	T61(TF)	37	0.047
Сплавы алюминий—марганец			
3003	O	47	0.037
	H12	42	0.041
	H14	41	0.042
	H18	40	0.043
3004	Все	42	0.041
3105	Все	45	0.038

Табл. 4.15 (окончание)

AA	Степень твердости	Проводимость [% IACS]	Удельное сопротивление [мкОм·м]
Сплавы алюминий—магний			
5005	O, H38	52	0.033
5050	O, H38	50	0.034
5052	O, H38	35	0.049
5083	Все	29	0.060
5086	Все	31	0.056
5154	Все	32	0.054
5252	Все	35	0.049
5454	Все	34	0.051
5456	Все	29	0.060
Сплавы алюминий—магний—кремний			
6061	O	47	0.037
	T4(TB)	40	0.043
	T6(TF)	43	0.040
6063	O	58	0.030
	T6(TF)	53	0.033
6151	O	54	0.032
	T4(TB)	42	0.041
	T6(TF)	45	0.038
6262	T9	44	0.039
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь			
7075	O	43	0.040
	T6(TF)	35	0.049

Примечание:

Степени твердости даны в американских обозначениях, при их отличии от британского стандарта соответствующие обозначения указаны в круглых скобках.

Технологические свойства

В Табл. 4.16 даны основные обозначения для обрабатываемости на станках и свариваемости алюминиевых сплавов.

Табл. 4.16. Технологические свойства алюминиевых сплавов

AA	Степень твердости AA (BS)	Обрабатываемость на станках	Свариваемость
Нелегированный алюминий			
1050	O, H12	P	G
	H14...16	F	G
1060	O, H12	P	G
	H14...18	F	G
1100	O, H12	P	G
	H14...18	F	G
1200	O, H12	P	G
	H14...18	F	G

Табл. 4.16 (продолжение)

AA	Степень твердости AA (BS)	Обрабатываемость на станках	Свариваемость
Сплавы алюминий—медь			
2011	T3,4,8(TD,TE,TH)	VG	No
2014	O	G	F
	T3,4,6(TD,TE,TH)	G/VG	F
2024	T3,4,8(TD,TE,TH)	G/VG	L
2219	T3,8(TD,TH)	G/VG	G
2618	T61(TH)	G/VG	L
Сплавы алюминий—марганец			
3003	O, H12	P	G
	H14...18	F	G
3004	O, H32	F	G
	H34...38	G	G
3105	O, H12	P	G
	H14...18	F	G
Сплавы алюминий—магний			
5005	O, H12	P	G
	H14...18	F	G
5050	O	P	G
	H32...38	F/G	G
5052	O, H32	F	G
	H34...38	G	G
5083	O, H111	F	F
	H323	F	F
5086	O, H32	F	F
	H34...38	G	F
5154	O, H32	F	F
	H34...38	G	F
5252	H24	F	G
	H25...28	G	G
5454	O, H32	F	F
	H34	G	F
5456	O	F	F
	H111,321	F	G
Сплавы алюминий—магний—кремний			
6061	O	F	G
	T4, T6(TB,TF)	G	G
6063	T1, T4(TB)	F	G
	T5, T6(TF)	G	G
6262	T6, T9(TF)	G/VG	G

Табл. 4.16 (окончание)

AA	Степень твердости AA (BS)	Обрабатываемость на станках	Свариваемость
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь			
7075	O	F	No
	T6(TF)	G/VG	No

Примечание:

Обрабатываемость на станках: VG — очень хорошая, дающая превосходный конечный вид деталей, G — хорошая, дающая хороший вид деталей, F — неплохая, дающая удовлетворительный конечный вид деталей, P — плохая, детали нуждаются в дополнительной обработке для получения удовлетворительного конечного вида. Свариваемость: G — хорошая, годная для всех технических способов сварки, F — хорошая, годная для большинства технических способов сварки, L — ограниченная свариваемость, No — не рекомендуется для сварки. Степени твердости даны в американских обозначениях, в круглых скобках — эквивалентные им обозначения по британскому стандарту.

Усталостные свойства

Предел усталости, при $50 \cdot 10^6$ циклах, алюминиевых сплавов находится в промежутке 0.3...0.5 от предела прочности на растяжение. Это значение для конкретного сплава зависит от его степени твердости.

Обрабатываемость на станках

См. Технологические свойства.

Механические свойства литейных сплавов

В Табл. 4.17 и 4.18 приведены механические свойства литейных алюминиевых сплавов. Модули упругости для всех сплавов равны примерно 71 ГПа, или $\text{ГН} \cdot \text{м}^{-2}$, за исключением сплавов с высоким процентным содержанием кремния (более 15%), у которых модули составляют 80...88 ГПа, или $\text{ГН} \cdot \text{м}^{-2}$. Чем выше процентное содержание кремния, тем выше модуль упругости сплава.

Табл. 4.17. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов по системе Алюминиевой ассоциации

AA	Процесс	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]
208.0	S	F(M)	145	97	2.5
242.0	S	T21	185	125	1
	S	T571	220	205	0.5
	S	T77	205	160	2
	P	T571	275	235	1
	P	T61	325	290	0.5

Табл. 4.17 (окончание)

AA	Процесс	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]
295.0	S	T4(TB)	220	110	8.5
	S	T6(TF)	250	165	5
308.0	P	F(M)	195	110	2
319.0	S	F(M)	185	125	2
	S	T6(TF)	250	165	2
	P	F(M)	235	130	2.5
	P	T6(TF)	280	185	3
355.0	S	T6(TF)	240	175	3
	S	T7	265	250	0.5
	P	T6(TF)	290	190	4
	P	T7	280	210	2
356.0	S	T6(TF)	230	165	3.5
	S	T7	235	210	2
	P	T6(TF)	265	185	5
	P	T7	220	165	6
360.0	D	F(M)	325	170	3
A360.0	D	F(M)	320	165	5
380.0	D	F(M)	330	165	3
413.0	D	F(M)	300	140	2.5
C443.0	S	F(M)	130	55	8

Примечание:

Значения пределов текучести указаны для 0.2% пробного напряжения. Значения степеней твердости даны в американских обозначениях с эквивалентными им обозначениями по британскому стандарту в круглых скобках. S — песочное литье, P — литье в постоянную пресс-форму, D — литье в пресс-форму.

Табл. 4.18. Механические свойства литейных алюминиевых сплавов по британскому стандарту

BS	Процесс	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]
LM4	S	M(F)	140	2
	S	TF(T6)	230	—
	C	M(F)	160	2
	C	TF(T6)	280	—
LM5	S	M(F)	140	3
	C	M(F)	170	5
LM6	S	M(F)	160	5
	C	M(F)	190	7
LM9	S	TE(T10)	170	1.5
	S	TF(T6)	240	—
	C	M(F)	190	3
	C	TE(T10)	230	2
	C	TF(T6)	295	—

Табл. 4.18 (окончание)

BS	Процесс	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]
LM10	S	TB(T4)	280	8
	C	TB(T4)	310	12
LM12	C	M(F)	170	—
LM13	S	TF(T6)	170	—
	S	TF7(T7)	140	—
	C	TE(T10)	210	—
	C	TF(T6)	280	—
	C	TF7	200	—
LM16	S	TB(T4)	170	2
	S	TF(T6)	230	—
	C	TB(T4)	230	3
	C	TF(T6)	280	—
LM18	S	M(F)	120	3
	C	M(F)	140	4
LM20	C	M(F)	190	5
LM21	S	M(F)	150	1
	C	M(F)	170	1
LM24	C	M(F)	180	1.5
LM25	S	M(F)	130	2
	S	TE(T10)	150	1
	S	TB7(T7)	160	2.5
	S	TF(T6)	230	—
	C	M(F)	160	3
	C	TE(T10)	190	2
	C	TB7(T7)	230	5
	C	TF(T6)	280	2
LM30	C	M(F)	150	—

Примечание:

Степени твердости даны в обозначениях британского стандарта с американскими аналогичными обозначениями в круглых скобках. S — песочное литье, C — кокильная отливка, у которой скорость охлаждения выше, чем в песочном литье, например как при литье под давлением.

Механические свойства ковких сплавов

В Табл. 4.19 приведены типичные механические свойства ковких сплавов по системе Алюминиевой ассоциации.

Табл. 4.19. Механические свойства ковких сплавов

АА	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость [НВ]
Нелегированный алюминий					
1050	O	76	28	—	—
	H14	110	105	—	—
	H18	160	145	—	—
1060	O	69	28	43	19
	H12	83	76	16	23
	H18	130	125	6	35
1100	O	90	34	35	23
	H12	110	105	12	28
	H18	165	150	5	44
1200	O	87	—	30	—
	H12	108	—	8	—
	H18	150	—	4	—
Сплавы алюминий—медь					
2011	T3(TD)	380	295	15*	95
	T8(TH)	405	310	15*	100
2014	O	185	97	18*	45
	T4(TB)	425	290	20*	105
	T6(TF)	485	415	13*	135
2014 плакиро- ванный	O	170	69	21	—
	T4(TB)	420	255	22	—
	T6(TF)	470	415	10	—
2024	O	185	76	20	47
	T3(TD)	485	345	18	120
	T4(TB)	470	325	20	120
2024 плакиро- ванный	O	180	76	20	—
	T4(TB)	440	290	19	—
	T81(TH)	450	415	6	—
2219	O	170	76	18	—
	T42(TB)	360	185	20	—
	T62(TF)	415	290	10	—
	T81(TH)	455	350	10	—
2618	Все	440	370	10	—
Сплавы алюминий—марганец					
3003	O	110	42	30	28
	H12	130	125	10	35
	H18	200	185	4	55
3004	O	180	69	20	45
	H32	215	170	10	52
	H38	285	250	5	77

Табл. 4.19 (продолжение)

АА	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость [НВ]
3105	O	115	55	24	—
	H12	150	130	7	—
	H18	215	195	3	—
Сплавы алюминий—магний					
5005	O	125	41	25	28
	H12	140	130	10	—
	H18	200	195	4	—
	H34	160	140	8	41
5050	O	145	55	24	36
	H32	170	145	9	46
	H38	220	200	5	63
5083	O	290	145	22*	—
	H112	305	195	16*	—
	H34	345	285	9*	—
5086	O	260	115	22	—
	H32	290	205	12	—
	H34	325	244	10	—
5154	O	240	115	27	—
	H32	270	205	15	67
	H38	330	270	10	80
5252	H25	235	170	11	68
	H28	285	240	5	75
5454	O	250	115	22	62
	H32	275	205	10	73
	H38	370	310	8	—
5456	O	310	160	24*	—
	H111	325	230	18*	—
	H321	350	255	16*	90
Сплавы алюминий—магний—кремний					
6061	O	125	55	25	30
	T4(TB)	240	145	22	65
	T6(TF)	310	275	12	95
6061 плакиро- ванный	O	115	48	25	—
	T4(TB)	230	130	22	—
	T6(TF)	290	255	12	—
6063	O	90	48	25	—
	T4(TB)	170	90	22	—
	T6(TF)	240	215	12	73
6151	T6(TF)	220	195	15	71
6262	T9	400	380	10*	120

Табл. 4.19 (окончание)

АА	Степень твердости	Предел прочности на растяжение [МПа]	Предел текучести [МПа]	Удлинение [%]	Твердость [НВ]
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь					
7075	О	230	105	17	60
	T6(TF)	570	505	11	150
7075 плакиро- ванный	О	220	95	17	—
	T6(TF)	525	460	11	—

Примечание:

* — указывает, что удлинение измерено на образце для испытаний толщиной 12,5 мм. Для всех других сплавов образцы для испытаний имели толщину 1,6 мм. Твердости измерены при нагрузке 500 кг с помощью шара диаметром 10 мм. Степени твердости обозначены соответственно американской системе, отличающиеся британские обозначения даны в круглых скобках.

Тепловые свойства

Температурный коэффициент линейного расширения ковких алюминиевых сплавов имеет тенденцию изменяться примерно от 22 до $24 \cdot 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, для литейных алюминиевых сплавов он в основном ниже, примерно от 18 до $22 \cdot 10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Оба значения указаны для температур $20 \dots 100^\circ\text{C}$. Ковкие сплавы имеют при 20°C коэффициент теплопроводности $100 \dots 200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, литейные сплавы — $90 \dots 150 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. В Табл. 4.20 приведены значения этих параметров для некоторых ковких сплавов.

Табл. 4.20. Тепловые свойства ковких алюминиевых сплавов

Сплав	Степень твердости	Температурный коэфф. линейного расширения [$10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]	Коэффициент теплопроводности [$\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$]
Нелегированный алюминий			
1050	О, Н8	24	230
1060	О, Н18	24	234
1100	О	24	222
	Н18	24	218
1200	О, Н4, Н8	24	226
Сплавы алюминий—медь			
2011	T3, T6(TD, TF)	23	163
2014	T4(TF)	22	142
	T6(TF)	22	159
2024	T3, T4(TD, TB)	23	121
2618	T6(TF)	22	151
3003	О	23	180
	Н18	23	155

Табл. 4.20 (окончание)

Сплав	Степень твердости	Температурный коэфф. линейного расширения $[10^{-6}, ^\circ\text{C}^{-1}]$	Коэффициент теплопроводности $[\text{Вт}\cdot\text{м}^{-1}, ^\circ\text{C}^{-1}]$
3105	Все	24	172
Сплавы алюминий—магний			
5005	Все	24	201
5050	Все	24	191
5052	Все	24	137
5083	Все	25	109
5086	Все	24	127
5154	Все	25	138
5454	Все	24	147
5456	Все	24	116
Сплавы алюминий—магний—кремний			
6061	Все	24	156
6063	T4(TB)	24	197
	T6(TF)	24	201
6151	T4(TB)	23	163
	T6(TF)	23	175
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь			
7075	T6(TF)	24	130

Примечание:

Степени твердости даны в американской системе, отличающиеся значения по британскому стандарту указаны в круглых скобках.

