

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет»
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра технологии материалов и машиноведения

П.Г. Винник, О.Н. Морозова, А.Н. Копыл

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Ростов-на-Дону
2007

УДК 620.22(075)

ББК 30.3

В 48

Издание осуществлено при поддержке гранта № 26-07
«Методическое обеспечение дисциплины предметной подготовки специальности 050502 «Технология и предпринимательство» и дисциплин отраслевой подготовки, специализации специальности 050501.15 «Профессиональное обучение – автомобиль и автомобильное хозяйство», как средство повышения качества обучения студентов»

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент **Н.Я. Егоров**

Научный редактор:

кандидат физико-математических наук, доцент **А.В. Беляев**

Винник П.Г., Морозова О.Н., Копыл А.Н.

**В 48 Материаловедение: учебно-методическое пособие. – Ростов н/Д:
ИПО ПИ ЮФУ, 2007. – 220 с.**

Данное пособие предназначено в помощь студентам дневного и заочного отделений факультета «Технологии и предпринимательства» Педагогического института ЮФУ при изучении дисциплины отраслевой подготовки (федеральный компонент) «Основы производства» раздел «Материаловедение». Содержание пособия составлено с учетом требований Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (2005 г.) по специальности 050502 «Технология и предпринимательство».

УДК 620.22(075)

ББК 30.3

© Винник П.Г., 2007

© Морозова О.Н., 2007

© Копыл А.Н., 2007

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	9
ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»	10
ЧАСТЬ I. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	15
Методические указания	15
ГЛАВА 1. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ	16
1.1. Металлы и сплавы	16
1.2. Классификация металлов и конструкционных материалов	17
1.3. Стандартизация материалов	19
1.4. Агрегатные состояния вещества и их характеристика	19
1.6. Реальное строение кристаллов и дефекты кристаллической решетки	23
1.7. Анизотропия свойств кристаллов	24
1.8. Полиморфные и магнитные превращения металлов в твердом состоянии	24
1.9. Кристаллизация металлов	26
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	30
ГЛАВА 2. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПОСОБЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ	32
2.1. Основные методы изучения состава и строения металлов и сплавов	32
2.2. Основные свойства металлов и сплавов	34
2.3. Конструкционная прочность материалов и показатели, ее характеризующие	40
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	41
ГЛАВА 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ	43
Методические указания	43
3.1. Понятие сплавов и их характеристика	44
3.2. Атомное строение двойных сплавов	45

3.3. Диаграммы состояния двойных сплавов и их характеристика	47
3.4. Взаимная связь между диаграммами состояния и свойствами сплавов	50
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	52
ГЛАВА 4. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ, ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ	54
Методические указания	54
4.1. Железоуглеродистые сплавы и основные характеристики железа и углерода	55
4.2. Фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов	56
4.3. Диаграмма состояния «железо – цементит»	57
4.4. Диаграмма состояния «железо – графит»	58
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	60
ГЛАВА 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	63
Методические рекомендации	63
5.1. Физическая сущность и назначение термической обработки	63
5.2. Основные структурные превращения при нагревании и охлаждении стали	65
5.3. Виды термической обработки стали	67
5.4. Оборудование для термической обработки и контрольно-измерительные приборы	72
5.5. Дефекты при термической обработке	73
Новые понятия. Вопросы для самопроверки.	
Тестовый контроль знаний	74
ГЛАВА 6. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	76
Методические указания	76
6.1. Упрочнение пластической деформацией. Явление наклепа	77
6.2. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла. Возврат и рекристаллизация	77

6.3. Упрочнение наплавкой и напылением	79
6.4. Сущность термомеханической обработки, виды и их краткая характеристика	80
6.5. Химико-термическая обработка стали, назначение и ее виды	82
Новые понятия. Вопросы для самопроверки. Тестовый контроль знаний	86
ГЛАВА 7. УГЛЕРОДИСТЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ ...	89
Методические указания	89
7.1. Общая классификация углеродистых сталей	89
7.2. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства углеродных тканей	90
7.3. Маркировка углеродистых конструкционных сталей	92
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	94
ГЛАВА 8. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ	96
Методические указания	96
8.1. Общая характеристика влияния легирующих элементов	97
8.2. Классификация и маркировка легированных сталей	98
8.2.1. Классификация	98
8.2.2. Маркировка	100
8.3. Легированные конструкционные стали	101
8.4. Стали и сплавы с особыми свойствами	101
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	103
ГЛАВА 9. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ И МАТЕРИАЛЫ	105
Методические указания	105
9.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам	106
9.2. Классификация инструментальных сталей	106
9.3. Углеродистые и легированные инструментальные стали	107
9.4. Стали для режущих инструментов	108
9.5. Штамповые стали	109
9.6. Стали для измерительных инструментов	110
9.7. Твердые сплавы	110

9.8. Минералокерамика и алмазные материалы	111
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	112
ГЛАВА 10. ЧУГУНЫ	115
Методические указания	115
10.1. Общая характеристика чугунов	115
10.2. Классификация чугунов	116
10.3. Структура и свойства чугуна	117
10.4. Серый чугун, маркировка, области применения	118
10.5. Высокопрочный чугун, маркировка, области применения	119
10.6. Белый и ковкий чугуны. Маркировка, область применения	119
10.7. Легированные чугуны	121
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	121
ГЛАВА 11. ЛЕГКИЕ ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ	123
Методические указания	123
11.1. Общие сведения	124
11.2. Алюминий и его сплавы	124
11.3. Магний и его свойства	127
11.4. Титан и его свойства	128
11.5. Легкоплавкие сплавы и припой	129
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	130
ГЛАВА 12. ТЯЖЕЛЫЕ ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ	133
Методические указания	133
12.1. Медь и сплавы на ее основе	133
12.2. Медные сплавы	134
12.3. Никель и его сплавы	138
12.4. Антифрикционные материалы, их строение, свойства и области применения	140
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки.	
Тестовый контроль знаний	143
ГЛАВА 13. ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	145
Методические указания	145
13.1. Редкие металлы и их классификация	146

13.2. Цирконий, бериллий и сплавы на их основе	147
13.3. Тугоплавкие металлы (вольфрам, молибден, ниобий, тантал) и сплавы на их основе	148
13.4. Полупроводниковые материалы	150
Новые понятия. Вопросы для самопроверки. Тестовый контроль знаний	152

ГЛАВА 14. НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ

МЕТАЛЛЫ

Методические указания	154
14.1. Двухслойные и многослойные металлы (биметаллы)	154
14.2. Композиционные материалы (строение, свойства, способы получения, область применения)	156
14.3. Материалы, изготавливаемые методами порошковой металлургии	158
14.4. Сплавы с памятью формы	