Свариваемость сплавов

См. Показатели обрабатываемости.

4.5. ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВОВ**Формы материала**

В Табл. 4.21 показаны нормальные произведенные формы ковкого материала согласно спецификации Алюминиевой ассоциации.

Табл. 4.21. Формы ковкого сплава

AA	Тон-ко-листо-вой	Тол-сто-листо-вой	Подвергнут экструзии			Холодная финишная прямоугольная полоса	Тяннутая труба	Поков-ка
			Прямоугольная полоса	Фасонная	Труба			
Нелегированный алюминий								
1050			*	*	*		*	*
1060			*	*	*		*	

Табл. 4.21 (окончание)

AA	Тон- ко- листо- вой	Тол- сто- листо- вой	Подвергнут экструзии			Холодная финишная прямоуголь- ная полоса	Тянутая труба	Поков- ка
			Прямоугольная полоса	Фасонная	Труба			
1100	*	*	*	*	*	*	*	*
1200	*	*	*	*	*	*	*	*
Сплавы алюминий—медь								
2011	*	*		*		*	*	
2014	*	*	*	*	*	*	*	*
2024	*	*	*	*	*	*	*	
2219	*	*	*	*	*	*		*
2618								*
Сплавы алюминий—марганец								
3003	*	*	*	*	*	*	*	*
3004			*	*	*		*	
3105			*					
Сплавы алюминий—магний								
5005			*		*	*		
5050			*		*	*	*	
5052			*		*	*	*	
5083	*	*	*	*	*			*
5086	*	*	*	*	*		*	
5154	*	*	*	*	*	*	*	
5252			*	*				
5454	*	*	*	*	*			*
5456	*	*	*	*	*		*	*
Сплавы алюминий—магний—кремний								
6061	*	*	*	*	*	*	*	*
6063	*	*		*			*	
6151								*
6262	*	*		*		*	*	
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь								
7075	*	*	*	*	*	*	*	*
7178			*		*			*

Применение литейных сплавов

В Табл. 4.22 показаны типичные области применения литейных алюминиевых сплавов. Сплавы алюминий—кремний с некоторым количеством меди и/или магния применяются очень широко. Они имеют преимущество перед сплавами алюминий—медь благодаря их лучшим текучести в жидком состоянии и сопротивлению коррозии.

Табл. 4.22. Типичные области применения литейных сплавов

AA/BS		Применение
Сплавы алюминий—медь		
208.0		Песочный литейный сплав основного назначения — для выхлопных патрубков и клапанов станин
213.0		Головки цилиндров автомобилей, мешалки моечных машин
222.0	LM12	Поршни
242.0		Поршни в двигателях с высоким к.п.д.
295.0		Для литья, требующего высокой прочности и сопротивления ударам
Сплавы алюминий—кремний—медь/магний		
308.0		Сплав непрерывного кокильного литья основного назначения
319.0	LM4/21	Сплав основного назначения — для частей двигателей
336.0	LM13	Сплав непрерывного кокильного литья
355.0	LM16	Обладает высокой прочностью и герметичностью под давлением. Станины насосов, кожухи кривошипов, корпуса компрессоров
356.0	LM25	Для сложной формы литья, требующего прочности и пластичности. Кожухи трансмиссий, колеса вагонов, блоки цилиндров, части небортных моторов, лопасти вентиляторов, пневматический режущий инструмент
360.0	LM9	Сплав основного назначения — для литья в пресс-форму. Кожухи инструментов
380.0	LM24	Отлитый в пресс-форму сплав
390.0	LM30	То же
Сплавы алюминий—кремний		
413.0	LM20	Отлитый в пресс-форму сплав, для большого сложного литья с тонкими секциями, например каркасов пишущих машинок
C443.0	LM18	Отлитый в пресс-форму сплав, для отливок, требующих высокого сопротивления коррозии и ударам
Сплавы алюминий—магний		
514.0	LM5	Сплав песочного литья
520.0	LM10	То же

Применение ковких сплавов

В Табл. 4.23 показаны типичные области применения ковких сплавов.

Табл. 4.23. Типичные области применения ковких алюминиевых сплавов

Сплав	Применение
Нелегированный алюминий	
1050	Изготовленные холодным прессованием трубы, химическое оборудование
1060	Химическое оборудование
1100	Тонколистовой обработанный металл, вытянутые в нить пустотелые изделия
1200	Изготовленные холодным прессованием трубы, обработанный тонколистовой металл
Сплавы алюминий—медь	
2011	Изделия с винтовой нарезкой
2014	Авиационные конструкции, рамы для вагонов
2024	Авиационные конструкции, вагонные колеса
2219	Применяется для высокой прочности сварных соединений в конструкциях, работающих при температуре 350°С и выше, например авиационные детали
2618	Части авиационных двигателей
Сплавы алюминий—марганец	
3003	Нерастягиваемые сварные соединения, обработанный тонколистовой металл, скобяные изделия, емкости хранилищ, резервуары под давлением, химическое оборудование
3004	Обработанный тонколистовой металл, емкости хранилищ
3105	Скобяные изделия, обработанный тонколистовой металл
Сплавы алюминий—магний	
5005	Электрические проводники, архитектурные детали отделки, в основном нерастягиваемые
5050	Скобяные изделия, змеевики труб
5052	Обработанный тонколистовой металл, гидравлические трубы
5083	Резервуары со швами, полученными при сварке давлением, детали морских судов, автомобилей и самолетов
5086	То же
5154	Сварные конструкции, емкости хранилищ, резервуары под давлением
5252	Для отделки автомобилей и приборов
5454	Сварные конструкции, резервуары под давлением, детали для конструкций морских судов
5456	Высокая прочность сварных конструкций. Емкости хранилищ, резервуары под давлением, детали для конструкций морских судов
Сплавы алюминий—магний—кремний	
6061	Хорошее коррозионное сопротивление. Вагоны и морские суда, трубопроводы, арматура
6063	Архитектурные детали (прессованные), трубы, фурнитура
6151	Умеренная прочность, сложная горячая объемная штамповка. Детали автомобилей и других машин
6262	Изделия с винтовой нарезкой
Сплавы алюминий—цинк—магний—медь	
7075	Гидравлическое оборудование, самолетные конструкции
7178	То же

Глава пятая

Медь

5.1. МАТЕРИАЛЫ

Медь

Медь обладает очень высокими электрической и тепловой проводимостями и легко поддается любой горячей или холодной обработке. Чистая медь — очень пластичный и относительно мягкий материал. Обработка деформацией увеличивает ее твердость и предел прочности на растяжение, но уменьшает пластичность. Она имеет большую коррозионную стойкость, обусловленную реакцией на поверхности между металлом и кислородом воздуха, в результате чего получается тонкий защитный окисный слой.

Медь широко применяется в производстве электрических проводов как в виде металла высокой чистоты, так и с очень малыми добавками мышьяка, фосфора, серебра, серы или теллура.

Очень чистая медь получается при электролитическом процессе рафинирования. Она выделяется на катоде электролитической ячейки и поэтому называется катодной медью. Имея чистоту выше 99,99%, применяется главным образом как неочищенный материал для изготовления сплавов, в частности как литейный материал.

Электролитическая, прочная, с высоким уровнем проводимости медь производится из катодной меди, которая расплавляется и разливается в формы квадратного сечения при непрерывной разливке и в любые другие необходимые формы. Она содержит малое количество кислорода, присутствующего в виде окиси меди, которая слабо влияет на ее электрическую проводимость. Полученную таким образом медь не следует нагревать в атмосфере, где она может соединяться с водородом, поскольку водород диффундирует внутрь металла и соединяется с окисью меди, вызывая ее испарение, из-за чего происходит растрескивание.

Отнеупорная, рафинированная, высокой проводимости медь производится из примесной меди в процессе рафинирующего обжига, при котором загрязненная медь плавится в окислитель-

ной атмосфере. Примеси, реагируя с кислородом, дают шлак, который затем удаляют. В результате очистки медь имеет показатели прочности и электрической проводимости почти такие же, как и электролитическая медь.

Бескислородная, высокой проводимости медь может быть изготовлена из катодной меди путем расплавления ее и разлива в формы квадратного сечения в атмосфере, где нет кислорода. Такая медь может применяться в атмосфере с водородом. Другой метод производства бескислородной меди состоит в добавке к ней фосфора во время рафинирования. Эффект малого количества фосфора приводит к очень заметному падению электрической проводимости меди. Эта медь известна как раскисленная фосфором медь, она дает качественные сварные швы в отличие от других типов меди. Добавка малого количества мышьяка в медь увеличивает ее предел прочности на растяжение, но значительно уменьшает электрическую проводимость. Она называется мышьяковистой медью.

(См. Коды составов меди, Коды отпуска, Составы литейных сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства литейных сплавов, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение литейных сплавов, Применение ковких сплавов.)

Медные сплавы

В Табл. 5.1 приведены основные группы медных сплавов и входящие в них сплавляемые элементы. Равновесные диаграммы составов бинарных сплавов, рассматриваемых здесь, показаны на Рис. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 и 5.6. Многим сплавам внутри групп сплавов даны особые наименования.

Табл. 5.1. Основные группы медных сплавов

Наименование группы	Основные сплавляемые элементы	Равновесная диаграмма
Латуни	Медь, цинк	Рис. 5.1
Бронзы	Медь, олово	Рис. 5.2
Фосфористые бронзы	Медь, олово, фосфор	—
Пушечные бронзы*	Медь, олово, цинк	—
Алюминиевые бронзы	Медь, алюминий	Рис. 5.3
Бериллиевые бронзы	Медь, бериллий	Рис. 5.4
Кремнистые бронзы	Медь, кремний	Рис. 5.5
Медно-никелевые сплавы	Медь, никель	Рис. 5.6
Нейзильберы	Медь, никель, цинк	—

* В США эти сплавы в основном называют оловянными латунями.

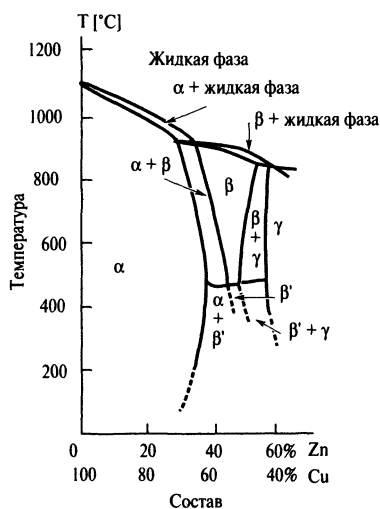


Рис. 5.1. Равновесная диаграмма медь—цинк

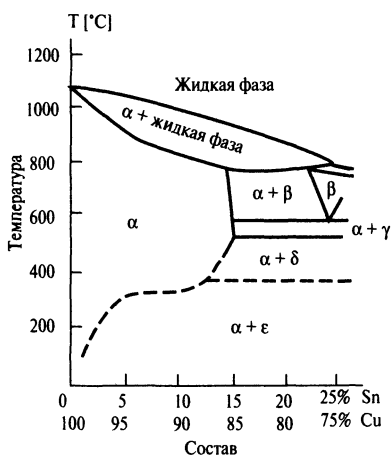


Рис. 5.2. Равновесная диаграмма медь—олово

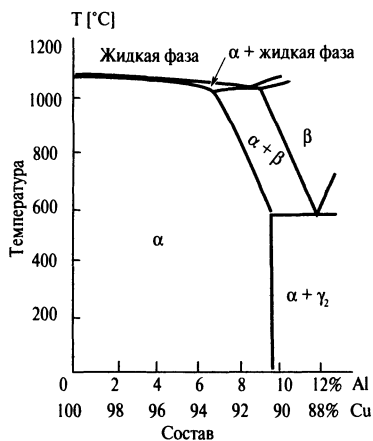


Рис. 5.3. Равновесная диаграмма медь—алюминий

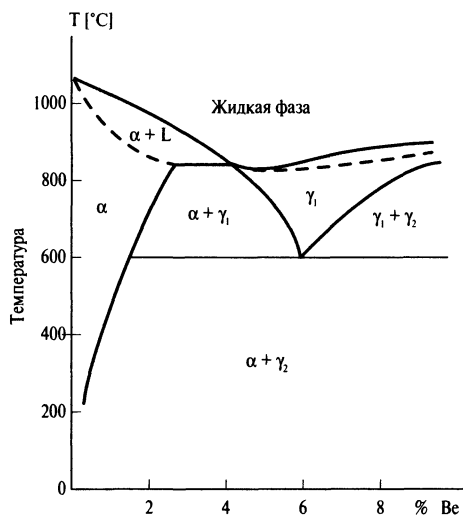


Рис. 5.4. Равновесная диаграмма медь—бериллий

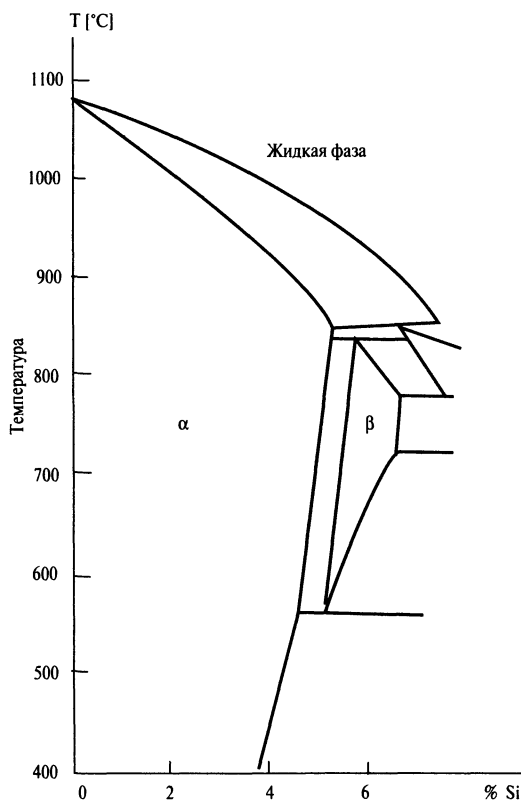


Рис. 5.5. Равновесная диаграмма медь—кремний

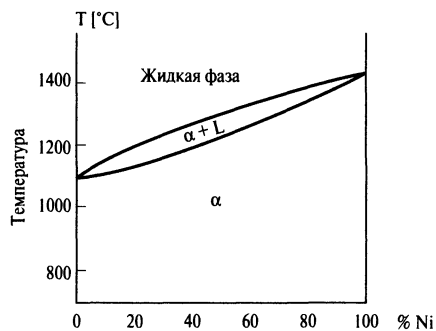


Рис. 5.6. Равновесная диаграмма медь—никель

Латуни

Латуни — это сплавы медь—цинк, содержащие примерно 43% цинка. Латуни с содержанием цинка меньше 35% затвердевают, как простые α -фазы латуни. Эти латуни имеют высокую пластичность и могут легко обрабатываться в холодном состоянии. Латунь с содержанием 15% цинка известна как золоченая латунь, с содержанием цинка 30% — как патронная латунь или латунь 70/30. При содержании цинка между 35 и 45% латуни затвердевают из смеси двух фаз. Эти латуни легче поддаются горячей обработке, но труднее — холодной. Они известны как α — β -фазы, или дуплексные латуни. Название мунц-металл дано латуни с содержанием 40% цинка. Добавка свинца к мунц-металлу значительно улучшает его обрабатываемость на станках. Латуни пригодны в обеих формах — литейной и ковкой.

(См. Коды составов, Коды отпуска сплавов, Составы литейных сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства литейных сплавов, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение литейных сплавов, Применение ковких сплавов.)

Оловянные бронзы

Структура сплава меди с 10%-ным содержанием олова, что встречается при нормальном охлаждении из жидкого состояния, является простой α -структурой, такой фазой, которая дает пластичный материал. Более высокое процентное содержание олова в сплаве приводит к существенному наличию δ -фазы. Получается хрупкая интерметаллическая композиция. α -Бронзы с содержанием олова выше 8% могут обрабатываться в холодном состоянии, давая хорошие механические свойства. Высокое содержание олова, примерно 10% или выше, делает бронзу совершенно неподдающейся обработке, но такие сплавы используются для литья.

Добавка в оловянную бронзу примерно 0.4% фосфора дает сплав, называемый фосфорной бронзой. Термин «пушечный металл» применяется для оловянных бронз, когда присутствует также цинк. Свинец, добавленный к пушечному металлу, дает свинцовый пушечный металл с хорошими механическими свойствами.

Бронзы пригодны в обеих формах — литейной и ковкой.

(См. Коды составов, Коды для отпуска сплавов, Составы литейных сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства литейных сплавов, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение литейных сплавов, Применение ковких сплавов.)

Алюминиевые бронзы

Сплавы алюминий—медь с содержанием алюминия около 9% дают простую α -фазу алюминиевых бронз. Эти сплавы могут легко обрабатываться в холодном состоянии, в частности, если они имеют меньше 7% алюминия. Дуплекс, α — β -сплавы содержат от 9 до 10% алюминия и большей частью применяются для литья. Литейные алюминиевые бронзы и многие ковкие алюминиевые бронзы содержат также железо и некоторое количество никеля и марганца.

Алюминиевые бронзы пригодны для обеих форм — литейной и ковкой.

(См. Коды составов, Коды для отпуска сплавов, Составы литейных сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Закалка и отпуск, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства литейных сплавов, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение литейных сплавов, Применение ковких сплавов.)

Бериллиевые бронзы

Это две группы бериллиевых бронз: одна с содержанием бериллия около 0.4% и другая с содержанием его от 1.7 до 2.0%. Обычно присутствует в них также кобальт. Сплавы имеют высокую прочность, но более дорогие.

(См. Коды составов, Коды отпуска сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Дисперсионное твердение, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение ковких сплавов.)

Кремнистые бронзы

Кремнистые бронзы — это сплавы медь—кремний, содержащие в основном от 1 до 4% кремния и дающие простую α -фазу структуры. Сплавы имеют высокое сопротивление коррозии, очень хорошую свариваемость, могут быть получены литьем и горячей или холодной обработкой.

(См. Коды составов, Коды отпуска сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Параметры ползучести, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение ковких сплавов.)

Медно-никелевые сплавы

Медь и никель полностью растворимы в каждом из обоих состояний — жидком и твердом. Они таким образом формируются в

простую структуру α -фазы по всему диапазону составов от 0 до 100% и могут обрабатываться в холодном или горячем состоянии во всем диапазоне составов. Сплавы имеют высокий предел растяжения и высокую пластичность и обладают хорошим сопротивлением коррозии.

Если к сплаву добавлен цинк, то результирующий сплав, называемый нейзильбером, имеет серебристый цвет. Эти сплавы существуют в диапазоне составов от 8 до 18% никеля и от 17 до 27% цинка. Они обладают хорошей формруемостью и сопротивлением коррозии. Сплавы имеют в основном простую структуру α -фазы.

Оба сплава, медно-никелевый и нейзильбер, производят большей частью в ковкой форме, хотя выпускается и литейный нейзильбер.

(См. Коды составов, Коды отпуска составов, Составы литейных сплавов, Составы ковких сплавов, Отжиг, Параметры ползучести, Твердость, Механические свойства литейных сплавов, Механические свойства ковких сплавов, Паяемость, Тепловые свойства, Свариваемость, Формовка, Применение литейных сплавов, Применение ковких сплавов.)

5.2. КОДЫ И СОСТАВЫ СПЛАВОВ

Системы кодирования составов

Обычно используемая американская система, разработанная Ассоциацией содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA), приведена в Табл. 5.2. В коде применяется буква С, расположенная перед тремя цифрами. Первая указывает группу сплавов, а две другие — сплавы внутри группы. Обозначения от C1XX до C7XX употребляют для ковких сплавов, а C8XX и C9XX — для литейных сплавов. Часто в ссылки букву С не включают, используя только три цифры.

В системе британских стандартов (BS) ковкая медь и медные сплавы специфицированы двумя буквами (в виде исключения одной), стоящими перед тремя цифрами. Буквы указывают группу сплава, а цифры — сплав внутри этой группы. В Табл. 5.3 приведены буквы этой системы кодов. Для определения литейных сплавов употребляются буквы, находящиеся при цифре (Табл. 5.4).

Табл. 5.2. Коды меди и ее сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA)

Код CDA	Сплавляемая группа элементов
Ковкие сплавы	
C1XX	Медь с минимальной чистотой 99.3% Cu, сплавы с высоким содержанием меди между 96 и 99.3%
C2XX	Сплавы медь—цинк, т. е. латуни

Табл. 5.2 (окончание)

Код CDA	Сплавляемая группа элементов
C3XX	Сплавы медь—цинк—свинец, т. е. свинцовые латуни
C4XX	Сплавы медь—цинк—олово, т. е. оловянные латуни
C5XX	Сплавы медь—олово, т. е. бронзы/фосфорные бронзы
C6XX	Сплавы медь—алюминий, т. е. алюминиевые бронзы, сплавы медь—кремний, т. е. кремнистые бронзы, и разнообразные сплавы медь—цинк
C7XX	Сплавы медь—никель, т. е. медно-никелевые, сплавы медь—никель—цинк, т. е. нейзильберы
Литейные сплавы	
C8XX	Литейные меди, сплавы с высоким содержанием меди, латуни различных типов, сплавы марганец—бронза, сплавы медь—цинк—кремний
C9XX	Литейные сплавы медь—олово, сплавы медь—олово—свинец, сплавы медь—олово—никель, сплавы медь—алюминий—железо, сплавы медь—никель—железо, сплавы медь—никель—цинк

Табл. 5.3. Коды ковкой меди и ее сплавов по британскому стандарту

Код BS	Сплавляемая группа элементов
C	Медь и сплавы с низким содержанием меди
CA	Сплавы медь—алюминий, т. е. алюминиевые бронзы
CB	Сплавы медь—бериллий, т. е. бериллиевые бронзы
CN	Сплавы медь—никель, т. е. медно-никелевые сплавы
CS	Сплавы медь—кремний, т. е. кремнистые бронзы
CZ	Сплавы медь—цинк, т. е. латуни
NS	Сплавы медь—цинк—никель, т. е. нейзильберы
PB	Сплавы медь—олово—фосфор, т. е. фосфорные бронзы

Табл. 5.4. Коды литейной меди и ее сплавов по британскому стандарту

Код BS	Сплав
AB1, AB2, AB3	Алюминиевые бронзы
CMA1	Медь—марганец—алюминий
CN1	Медь—никель—хром
CN2	Медь—никель—ниобий
CT1	Оловянная бронза для основных назначений
CT2	Оловянная бронза с никелем
DCB1, DCB3	Латунь для кокильного литья
G1	Адмиралтейская пушечная бронза (80—10—2)
G3, G3-TF	Никелевая пушечная бронза
HCC1	Медь высокой проводимости
HTB1, HTB3	Латунь с высоким пределом растяжения
LB1	Свинцовая бронза (79—9—0—15)*
LB2	Свинцовая бронза (80—10—0—10)
LB4	Свинцовая бронза (85—5—0—10)
LB5	Свинцовая бронза (75—5—0—20)

Табл. 5.4 (окончание)

Код BS	Сплав
LG1	Свинцовая пушечная бронза (83—3—9—5)
LG2	Свинцовая пушечная бронза (83—3—9—5)
LG4	Свинцовая пушечная бронза (85—5—5—5)
LPB1	Свинцово-фосфорная бронза (87—7—3—3)
PB1, PB4	Фосфорная бронза для подшипников
PB2	Фосфорная бронза для механизмов
PCB1	Латунь для литья под давлением в форму
SCB1, SCB3	Латунь для основного назначения
SCB4	Судостроительная латунь для песочного литья
SCB6	Качественно паяемая латунь

*В оригинале допущена неточность.

Системы кодирования твердости сплавов

Американское общество металлстов имеет свыше сотни обозначений степени твердости для медных сплавов. Лишь немногие из них совпадают с обозначениями британских стандартов. В Табл. 5.5 показаны основные обозначения обеих систем и их взаимоотношения.

Табл. 5.5. Коды степеней твердости сплавов по системе Американского общества по испытанию материалов (ASTM) и британскому стандарту (BS)

BS		ASTM	
Код	Степень твердости	Код	Степень твердости
O	Отожжен	O10...O82	Отожжен для создания определенных свойств, например:
		O50	слегка отожжен
		O70	полностью размягчающий отжиг
		OS005...	Отожжен для получения определенного размера зерна, например:
		OS200	
		OS005	средний размер зерна 0.005 мм
H	Холодная обработка для затвердевания, например:	OS200	средний размер зерна 0.200 мм
		H00...H14	Холодная обработка до твердости, например:
		H00	одна восьмая твердости
1/4 H	четверть твердости	H01	четверть твердости
1/2 H	половина твердости	H02	половина твердости
		H03	три четверти твердости
H	твердый	H04	твердый
EH	особо твердый	H06	особо твердый
SH	упругая твердость	H08	упругая твердость

Табл. 5.5 (продолжение)

BS		ASTM	
Код	Степень твердости	Код	Степень твердости
ESH	особо упругая твердость	H10	особая упругость
		H12	специальная упругость
		H13	ультраупругость
		H14	сверхупругость
		H50...H86	Холодная обработка в зависимости от специфики процесса, например:
		H50	подвергнут экструзии и вытяжке
		HR01...HR50	Холодная обработка и снято напряжение, например:
		HR01	H01 и снято напряжение
		HT04...HT08	Холодная обработка и последующее упрочнение, например:
		HT04	H04 и последующая термическая обработка
M	Только изготовлен	M01...M45	Только изготовлен, например:
		M01	песочное литье
		M02	центробежное литье
		M20	горячекатаный
		M30	горячепрессованный
W	Обработка на твердый раствор	TB00	Термическая обработка на твердый раствор
W(xH)	Обработка на твердый раствор и холодная обработка до степени твердости, например:	TD00...TD04	Обработка на твердый раствор и обработка до степени твердости, например:
		TD00	TB00 к $1/8$ твердости
W($1/4$ H)	$1/4$ твердости	TD01	TB00 к $1/4$ твердости
W($1/2$ H)	$1/2$ твердости	TD02	TB00 к $1/2$ твердости
		TD03	TB00 к $3/4$ твердости
W(H)	полностью твердый	TD04	TB00 полностью твердый
WP	Обработка твердого раствора и дисперсионное затвердевание	TF00	TB00 и дисперсионное затвердевание
W(xH)P	Обработка на твердый раствор, холодная обработка и дисперсионное затвердевание	TL00...TL04	Обработка холодного раствора, холодная обработка и дисперсионное затвердевание
		TL00	TF00 холодная обработка к $1/8$ твердости
W($1/4$ H)P	холодная обработка к $1/4$ твердости	TL01	TF00 холодная обработка к $1/4$ твердости
W($1/2$ H)P	холодная обработка к $1/2$ твердости	TL02	TF00 холодная обработка к $1/2$ твердости
W(H)P	холодная обработка к полной твердости	TL04	TF00 холодная обработка к полной твердости

Табл. 5.5 (окончание)

BS		ASTM	
Код	Степень твердости	Код	Степень твердости
W(H)P	холодная обработка к полной твердости	TR01...TR04	TL и снято напряжение
		TR01	TL01 и снято напряжение
		TR02	TL02 и снято напряжение
		TR04	TL04 и снято напряжение
		TH01...TH04	TD и дисперсионное затвердевание
		TH01	TD01 и дисперсионное затвердевание
		TH02	TD02 и дисперсионное затвердевание
		TH03	TD03 и дисперсионное затвердевание
		TH04	TD04 и дисперсионное затвердевание
		TM00...TM08	Упрочнен прокаткой до изменения степени твердости
Wm	Упрочнен прокаткой	TQ00...TQ75	Закалка, упрочняющая степень твердости, например:
		TQ00	упрочнен закалкой
		TQ50	упрочнен закалкой и отпущен отжигом
		TQ75	прервано упрочнение закалкой
		Отпуски сваренных труб	
		WH00...WH01	Сваренный и вытянутый
		WM00...WM50	Сваренный из Hxx полос
		W050	Сварен и слегка отожен
		WR00...WR01	WM00/01 вытянутый и снято напряжение

Составы литейных сплавов

В Табл. 5.6 даны наиболее часто применяемые составы по британскому стандарту (BS), а в Табл. 5.7 — литейные сплавы по классификации Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов (CDA). Там, где есть обычное наименование сплава, оно дается в добавление к BS или CDA коду. В британских стандартах литейные сплавы сгруппированы в три категории:

Группа А: сплавы для обычного применения и предпочтительно для основных назначений.

Группа В: особого назначения сплавы, от которых требуются определенные свойства.

Группа С: сплавы ограниченного производства.

Эти категории сплавов указаны в таблице британских стандартов для таких сплавов.

Табл. 5.6. Составы литейных сплавов по британскому стандарту

Наименование	Код BS	Группа	Номинальный состав [%]				
Медь			Cu				
Высокой проводимости	HCC1	B	>99.9				
Латуни			Cu	Sn	Zn	Другие элементы	
Песочного литья	SCB1	A	70...77	1—3	rem	2...5 Pb	
Песочного литья	SCB3	A	63...66	—	rem	1...3 Pb	
Песочного литья судостроительная	SCB4	C	60...63	1—1.5	rem	—	
Песочной отливки паяемая	SCB6	A	83...88	—	rem	0.05...0.2 As	
Кокильного литья	DCB1	A	59...62	—	rem	0.25...0.5 Al	
Кокильного литья судостроительная	DCB3	A	58...62	—	rem	0.5...2.5 Pb 0.2...0.8 Al	
Отлитая под давлением	PCB1	A	57...60	—	rem	0.5...2.5 Pb	
С высоким пределом растяжения	HTB1	B	>57.0	—	rem	0.7...2.0 Fe 0.1...3.0 Mn 0.5...2.5 Al	
С высоким пределом растяжения	HTB3	B	>55.0	—	rem	1.0 Ni 1.5...4.0 Mn 1.5...3.25 Fe 3.0...6.0 Al	
Бронзы			Cu	Sn	Другие элементы		
Оловянная	CT1	B	90	10	0.05 P		
Фосфорная	PB1	B	89	10...11	0.6...1.0 P		
Фосфорная	PB2	B	88	11...13	0.25...0.60 P		
Фосфорная	PB4	A	89	>9.7	>0.5 P		
Свинцово- фосфорная	LPB1	A	87	7.5	3 Pb, >0.4 P, 1.0 Ni		
Свинцовая (76—9—0—15)	LB1	C	76	9	15 Pb, 0.50 Sb		
Свинцовая (80—10—0—10)	LB2	A	80	10	10 Pb, 0.50 Sb		
Свинцовая (85—5—0—10)	LB4	A	85	5	10 Pb, 0.50 Sb		
Свинцовая (75—5—0—20)	LB5	C	75	5	20 Pb, 0.50 Sb		
Пушечные бронзы			Cu	Sn	Zn	Pb	Другие элементы
Адмиралтейская	G1	C	88	10	2	—	—
Никелевая	G3	C	86	7	2	0.3	5.5 Ni
Свинцовая (83—3—9—5)	LG1	B	83	3	9	5	—
Свинцовая (85—5—5—5)	LG2	A	85	5	5	5	—

Табл. 5.6 (окончание)

Наименование	Код BS	Группа	Номинальный состав [%]				
Пушечные бронзы			Cu	Sn	Zn	Pb	Другие элементы
Свинцовая (87—7—3—3)	LG4	A	87	7	3	3	—
Алюминиевые бронзы			Cu	Al	Fe	Ni	Mn
Алюминиевая	AB1	B	88	9.5	2.5	—	—
Алюминиевая	AB2	B	80	9.5	5	5	—
Cu—Mn—Al	CMA1	B	73	9	3	3	13
Нейзильберы			Cu	Ni	Fe	Mn	Nb
Cu—Ni—Cr	CN1	C	67	31	0.7	0.8	—
Cu—Ni—Nb	CN2	C	66	30	1.2	1.3	1.3

Примечание:

rem — остаток. Для уяснения символов группы см. текст, предшествующий этой таблице.

Табл. 5.7. Составы литейных сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	Номинальный состав [%]					
Медь		Cu			Другие элементы		
	C801	>99.95			Ag		
	C811	>99.70			Ag		
Сплавы с высоким содержанием меди		Cu	Co	Ni	Другие элементы		
	C817	>94.25	0.9	0.9	1 Ag, Be		
	C821	97.7	0.9	0.9	0.5 Be		
Латуни		Cu	Sn	Zn	Pb	Другие элементы	
Свинцовые бронзы							
Свинцовая красная	C836	85	5	5	5	—	
Свинцовая красная	C838	83	4	7	6	—	
Свинцовая полукрасная	C844	81	3	9	7	—	
Свинцовая полукрасная	C848	76	3	15	6	—	
Свинцовая желтая	C852	72	1	24	3	—	
Свинцовая желтая	C854	67	1	29	3	—	
Свинцовая судостроительная	C857	63	1	35	1	0.3 Al	
Свинцовая желтая	C858	58	1	40	1	—	
Марганцевые бронзы		Cu	Zn	Fe	Al	Mn	Pb
Марганцевая	C862	64	26	3	4	3	—
Марганцевая	C863	63	25	3	6	3	—
Оловянные бронзы		Cu	Sn	Zn	Pb	Ni	
Оловянная	C903	88	8	4	—	—	
Оловянная	C905	88	10	2	—	—	
Оловянная	C911	85	14	1	—	—	
Клапанная бронза	C922	88	6	4.5	1.5	—	

Табл. 5.7 (окончание)

Наименование	CDA	Номинальный состав [%]				
Оловянные бронзы		Cu	Sn	Zn	Pb	Ni
Свинцово-оловянная	C923	87	8	4	1	—
С высоким содержанием свинца оловянная	C932	83	7	3	7	—
С высоким содержанием свинца оловянная	C937	80	10	—	10	—
С высоким содержанием свинца оловянная	C938	78	7	—	15	—
С высоким содержанием свинца оловянная	C943	70	5	—	25	—
Никель-оловянная	C947	88	5	2	—	5
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe	Ni	Mn
Алюминиевая	C952	88	9	3	—	—
Алюминиевая	C953	89	10	1	—	—
Никель-алюминиевая	C955	81	11	4	4	—
Никель-алюминиевая	C958	81	9	4	5	1
Кремнистые бронзы/латуни		Cu	Zn		Si	
Кремнистая латунь	C875	82	14		4	
Нейзильберы		Cu	Sn	Zn	Pb	Ni
Нейзильбер	C973	56	2	20	10	12
Нейзильбер	C976	64	4	8	4	20
Нейзильбер	C978	66	5	2	2	25

Составы ковких сплавов

В Табл. 5.8 и 5.9 показаны составы обычно применяемых ковких сплавов по британскому стандарту и по классификации Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов.

Табл. 5.8. Составы ковких сплавов по британскому стандарту

Наименование	BS	Номинальный состав [%]	
Медь		Cu	Другие элементы
Электролитическая высокой проводимости	C101	>99.90	O ₂
Бескислородная высокой проводимости	C103	>99.95	—
Высокой прочности мышьяковистая	C105	>99.20	As
Фосфористая раскисленная	C106	>99.85	P
Фосфористая раскисленная мышьяковистая	C107	>99.20	As, P
Бескислородная высокой проводимости	C110	>99.99	—

Табл. 5.8 (продолжение)

Наименование	BS	Номинальный состав [%]						
Сплавы с высоким содержанием Cu		Cu			Другие элементы			
Медь—кадмий	C108	99.0			1.0 Cd			
Латуни		Cu	Sn	Zn	Al	Fe	Mn	Другие элементы
Золоченый металл (90—10 бронза)	CZ101	90	—	10	—	—	—	—
Красная (85—15 бронза)	CZ102	85	—	15	—	—	—	—
Мышьяковистая (70—30)	CZ105	72	—	28	—	—	—	As
Глубокого волочения (70—30)	CZ106	70	—	30	—	—	—	—
Основная или обычная	CZ108	63	—	37	—	—	—	—
Мунц-металл (60—40 бронза)	CZ109	60	—	40	—	—	—	—
Алюминиевая	CZ110	76	—	22	2	—	—	As
Адмиралтейская	CZ111	70	1	29	—	—	—	As
Судостроительная	CZ112	62	1	37	—	—	—	—
С высоким пределом растяжения	CZ114	58	0.6	37	<1.5	0.85	1.5	Pb
Паяемая, с высоким пределом растяжения	CZ115	57.5	0.9	38	<0.2	0.85	1.5	Pb
С высоким пределом растяжения	CZ116	66	—	27	4.5	0.75	1.5	—
Свинцовая (для изготовления небольших шестеренок и других часовых деталей)	CZ118	64	—	35	—	—	—	Pb
Свинцовый мунц-металл	CZ123	60	—	39	—	—	—	Pb
Фосфорные бронзы		Cu		Sn		P		
Фосфорная, 4%	PB101	96		4.0		0.02...0.40		
Фосфорная, 5%	PB102	95		5.0		0.02...0.40		
Фосфорная, 7%	PB103	93		7.0		0.02...0.40		
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe		Ni	Mn	
Алюминиевая, 7%	CA102	93	7	—		—	—	
Алюминиевая, 9%	CA103	87	9	4.0+Ni		—	—	
Алюминиевая, 10%	CA104	80	10	5		5	—	
Алюминиевая (сплав E)	CA105	81	9	2.0		5.5	1.2	
Алюминиевая (сплав D)	CA106	90	7.2	2.7		—	—	
Кремнистые бронзы		Cu		Si			Mn	
Кремнистая медь	CS101	96		2.7...3.5			0.75...1.25	
Бериллиевые бронзы		Cu		Be			Co+Ni	
Бериллиевая медь	CB101	98		1.7			0.20...0.60	
Медно-никелевые сплавы		Cu		Ni		Fe	Mn	
Медь—никель (95—5)	CN101	93		5.5		1.2	0.5	
Медь—никель (90—10)	CN102	87.5		10.5		1.5	0.75	
Медь—никель (80—20)	CN104	80		20		—	0.30	
Медь—никель (75—25)	CN105	75		25		—	0.2	
Медь—никель (70—30)	CN107	68		31		—	1.0	
Специальный сплав (70—30 Cu—Ni)	CN108	66		30		2.0	2.0	

Табл. 5.8 (окончание)

Наименование	BS	Номинальный состав [%]				
Нейзильберы		Cu	Ni	Zn	Pb	Mn
Свинцово-никелевая латунь	NS101	45	10	43	1...2	0.2...0.5
Нейзильбер, 10%	NS103	63	10	27	0.05...0.3	—
Нейзильбер, 12%	NS104	63	12	24	0.05...0.3	—
Нейзильбер, 15%	NS105	63	15	21	0.05...0.5	—
Нейзильбер, 18%	NS106	63	18	19	0.05...0.5	—
Нейзильбер, 18%	NS107	55	18	27	0.05...0.35	—
Свинцово-никелевая латунь, 20%	NS111	60	10	28	1...2	0.1...0.5

Табл. 5.9. Составы ковких сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	Номинальный состав [%]				
Медь		Cu			Другие элементы	
Бескислородная электронная	C101	99.99			—	
Бескислородная	C102	99.95			—	
Электролитическая высокой прочности	C110	99.90			0.04 O ₂ , 0.01 Cd	
Фосфорная раскисленная	C122	99.90			0.02 P	
Фосфорная, раскисленная мышьяком	C142	99.68			0.3 As, 0.02 P	
Раскисленная кадмием	C143	99.90			0.1 Cd	
Сплавы с высоким содержанием Cu		Cu			Другие элементы	
Кадмиевая медь	C162	99.0			1.0 Cd	
Хромистая медь	C182	99.1			0.9 Cr	
Латуни		Cu	Sn	Zn	Al	Другие элементы
Золоченый металл	C210	95	—	5	—	—
Коммерческая бронза, 90%	C220	90	—	10	—	—
Красная	C230	85	—	15	—	—
Патронная, 70%	C260	70	—	30	—	—
Желтая	C268-0	65	—	35	—	—
Мунц-металл	C280	60	—	40	—	—
Автоматная	C360	61.5	—	35.5	—	3 Pb
Автоматный мунц-металл	C370	60	—	39	—	1 Pb
Ингибированная адмиралтейская	C443-5	71	1	28	—	—
Судостроительная	C464-0	60	0.75	39.25	—	—
Марганцовистая	C674	58.5	1	36.5	1.2	2.8 Mn
Алюминиевая, мышьяковистая	C687	77.5	—	20.4	2.0	0.1 As

Табл. 5.9 (окончание)

Наименование	CDA	Номинальный состав [%]				
Фосфорные бронзы		Cu	Sn	P		
Фосфорная, 1.25% E	C505	98.75	1.25	След		
Фосфорная, 5% A	C510	95.0	5.0	След		
Фосфорная	C511	95.6	4.2	0.2		
Фосфорная, 8%	C521	92.0	8.0	След		
Фосфорная, 10%	C524	90.0	10.0	След		
Алюминиевые бронзы		Cu	Al	Fe	Ni	Другие элементы
Алюминиевая, 5%	C608	95	5	—	—	—
Алюминиевая	C613	92.65	7.0	—	—	0.35 Sn
Алюминиевая, D	C614	91	7	2	—	—
Алюминиевая	C623	87	10	3	—	—
Алюминиевая	C630	82	10	3	5	—
Кремнистые бронзы		Cu		Si		
С низким содержанием кремния, B	C651	98.5		1.5		
С высоким содержанием кремния, A	C655	97.0		3.0		
Бериллиевые бронзы		Cu	Be	Co		
Бериллиевая медь	C172	97.9	1.9	0.2		
Медно-никелевые сплавы		Cu	Ni	Fe	Другие элементы	
Медь—никель, 10%	C706	88.7	10	1.3	—	
Медь—никель, 20%	C710	79	21	—	—	
Медь—никель, 30%	C715	70	30	—	—	
Медь—никель	C717	67.8	31	0.7	0.5 Be	
Медь—никель	C725	88.2	9.5	—	2.3 Sn	
Нейзильберы		Cu	Ni	Zn	Другие элементы	
Нейзильбер (65—10)	C745	65	10	25	—	
Нейзильбер (65—18)	C752	65	18	17	—	
Нейзильбер (65—15)	C754	65	15	20	—	
Нейзильбер (65—12)	C757	65	12	23	—	
Нейзильбер (55—18)	C770	55	18	27	—	
Свинцовый нейзильбер (65—8—2)	C782	65	8	25	2 Pb	

5.3. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Отжиг

В Табл. 5.10 показаны типичные температуры отжига и снятия напряжения ковкой меди и медных сплавов. Длительность времени выдержки при температуре отжига зависит от суммарной предварительной холодной обработки, но обычно составляет от 1 до 2 ч. Для снятия напряжения, как правило, требуется 1 ч выдержки при заданной температуре.

Табл. 5.10. Типичные температуры отжига и снятия напряжения

Тип сплава	Температура отжига [°C]	Температура снятия напряжения [°C]
Медь		
Бескислородная	425...650	—
Высокой прочности	260...650	—
Раскисленная фосфором	325...650	—
Латуни		
Золоченый металл	425...800	190
Красная	425...725	230
Патронная	425...750	260
Желтая или обыкновенная	425...700	260
Мунц-металл	425...600	205
Автоматная	425...600	245
Фосфорные бронзы		
Фосфорная	475...675	205
Алюминиевые бронзы		
Алюминиевая, 5%, 7%	550...650	—
Алюминиевая, 10%	600...650	—
Алюминиевая, сложных сплавов	>650	345
Кремнистые бронзы		
Кремнистая	475...700	345
Бериллиевые бронзы		
Бериллиевая медь	775...925	—
Медно-никелевые сплавы		
Медно-никелевый сплав	600...825	260
Нейзильберы		
Нейзильбер	600...825	260

Преципитатное упрочнение

Небольшое число медных сплавов затвердевают и имеют прочность, возрастающую в результате образования твердого раствора вследствие выделения вторичных фаз (преципитатов). Это сплавы, которые содержат малое количество бериллия, хрома или циркония, а также никеля в комбинации с кремнием или фосфором. В Табл. 5.11 показаны такие типичные примеры.

Табл. 5.11. Образование твердого раствора и обработка старением

Сплав	Температура твердого раствора [°C]	Обработка старением	
		Температура [°C]	Время [ч]
Бериллиевая медь	780...800	300...350	1...3
Хромистая медь	980...1000	425...500	2...4
Никель-оловянистая литейная бронза	775...800	580...620	5

Закалка и отпуск

Комплексные алюминиевые бронзы, содержащие более 10% алюминия и других элементов, можно закалить примерно от 850°C и затем отпустить за 2 ч при 600...650°C. В результате произойдет уменьшение их твердости и увеличение пластичности по сравнению со значениями в закаленном состоянии.

Снятие напряжения

См. Отжиг.

5.4. СВОЙСТВА СПЛАВОВ

Пайка твердым припоем

См. Паяемость.

Параметры ползучести

Максимальная температура, ограничивающая применение меди и ее сплавов, определяется большей частью значениями ползучести, если она становится слишком резко выраженной. В Табл. 5.12 приведены максимальные допустимые температуры применения медных сплавов.

Табл. 5.12. Максимальные допустимые температуры применения медных сплавов

Сплавы	Максимальная допустимая температура [°C]
Меди	120
Латуни литейные	150

Табл. 5.12 (окончание)

Сплавы	Максимальная допустимая температура [°C]
Латуни ковкие	180...200
Золоченые металлы литейные	180
Алюминиевые бронзы литейные	250...400
Алюминиевые бронзы ковкие	300...350
Марганцевые бронзы	200
Фосфорные бронзы ковкие	150
Кремнистые бронзы	180
Медно-никелевые сплавы ковкие	200
Нейзильберы ковкие	200
Нейзильберы литейные	150

Плотность

Плотность меди составляет $8.96 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ при 20°C . Меди и сплавы с высоким содержанием меди имеют плотность около $8.90 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, плотность латуни изменяется примерно от 8.40 до $8.90 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, например у золоченого металла она равна $8.86 \cdot 10^3$, у желтой бронзы — $8.47 \cdot 10^3$, красной латуни — $8.75 \cdot 10^3$, мунц-металла — $8.39 \cdot 10^3$, судостроительной латуни — $8.41 \cdot 10^3$, фосфорной бронзы — от 8.80 до $8.90 \cdot 10^3$, алюминиевой бронзы — около $7.60 \cdot 10^3$, медно-никелевых сплавов — $8.94 \cdot 10^3$ и у нейзильберов — около $8.70 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Электрическая проводимость

Медь и сплавы с ее высоким содержанием имеют электрическую проводимость порядка 100% по Международному стандарту на отожженную медную проволоку (IACS), несвинцовистые латуни — между 55 и 25% (ниже процентное содержание цинка — выше проводимость, выше твердость закалки — ниже проводимость), свинцовые латуни — от 30 до 25%, фосфорные бронзы — от 17 до 13%, алюминиевые бронзы — от 15 до 7%, кремнистые бронзы — около 7%, медно-никелевые сплавы — от 2 до 4% и нейзильберы — от 10 до 5%.

(См. таблицы Механические свойства литейных сплавов и Механические свойства ковких сплавов для значений удельных проводимостей.)

Усталостные свойства

Предел усталости меди и ее сплавов при 10^7 циклов находится в промежутке 0.4...0.6 от значения предела прочности на растяжение.

Твердость

Твердость и другие механические свойства ковкого сплава зависят от его закалки. В Табл. 5.13 приведены значения твердости для различных условий закалки, которые являются типичными для ряда марок медных сплавов. Поскольку эти значения зависят от формы материала, данные указаны только для тонколистового материала или материала в виде полосы.

Табл. 5.13. Значения твердости для различных условий закалки материалов

Сплав	Значения твердости HV для закалок			
	М	О	$\frac{1}{2}H$	H
			H02	H04
Меди	50	60	80	90
Латуни	—	80	110	130
Фосфорные бронзы	—	85	160	180
Медно-никелевые сплавы	—	90	—	—
Нейзильберы	—	100	125	160
	W	W(8H)	W(H)	W(P) W($\frac{1}{2}$ H)P W(H)P
	TB00	TD02	TD04	TF00 TL02 TL04
Бериллиевые бронзы	110	210	250	380 400 420

Ударные свойства

При 20°C отожженная, высокой прочности медь имеет величину Изода, равную 47 Дж, а отожженная раскисленная медь — 61 Дж. Твердая тянутая 4%-ная фосфорная бронза имеет эту величину в 62 Дж, 7%-ная отожженная алюминиевая бронза — 32 Дж, отожженный 80/20 медно-никелевый сплав — 104 Дж. Отожженная судостроительная латунь имеет величину Шарпи, равную 82 Дж, отожженная кремнистая бронза — 90 Дж, отожженный 70/30 медно-никелевый сплав — 90 Дж, отожженный нейзильбер (30% Ni) — 108 Дж.

Обрабатываемость на станках

По механической обрабатываемости медь и ее сплавы можно разделить на три группы.

Группа 1: сплавы, обладающие хорошей обрабатываемостью (класс обрабатываемости на станках 70%).

Группа 2: механически легко обрабатываемые (класс обрабатываемости на станках 30...70%).

Группа 3: тяжело поддающиеся механической обработке (класс обрабатываемости на станках ниже 30%).

В системе британских стандартов механически хорошо обрабатываемая латунь CZ121 принята за класс 100%, в системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных

сплавов эту функцию выполняет латунь С360. Классы обрабатываемости на станках указанных выше групп даны в таблицах относительных механических свойств материалов.

(См. Механические свойства литейных сплавов и Механические свойства ковких сплавов.)

Механические свойства литейных сплавов

В Табл. 5.14 и 5.15 приведены типичные свойства обычно применяемых литейной меди и ее сплавов. Модуль растяжения меди и сплавов с высоким содержанием меди равен 120 ГПа, у литейных латуней — 90...100 ГПа, литейных оловянных бронз — 70...80 ГПа, литейных пушечных металлов — 80 ГПа, литейных алюминиевых бронз — 100...120 ГПа (увеличивается с увеличением содержания легирующего элемента), у медно-никелевых сплавов — 120...150 ГПа (увеличивается с увеличением содержания никеля) и у литейных нейзильберов — 120...137 ГПа (увеличивается с увеличением содержания никеля).

Табл. 5.14. Свойства литейных сплавов по британскому стандарту

Наименование	BS код	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станках
Медь						
Высокой проводимости	HCC1	90	30	155	25	—
Латуни						
Песочного литья	SCB1	18	80...110	170...200	18...40	1
Песочного литья	SCB3	20	70...110	190...220	11...30	1
Песочного литья, судостроительная	SCB4	18	70...110	250...310	18...40	2
Песочного литья, паяемая	SCB6	25	80...110	170...190	18...40	3
Кокильного литья	DCB1	18	90...120	280...370	23...50	2
Кокильного литья, судостроительная	DCB3	18	90...120	300...340	13...40	1
Отлитая под давлением	PCB1	18	90...120	280...370	25...40	1
С высоким пределом растяжения	HTB1	22	170...280	470...570	18...35	2
С высоким пределом растяжения	HTB3	8	400...470	740...810	11...18	2
Бронзы						
Оловянная	CT1	9	130...160	230...310	9...20	3
Фосфорная	PB1	9	130...230	220...420	3...22	3

Табл. 5.14 (окончание)

Наименование	BS код	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станках
Фосфорная	PB2	9	130...200	220...370	5...15	3
Фосфорная	PB4	9	100...230	190...400	3...20	3
Свинцово-фосфорная	LPB1	11	80...200	190...360	3...18	1
Свинцовая 76—9—0—15	LB1	11	80...190	170...310	4...10	1
Свинцовая 80—10—0—10	LB2	10	80...220	190...390	5...15	1
Свинцовая 85—5—0—10	LB4	13	60...170	160...310	7...20	1
Свинцовая 75—5—0—20	LB5	14	60...160	160...270	5...16	1
Пушечные бронзы						
Адмиралтейская	G1	15	130...170	250...340	5...25	2
Никелевая	G3	12	140...160	280...340	16...25	2
Свинцовая адмиралтейская 83—3—9—5	LG1	16	80...140	180...340	11...35	1
Свинцовая адмиралтейская 85—5—5—5	LG2	15	130...160	250...370	13...25	1
Свинцовая адмиралтейская 87—7—3—3	LG4	13	130...160	250...370	13...30	1
Алюминиевые бронзы						
Алюминиевая	AB1	13	170...200	500...590	18...40	3
Алюминиевая	AB2	8	250...300	640...700	13...20	3
Cu—Mn—Al	CMA1	3	280...340	650...730	18...35	3
Нейзильберы						
Cu—Ni—Cr	CN1	—	—	200...270	10...25	3
Cu—Ni—Nb	CN2	—	—	340...450	15...25	3

Примечание:

Предел текучести получен при 0.1% пробного напряжения, за исключением бронзы АВ1, где он был равен 0.2% пробного напряжения. Для объяснения группы обрабатываемости см. раздел Обрабатываемость на станках.

Табл. 5.15. Свойства литейных сплавов по системе Ассоциации
содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станках
Медь						
	C801, C811	—	62	170	40	3
Сплавы с высоким содержанием меди						
	C817, C821	—	470	630	8	2
Латуни						
Свинцовая красная	C836	15	105	240	32	1
Свинцовая красная	C838	—	85...115	205...260	15...27	1
Свинцовая полукрасная	C844	18	90...115	200...270	18...30	1
Свинцовая полукрасная	C848	17	105	260	37	1
Свинцовая желтая	C852	15...22	85...95	240...275	25...40	1
Свинцовая желтая	C854	18...25	75...105	205...260	20...35	1
Свинцовая судостроительная	C857	20...26	95...140	275...310	15...25	1
Свинцовая желтая	C858	—	210	380	15	1
Марганцевые бронзы						
Марганцевая	C862	7...8	315...345	625...670	19...25	2
Марганцевая	C863	9	570	820	18	3
Оловянные бронзы						
Оловянная	C903	12...13	125...150	275...345	25...50	2
Оловянная	C905	10...12	140...160	275...345	24...43	2
Оловянная	C911	—	170	240	2	3
Выпаренная бронза/ клапанная бронза	C922	15	110	280	45	2
Свинцовая оловянная	C923	10...12	110...165	225...295	18...30	2
С высоким содержанием свинца оловянная	C932	—	115...145	205...260	12...20	1
С высоким содержанием свинца оловянная	C937	10	125	270	30	1
С высоким содержанием свинца оловянная	C938	—	95...140	170...225	10...18	1
С высоким содержанием свинца оловянная	C943	—	75...105	160...205	7...16	1
Никель-оловянная	C947	—	140...345	310...515	5...25	2

Табл. 5.15 (окончание)

Наименование	CDA	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станках
Алюминиевые бронзы						
Алюминиевая	C952	12...14	170...205	480...600	22...38	2
Алюминиевая	C953	12...15	205...380	480...655	12...35	2
Никель-алюминиевая	C955	8...10	275...550	620...855	5...20	2
Никель-алюминиевая	C958		260	655	25	2
Кремнистые бронзы/латуни						
Кремнистая латунь	C875	6	210	470	17	2
Нейзильберы						
Нейзильбер	C973	6	105...140	205...275	10...25	1
Нейзильбер	C976	5	180	325	22	1
Нейзильбер	C978	4...5	180...275	345...450	15...25	2

Примечание:

Предел текучести получен при 0.1% пробного напряжения. Для объяснения группы обрабатываемости см. Обрабатываемость на станках.

Механические свойства ковких сплавов

В Табл. 5.16 и 5.17 приведены типичные свойства ковких медных сплавов. Модуль растяжения меди и сплавов с высоким содержанием меди равен 120 ГПа, для латуней — 100...120 ГПа (убывает с увеличением содержания цинка и возрастает с увеличением параметров холодной обработки), для фосфорных бронз — 100...120 ГПа (убывает с увеличением содержания олова и с увеличением параметров холодной обработки), у алюминиевых бронз он составляет 114...140 ГПа (убывает с увеличением содержания алюминия и с увеличением параметров холодной обработки), у медно-никелевых сплавов — 125...155 ГПа (возрастает с увеличением содержания никеля и убывает с увеличением параметров холодной обработки), у нейзильберов — 120...137 ГПа (возрастает с увеличением содержания никеля и с увеличением параметров холодной обработки), у бериллиевых бронз — 120...125 ГПа, если была обработка твердого раствора, и 135...140 ГПа, когда сплав был дисперсионно упрочнен.

Табл. 5.16. Свойства ковких медных сплавов по британскому стандарту

Наименование	BS	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станке
Медь						
Электролитическая, высокой прочности, с высокой проводимостью	C101	101	60...325	220...385	4...55	3
Бескислородная, с высокой проводимостью	C103	101	60...325	220...385	4...60	3
Высокой прочности, мышьяковистая	C105	95...89	60...325	220...385	4...55	—
Фосфорная раскисленная	C106	90...70	60...325	220...385	4...60	3
Фосфорная раскисленная мышьяком	C107	50...35	60...325	220...385	4...60	3
Бескислородная, высокой проводимости	C110	101	60...325	220...385	4...60	3
Сплавы с высоким содержанием меди						
Медь—кадмий	C108	75...90	60...460	280...700	4...45	3
Латуни						
Золоченый металл (90—10)	CZ101	40...44	77...385	265...450	4...50	3
Красная (85—15)	CZ102	32...37	90...400	290...460	10...60	3
Мышьяковая (70—30)	CZ105	28	120	330	—	3
Глубокой вытяжки (70—30)	CZ106	22...28	110...450	325...540	15...70	3
Основная или обычная	CZ108	22...26	130...180	340...550	5...55	2
Муниц-металл (60—40)	CZ109	24...28	160...450	380...500	10...30	1
Алюминиевая	CZ110	23	125...155	340...390	50...60	3
Адмиралтейская	CZ111	25	110...420	320...520	10...60	3
Судостроительная	CZ112	26	140...340	370...525	20...40	2
С высоким пределом растяжения	CZ114	21	210	480	20	2
Паяемая, с высоким пределом растяжения	CZ115	18	210	480	20	1
С высоким пределом растяжения	CZ116	12	300	570	18	2
Свинцовая (часовая латунь)	CZ118	26	108...325	325...525	7...50	1
Свинцовый муниц-металл	CZ123	20...27	160...400	380...520	5...40	2
Фосфорные бронзы						
Фосфорная, 4%	PB101	15...25	110...460	320...590	8...55	3

Табл. 5.16 (окончание)

Наименование	BS	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станке
Фосфорная, 5%	PB102	12...18	120...520	340...700	8...60	3
Фосфорная, 7%	PB103	10...15	140...570	370...650	14...65	3
Алюминиевые бронзы						
Алюминиевая, 7%	CA102	15...18	90...230	420...540	10...50	3
Алюминиевая, 9%	CA103	12...14	260...340	570...650	22...30	3
Алюминиевая, 10%	CA104	7...9	430...600	850...900	15...25	3
Сплав E	CA105	7...9	260...400	660...770	17...22	3
Сплав D	CA106	4...15	230...270	540...670	22...40	3
Кремнистые бронзы						
Кремнистая медь	CS101	6...7	75...305	360...540	35...78	2
Бериллиевые бронзы						
Медь—бериллий (твердая обработка) + дисперсионное упрочнение	CB101	6...78	185...190	480...500	45...50	3
Медно-никелевые сплавы						
Медь—никель (95—5)	CN101	12	115...310	390...430	9...43	3
Медь—никель (90—10)	CN102	9	120...380	320...420	12...42	3
Медь—никель (80—20)	CN104	6	120...390	340...450	15...40	3
Медь—никель (75—25)	CN105	5	140...390	360...450	15...40	3
Медь—никель (70—30)	CN107	5	150...430	390...500	16...42	3
Особый сплав медь—никель (70—30)	CN108	5	170...570	420...660	7...42	3
Нейзильберы						
Свинцово-никелевая латунь	NS101	9	180...280	460...590	10...30	1
Нейзильбер, 10%	NS103	8	100...600	350...690	5...65	3
Нейзильбер, 12%	NS104	8	110...600	350...710	4...60	3
Нейзильбер, 15%	NS105	7	130...630	360...710	4...55	3
Нейзильбер, 18%	NS106	6	120...630	390...710	5...52	3
Нейзильбер, 18%	NS107	6	160...710	390...790	3...48	3
Свинцово-никелевая латунь, 20%	NS111	7	—	—	—	—

Примечание:

Предел текучести получен при 0.1% пробного напряжения, за исключением CZ105, CZ108, CZ109, CZ111 и CB101, где процент был равен 0.2. Диапазон характеристик определяется состоянием материала. Нижние значения предела текучести и предела прочности на растяжение соответствуют состоянию мягкого отжига, верхние значения — упрочненному состоянию. Верхние значения удлинения соответствуют мягкому состоянию, нижние — упрочненному состоянию. Для объяснения групп обрабатываемости см. Обрабатываемость на станках.

Табл. 5.17. Свойства ковких медных сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станке
Медь						
Бескислородная электронная	C101	101	70...365	220...455	4...55	3
Бескислородная	C102	101	70...365	220...455	4...55	3
Электролитическая, высокой прочности	C110	101	70...365	220...455	4...55	3
Фосфорная, раскисленная	C122	—	70...345	220...380	8...45	3
Фосфорная, раскисленная мышьяком	C142	—	70...345	220...380	8...45	3
Раскисленная кадмием	C143	—	75...385	220...400	1...42	3
Сплавы с высоким содержанием меди						
Кадмиевая медь	C162	—	50...475	240...690	1...57	3
Хромистая медь	C182	—	97...530	235...590	4...40	3
Латуни						
Золоченый металл	C210	—	70...400	235...440	4...45	3
Коммерческая бронза, 90%	C220	—	70...427	255...500	3...50	3
Красная	C230	—	70...435	270...725	3...55	2
Для втулок подшипников, 70%	C260	28	75...450	300...900	3...66	2
Желтая	C268-0	27	100...430	320...880	3...65	2
Муниц-металл	C280	—	145...380	375...510	10...52	2
Автоматная	C360	—	125...310	340...470	18...53	1
Автоматный муницип-металл	C370	—	140...415	370...550	6...40	1
Ингибированная адмиралтейская	C443-5	—	125...150	330...380	60...65	2
Судостроительная	C464-7	—	170...455	380...610	17...50	2
Марганцевая	C674	—	235...380	480...630	20...28	3
Алюминиевая, мышьяковая	C687	—	186	414	55	2
Фосфорные бронзы						
Фосфорная, 1.25% E	C505	48	100...345	275...545	4...48	3
Фосфорная, 5% A	C510	—	130...550	325...965	2...64	3
Фосфорная	C511	—	345...550	320...710	2...48	3
Фосфорная, 8%	C521	—	165...550	380...965	24...80	3
Фосфорная, 10%	C524	—	193	455...1014	3...70	3

Табл. 5.17 (окончание)

Наименование	CDA	IACS [%]	Предел текучести [МПа]	Предел прочности на растяжение [МПа]	Удлинение [%]	Группа обрабатываемости на станке
Алюминиевые бронзы						
Алюминиевая, 5%	C608	—	186	414	55	3
Алюминиевая	C613	—	210...400	480...585	35...42	2
Алюминиевая, D	C614	—	230...415	526...615	32...45	3
Алюминиевая	C623	—	240...360	520...675	22...35	2
Алюминиевая	C630	—	345...520	620...815	15...20	2
Кремнистые бронзы						
С низким содержанием кремния, В	C651	12	100...475	275...655	11...55	2
С высоким содержанием кремния, А	C655	—	145...485	385...1000	21...70	2
Бериллиевые бронзы						
Бериллиевая медь	C172	22...30	170...1345	470...1460	1...48	3
Медно-никелевые сплавы						
Медь—никель, 10%	C706	—	110...390	300...415	10...42	3
Медь—никель, 20%	C710	—	90...585	340...655	3...40	3
Медь—никель, 30%	C715	—	140...480	370...520	15...45	3
Медь—никель	C717	—	210...1240	480...1380	4...40	3
Медь—никель	C725	—	150...745	380...830	1...35	3
Нейзильберы						
Нейзильбер (65—10)	C745	—	125...525	340...895	1...50	3
Нейзильбер (65—18)	C752	—	170...620	385...710	3...45	3
Нейзильбер (65—15)	C754	—	125...545	365...635	2...43	3
Нейзильбер (65—12)	C757	—	125...545	360...640	2...48	3
Нейзильбер (55—18)	C770	6	185...620	415...1000	2...40	2
Свинцовый нейзильбер (65—8—2)	C782	—	160...525	365...630	3...40	2

Примечание:

Предел текучести получен при 0.1% пробного напряжения. Диапазоны значений соответствуют диапазонам отпуска от мягкого до твердого состояний. Нижние значения предела текучести и предела прочности на растяжение соответствуют мягкому состоянию материала, условию отжига, а верхние значения — упрочненному состоянию. Наоборот, нижние значения удлинения соответствуют упрочненному состоянию, а верхние — мягкому. Для объяснения групп обрабатываемости см. Обрабатываемость на станках.

Паяемость

В Табл. 5.18 указана относительная эффективность пайки твердым припоем меди и ее сплавов.

Табл. 5.18. Пайка медных сплавов твердым и мягким припоями

Сплав	Мягкий припой	Твердый припой
Медь		
Бескислородная	VG	VG
Раскисленная	VG	VG
Высокой прочности	VG	G
Латуни		
Красная	VG	VG
Желтая	VG	VG
Свинцовая	VG	G
Адмиралтейская	VG	VG
Бронзы		
Фосфорная	VG	VG

Сплав	Мягкий припой	Твердый припой
Свинцово-фосфорная	VG	G
Алюминиевые бронзы		
Алюминиевая	P	P
Кремнистые бронзы		
Кремнистая	VG	VG
Бериллиевые бронзы		
Бериллиевая медь	G	G
Медно-никелевые сплавы		
Медь—никель	VG	VG
Нейзильберы		
Нейзильбер	VG	VG

Примечание:

VG — очень хорошая, G — хорошая, P — плохая.

Тепловые свойства

В Табл. 5.19 приведены типичные значения температурного коэффициента линейного расширения и теплопроводности меди и ее сплавов при 20°C.

Табл. 5.19. Тепловые свойства меди и ее сплавов

Материал	Теплопроводность [Вт·м ⁻¹ ·°C ⁻¹]	Температурный коэф. линейного расширения [10 ⁻⁶ ·°C ⁻¹]
Ковкие сплавы		
Медь	390	17
Сплав с высоким содержанием меди	340...370	18
Золоченый металл	190	18
Красная латунь	160	19
Латунь для втулок подшипников	120	20
Желтая (обычная) латунь	120	21
Мунц-металл	125	21
Судостроительная латунь	113	21
Высокой прочности на растяжение латунь	88	20
Фосфорная бронза, 7%	60	19
Алюминиевая бронза, 7%	70	17
Алюминиевая бронза, 9%	42	17

Табл. 5.19 (окончание)

Материал	Теплопроводность [Вт·м ⁻¹ ·°С ⁻¹]	Температурный коэф. линейного расширения [10 ⁻⁶ ·°С ⁻¹]
Алюминиевая бронза, 10%	46	17
Алюминиевая бронза, сплав D	65	16
Медь—бериллий	120	18
Медь—никель (95—10)	67	17
Медь—никель (90—10)	50	17
Медь—никель (80—20)	38	17
Медь—никель (70—30)	29	16
Свинцовая 10%-ная никелевая латунь	46	19
Нейзильбер, 10%	37	16
Нейзильбер, 12%	30	16
Нейзильбер, 15%	27	16
Литейные сплавы		
Медь высокой проводимости	370	18
Латунь	80...90	19...21
Пушечный металл	50	18
Свинцовый пушечный металл	50...80	18
Оловянная бронза	50	18
Фосфорная бронза	47	18...19
Алюминиевая бронза	42...60	16...17

Свариваемость

В Табл. 5.20 приведены относительные значения свариваемости меди и ее сплавов.

Табл. 5.20. Свариваемость меди и ее сплавов

Сплав	Дуговая сварка			Контактная сварка			
	Электродом в среде защитного газа	Под флюсом	Металлическим электродом	Точечная	Роликовая	Рельефная	Стыковая
Медь							
Бескислородная	G	No	No	No	No	No	G
Раскисленная	VG	No	No	No	No	No	G
Высокой прочности	P	No	No	No	No	No	G
Латуни							
Красная	G	No	No	P	No	P	G
Желтая	P	No	No	G	No	G	G
Свинцовая	No	No	No	No	No	No	P
Адмиралтейская	G	No	P	G	P	G	G

Табл. 5.20 (окончание)

Сплав	Дуговая сварка			Контактная сварка			
	Электро- дом в среде защитного газа	Под флюсом	Металли- ческим электро- дом	Точеч- ная	Ролико- вая	Рельеф- ная	Стыко- вая
Бронзы							
Фосфорная	G	No	P	G	P	G	VG
Свинцово-фосфорная бронза	No	No	No	No	No	No	P
Алюминиевые бронзы							
Алюминиевая	VG	No	G	G	G	G	G
Кремнистые бронзы							
Кремнистая	VG	No	P	VG	VG	VG	VG
Медно-никелевые сплавы							
Медь—никель, 10%	VG	No	G	G	G	G	VG
Медь—никель, 30%	P	No	P	VG	VG	VG	VG
Нейзильберы	P	No	No	G	P	G	G

Примечание:

VG — очень хорошая, G — хорошая, P — неважная, ограниченного применения, No — не следует применять.

5.5. ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИ И СПЛАВОВ**Формы материала**

В Табл. 5.21 и 5.22 показаны формы ковкой меди и сплавов, которые обычно используются.

Табл. 5.21. Формы меди и сплавов по британскому стандарту

Наименование	BS	Формы					
		Круг	Тонкий лист	Толстый лист	Труба	Проволока	Пруток
Медь							
Электролитическая, прочная, высокой проводимости	C101	*	*	*	*	*	*
Бескислородная, высокой проводимости	C103	*	*	*	*	*	*
Прочная мышьяковая	C105		*	*			
Фосфорная раскисленная	C106	*	*	*	*	*	*
Фосфорная, раскисленная мышьяком	C107		*	*	*		
Бескислородная, высокой проводимости	C110	*	*				*

Табл. 5.21 (продолжение)

Наименование	BS	Формы					
		Круг	Тонкий лист	Толстый лист	Труба	Проволока	Пруток
Сплавы с высоким содержанием меди							
Медь—кадмий	C108	*	*	*		*	
Латуни							
Золоченый металл (90—10)	CZ101		*	*		*	*
Красная (85—15)	CZ102		*	*	*	*	*
Мышьяковая (70—30)	CZ105		*	*	*	*	*
Глубокого волочения (70—30)	CZ106		*	*	*	*	*
Основная или обычная	CZ108		*	*	*	*	*
Муниц-металл (60—40)	CZ109		*	*	*	*	*
Алюминиевая	CZ110		*	*	*		
Адмиралтейская	CZ111				*		
Судостроительная	CZ112		*	*	*		*
Высокой прочности на растяжение	CZ114						*
Высокой прочности на растяжение, паяемая	CZ115						*
Высокой прочности на растяжение	CZ116						*
Свинцовая (для шестеренок и других часовых деталей)	CZ118		*	*			*
Свинцовый муниц-металл	CZ123		*	*			*
Фосфорные бронзы							
Фосфорная, 4%	PB101	*	*	*		*	
Фосфорная, 5%	PB102	*	*	*		*	
Фосфорная, 7%	PB103		*	*		*	*
Алюминиевые бронзы							
Алюминиевая, 7%	CA102			*	*	*	
Алюминиевая, 9%	CA103	*					
Алюминиевая, 10%	CA104	*					
Сплав E	CA105	*	*	*			
Сплав D	CA106	*		*			
Кремнистые бронзы							
Кремнистая медь	CS101		*	*	*	*	*
Бериллиевые бронзы							
Медь—бериллий	CB101		*	*	*	*	*
Медно-никелевые сплавы							
Медь—никель (95—5)	CN101		*	*	*		
Медь—никель (90—10)	CN102		*	*	*		

Табл. 5.21 (окончание)

Наименование	BS	Формы					
		Круг	Тонкий лист	Толстый лист	Труба	Проволока	Пруток
Медь—никель (80—20)	CN104		*	*			
Медь—никель (75—25)	CN105		*				
Медь—никель (70—30)	CN107		*	*	*		
Специальный сплав медь—никель (70—30)	CN108				*		
Нейзильберы							
Свинцово-никелевый	NS101						*
Нейзильбер, 10%	NS103		*	*		*	
Нейзильбер, 12%	NS104		*	*		*	
Нейзильбер, 15%	NS105		*	*		*	
Нейзильбер, 18%	NS106		*	*		*	
Нейзильбер, 18%	NS107		*	*		*	
Свинцовый нейзильбер, 20%	NS111	*					*

Табл. 5.22. Формы меди и сплавов по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Наименование	CDA	Формы					
		Пластина	Пруток	Проволока	Трубка	Труба	Профильная
Медь							
Бескислородная электронная	C101	*	*	*	*	*	*
Бескислородная	C102	*	*	*	*	*	*
Электролитическая прочная	C110	*	*	*	*	*	*
Фосфорная раскисленная	C122	*	*		*	*	
Фосфорная, раскисленная мышьяком	C142	*		*	*		
Раскисленная кадмием	C143	*					
Сплавы с высоким содержанием меди							
Кадмиевая медь	C162	*	*	*			
Хромистая медь	C182	*	*	*	*		*
Латуни							
Золоченый металл	C210	*		*			
Коммерческая бронза, 90%	C220	*	*	*	*		
Красная	C230	*		*	*	*	*
Подшипниковая, 70%	C260	*	*	*	*		
Желтая	C268-0	*	*	*			
Мунц-металл	C280	*	*				
Автоматная	C360	*	*				*

Табл. 5.22 (окончание)

Наименование	CDA	Формы					
		Пластина	Пруток	Проволока	Трубка	Труба	Профильная
Автоматный муноц-металл	C370				*		
Ингибированная адмиралтейская	C443-5	*		*	*		
Судостроительная	C464-7	*	*		*		*
Марганцевая	C674	*	*				
Алюминиевая, мышьяковая	C687				*		
Фосфорные бронзы							
Фосфорная, 1.25% E	C505	*		*			
Фосфорная, 5% A	C510	*	*	*	*		
Фосфорная	C511	*					
Фосфорная, 8%	C521	*	*	*			
Фосфорная, 10%	C524	*	*	*			
Алюминиевые бронзы							
Алюминиевая, 5%	C608				*		
Алюминиевая	C613	*	*		*	*	*
Алюминиевая, D	C614	*	*	*	*	*	*
Алюминиевая	C623	*	*				
Алюминиевая	C630	*	*				
Кремнистые бронзы							
С низким содержанием кремния, B	C651		*	*	*		
С высоким содержанием кремния, A	C655	*	*	*	*		
Бериллиевые бронзы							
Бериллиевая медь	C172	*	*	*	*	*	*
Медно-никелевые сплавы							
Медь—никель, 10%	C706	*				*	
Медь—никель, 20%	C710	*		*	*		
Медь—никель, 30%	C715	*	*		*		
Медь—никель	C717	*	*	*			
Медь—никель	C725	*	*	*	*		
Нейзильберы							
Нейзильбер (65—10)	C745	*		*			
Нейзильбер (65—18)	C752	*	*	*			
Нейзильбер (65—15)	C754	*					
Нейзильбер (65—12)	C757	*		*			
Нейзильбер (55—18)	C770	*	*	*			
Свинцовый нейзильбер (65—8—2)	C782	*					

Применение литейных сплавов

В Табл. 5.23 дано типичное применение литейной меди и сплавов по британскому стандарту и по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов

Табл. 5.23. Области применения литейных меди и медных сплавов

Наименование	BS/CDA	Литейные	Применение
Медь			
Высокой проводимости	HCC1	S, C	Электрические компоненты
	C801	S, C, T	То же
	C811	S, C, T	То же
Сплавы с высоким содержанием меди			
	C817	S, C, T	Электрические компоненты (прочнее и тверже меди)
	C821	S, C, T	То же
Латуни			
Свинцовая красная	C836	S, C, T	Предметы для слесарно-водопроводных работ, клапаны, фланцы, части насосов
Свинцовая красная	C838	S, C, T	Предметы для слесарно-водопроводных работ, клапаны низкого давления, части насосов
Свинцовая полукрасная	C844	S, C, T	Основной скобяной товар, предметы для слесарно-водопроводных работ, клапаны низкого давления
Свинцовая полукрасная	C848	S, C	То же
Песочного литья	SCB1	S, D	Скобяные изделия, герметичного сжатия клапаны и фитинги
Свинцовая желтая	C852	C, T	Фитинги для слесарно-водопроводных работ, скобяные изделия, клапаны, декоративные предметы
Песочного литья	SCB3	S, D	Предметы для слесарно-водопроводных работ, газовые фитинги, электрические компоненты
Свинцовая желтая	C854	S, C, T	Основного назначения скобяные изделия
Свинцовая судостроительная	C857	S, C	Скобяные изделия, декоративные предметы
Песочного литья судостроительная	SCB4	S	Судовые фитинги, насосы, теплообменники
Паяемая, песочного литья	SCB6	S, D	Предметы для пайки, судовые фитинги
Кокильного литья	DCB1	GD, C	Точное литье для вагонеток, фитинги для слесарно-водопроводных работ и подобные
Кокильного литья судовая	DCB3	GD, C	Изделия, где требуются точное литье, хорошая обрабатываемость на станках
Свинцовая желтая	C858	D	То же
Полученная литьем под давлением	PCB1	D	То же

Табл. 5.23 (продолжение)

Наименование	BS/CDA	Литейные формы	Применение
Марганцевые бронзы			
Высокой прочности латунь	HTB1	S, GD, C	Компоненты, подверженные высокому напряжению при нормальных температурах, например морские гребные винты, рули, насосы
Высокой прочности латунь	HTB3	S, C	Компоненты, подверженные высокому напряжению, без усиленной коррозии. Литые для судостроения
Марганцевая	C862	S, D, C, T	Литье для судостроения, подшипники
Марганцевая	C863	S, C	Как сплав НТВЗ
Бронзы			
Оловянная	C903	S, C, T	Подшипники, зубчатые колеса, кольца поршней, компоненты клапанов
Оловянная	C905	S, C, T	То же
Оловянная	C911	S	Подшипники, кольца поршней
Оловянная	CT1	S, D, C, T	Основного назначения песочное литье
Фосфорная	PB1	S, D, C, T	Подшипники, зубчатые колеса, вкладыши подшипников для тяжелого режима работы
Фосфорная	PB2	S, D, C, T	Подшипники для тяжелого режима работы, зубчатые колеса, подверженные ударным нагрузкам
Фосфорная	PB4	S, D, C, T	Как и сплав PB1, но с меньшими нагрузками
Свинцовая фосфорная	LPB1	S, D, C	При режимах работы легче, чем для PB1, 2 или 4, лучше выдерживает плохую смазку
Выпаренная /клапанная	C922	S, C, T	Детали, выдерживающие давление при 300°C
Свинцово-оловянная	C923	S, C, T	Клапаны, трубы и литье высокого давления
Оловянная с высоким содержанием Pb	C932	S, C, T	Подшипники и их вкладыши
Свинцовая (76—9—0—15)	LB1	D, C, T	Подшипники и их вкладыши, выдерживающие плохую смазку и коррозию
Свинцовая (80—10—0—10)	LB2	S, D, C, T	То же
Свинцовая (85—5—0—10)	LB4	S, D, C, T	То же
Оловянная с высоким содержанием Pb	C937	S, C, T	Высокоскоростные и высокого давления подшипники, стойкие против коррозии детали
Оловянная с высоким содержанием Pb	C938	S, C, T	Основного срока службы и умеренного давления подшипники

Табл. 5.23 (продолжение)

Наименование	BS/CDA	Литейные формы	Применение
Оловянная с высоким содержанием Pb	C943	S, C	Высокоскоростные подшипники для легких нагрузок
Свинцовая (75—5—0—20)	LB5	T	Стальные подшипники для двигателей
Никель-оловянная	C947	S, C, T	Подшипники, истираемые параллели станков, поршни цилиндров, сопла
Пушечные бронзы			
Адмиралтейская	G1	S, D, C	Основного назначения, например насосы, клапаны, подшипники
Никелевая пушечная	G3	S, D, C	Корпуса подшипников, детали выключателей, клапаны, медленного хода подшипники
Свинцовая пушечная (83—3—9—5)	LG1	S, D, C, T	Основного назначения, где требуется герметичное сжатие, например насосы, клапаны
Свинцовая пушечная (85—5—5—5)	LG2	S, D, C, T	Как LG1, но выше герметичное сжатие
Свинцовая пушечная (87—7—3—3)	LG4	S, D, C, T	Как LG1, но выше предел прочности
Алюминиевые бронзы			
Алюминиевая	AB1	S, GD, C	Там, где требуются высокая прочность, высокое сопротивление коррозии, например насосы, судовые детали. Детали, отлитые в пресс-форму, для автомобилей
Алюминиевая	C952	S, C, T	Подшипники, зубчатые колеса, вкладыши подшипников, гнезда клапанов, кислотоустойчивые насосы
Алюминиевая	C953	S, C, T	Зубчатые колеса, судовое оборудование, гайки, корзины декопирования
Алюминиевая	AB2	S, GD, C, T	Как AB1, но при более высоких температурах
Cu—Mn—Al	CMA1	S, GD, C, T	Детали тяжелого, сложного изготовления, с высоким сопротивлением коррозии и износу
Никель-алюминиевая	C955	S, C, T	Коррозионностойкие детали, мешалки, зубчатые колеса, авиационные направляющие клапанов и седла клапанов
Никель-алюминиевая	C958	S, C, T	Коррозионностойкие детали
Кремнистые бронзы/латуни			
Кремнистая бронза	C875	S, C, D	Подшипники, зубчатые колеса, коромысла качающихся рамок, крыльчатки

Табл. 5.23 (окончание)

Наименование	BS/CDA	Литейные формы	Области применения
Нейзильберы			
Cu—Ni—Cr	CN1	S	Декоративные и скобяные изделия
Нейзильбер	C973	S	То же
Нейзильбер	C976	S	Судовое литье и декоративные детали
Нейзильбер	C978	S	Клапаны и седла клапанов, части музыкальных инструментов, декоративные предметы

Примечание:

S — литье в песчаную форму, C — центробежное литье, D — литье в пресс-форму, GD — кокильное литье, T — непрерывное литье.

Применение ковких сплавов

В Табл. 5.24 приведены типичные области применения ковки меди и сплавов по британскому стандарту и по системе Ассоциации содействия развитию промышленности медных сплавов.

Табл. 5.24. Области применения ковких сплавов

Наименование	BS	CDA	Применение
Медь			
Электролитическая, прочная, высокой проводимости	C101	C110	C/H обработка. Электрические провода, токоподводящие шины, теплообменники, крышки
Бескислородная, высокой проводимости	C103	C102	C/H обработка. Электронные компоненты, волноводы, шины
Прочная мышьяковая	C105		C/H обработка. Конструкторский инструмент
Фосфорная раскисленная	C106	C122	C/H обработка. Трубы для слесарно-водопроводных работ, химические агрегаты, теплообменники
Фосфорная, раскисленная мышьяком	C107	C142	C/H обработка. Теплообменники и трубы холодильников
Бескислородная, высокой проводимости	C110	C101	C/H обработка. Электроника, детали высокой электрической проводимости
Раскисленная кадмием	—	C143	C/H обработка. Электротехника, когда требуется мягкое тепловое сопротивление: контакты, клеммы, сварные детали
Сплавы с высоким содержанием меди			
Медь—кадмий	C108	C162	C/H обработка. Передающие электрические линии высокого напряжения, токопроводящие поверхностные слои на компонентах электронных устройств

Табл. 5.24 (продолжение)

Наименование	BS	CDA	Применение
Хромистая медь	A2/1	C182	С/Н обработка. Точечные сварные электроды, контакты переключателей, соединительные провода
Латуни			
Золоченый металл (90—10 латунь) или коммерческая бронза, 90%	CZ101	C220	С/Н обработка. Декоративные и архитектурные предметы, винты, заклепки
Золоченый металл (95—5)	CZ125	C210	С/Н обработка. Монеты, медали, капсулы боеприпасов
Красная (85—15)	CZ102	C230	С/Н обработка. Трубы для слесарно-водопроводных работ, трубы теплообменников, застежки, паропроводы
Мышьяковая (70—30)	CZ105	—	С обработка. Детали глубокой вытяжки и расколотой плавки, скобяной товар
Глубокой вытяжки (70—30)	CZ106	C260	С обработка. Детали глубокой вытяжки и расколотой плавки, замки, шарниры, стержни, заклепки, скобяной товар
Основная (обычная) желтая	CZ108	C268-0	С/Н обработка. Центрифугирование, прессование заготовленной плавки. Скобяной товар, зажимы электрических деталей
Мунц-металл (60—40)	CZ109	C280	Н обработка. Горячая ковка, прессование, высадка и осадка (например, головок заклепок). Пластины конденсаторов, трубы теплообменников, прутки твердого припоя
Алюминиевая	CZ110	C687	С/Н обработка. Теплообменники и конденсорные трубы
Адмиралтейская	CZ111	C443-5	То же
Судовая	CZ112	C464-7	Н обработка. Горячая ковка, прессование, вытягивание. Судовые скобяные изделия, заклепки, винты валов, болты, прутки для пайки
Высокой прочности на растяжение	CZ114	—	Н обработка. Части насосов, архитектурного назначения профили, трубы, работающие в условиях повышенного давления
Высокой прочности паяемая	CZ115	—	То же
Высокой прочности	CZ116	—	То же
Свинцовая	CZ118	—	С обработка. Часовое производство, основные, с поверхностным слоем, детали, детали часов и инструментов
Автоматная	CZ121	C360	Н обработка. Превосходная обрабатываемость на станках. Зубчатые колеса, зажимы, винтовые машинные детали
Свинцовый мунц-металл	CZ123	C370	Н обработка. Экструзия, горячая ковка, хорошая обрабатываемость на станках. Детали труб конденсаторов
Марганцевая	—	C674	Н обработка. Горячая ковка и прессование. Зубчатые колеса, валы, истираемые пластины

Табл. 5.24 (продолжение)

Наименование	BS	CDA	Применение
Фосфорные бронзы			
Фосфорная, 4%	PB101	—	С обработка. Винты, болты, заклепки, моечные машины, пружины и скобы, сильфоны и диафрагмы
Фосфорная, 5%	PB102	C510	С обработка. Вырубка заготовки из листа, вытяжка, высадка, штамповка. Сильфоны, пружины и скобы, шпонки, стержни, диафрагмы
Фосфорная, 7%	PB103	—	С обработка. Пружины, скобы, моечные аппараты, присадочные прутки и электроды, части насосов
Фосфорная, 1.25% E	—	C505	С/Н обработка. Вырубка заготовки из листа, высадка, штамповка. Электрические контакты, гнущиеся шланги
Фосфорная	—	C511	С обработка. Пружины, плавкие зажимы, детали переключателей, сварочные электроды
Фосфорная, 8%	—	C521	С обработка. Вырезка заготовки из листа, вытяжка, штамповка. Более строгие условия, чем у 5%-ной фосфорной бронзы
Фосфорная, 10%	—	C524	С обработка. Вырезка заготовки из листа, формовка, изгибание. Детали тяжелого режима работы, например пружины, моечные аппараты, зажимные пластины
Алюминиевые бронзы			
Алюминиевая, 5%	CA101	C608	С обработка. Конденсоры и трубы теплообменников
Алюминиевая, 7%	CA102	C613	С обработка. Гайки, болты, коррозионностойкие сосуды, судовые детали
Алюминиевая, 9%	CA103	C623	Н обработка. Горячая ковка и прессование. Корпуса вентилялей и шпинделей, болты, подшипники, червячные зубчатые колеса, кулачки
Алюминиевая, 10%	CA104	C630	Н обработка. Горячая ковка и формовка. Гайки, болты, клапанные гнезда и параллели станков, валы насосов
Сплав E	CA105	—	То же
Сплав D	CA106	C614	То же
Кремнистые бронзы			
Кремнистая медь или с низким содержанием кремния, B	CS101	C651	С/Н обработка. Вырезка заготовки из листа, высадка, горячая ковка и прессование. Химические агрегаты, судовые скобяные изделия, болты, соединительные зажимы, баки для горячей воды и фитинги
С высоким содержанием кремния, A	C655	—	То же

Табл. 5.24 (окончание)

Наименование	BS	CDA	Применение
Бериллиевые бронзы			
Медь—бериллий	CB101	C172	С/Н обработка. Детали высокой прочности, высокой проводимости. Пружины, скобы, зажимы, не искрящийся инструмент
Медно-никелевые сплавы			
Медь—никель (95—5)	CN101	—	С/Н обработка. Детали коррозионностойкие к морской воде, боеприпасы
Медь—никель (90—10)	CN102	C706	То же
Медь—никель (80—20)	CN104	C710	С/Н обработка. Детали глубокого волочения и штамповки
Медь—никель (75—25)	CN105	—	С/Н обработка. Монеты и медали
Медь—никель (70—30)	CN107	C715	С/Н обработка. Трубы для соленой воды, зажимы
Специальный сплав медь—никель (70—30)	CN108	—	С/Н обработка. Очень хорошее сопротивление коррозии и разъеданию морской водой. Кабели пришвартовки, стержни океанских кабелей
Медь—никель	—	C717	То же
Медь—никель	—	C725	С/Н обработка. Вырезка заготовки из листа, вытяжка, формовка, высадка, выдавливание, штамповка. Пружины и реле переключателей, сифоны
Нейзильберы			
Свинцовая никелевая латунь	NS101	—	Н обработка. Части настенных и наручных часов, архитектурные детали
Нейзильбер, 10%	NS103	C745	С обработка. Вырезка заготовки из листа, вытяжка, формовка, высадка, выдавливание. Заклепки, винты, скобы, ползуны зажимов, декоративные детали
Нейзильбер, 12%	NS104	C757	То же
Нейзильбер, 15%	NS105	C754	То же
Нейзильбер, 18%	NS106	C752	То же
Нейзильбер, 18%	NS107	C770	С обработка. Вырезка заготовки из листа, формовка. Хорошие оптические свойства. Пружины и скобы для электрической аппаратуры
Свинцовый нейзильбер, 20%	NS111	C782	С обработка. Детали механизмов, стойкие к воде и коррозии, винты, шарниры, ключи, части наручных часов.

Примечание:

С — холодная обработка, Н — горячая, с относительно хорошими характеристиками обработки.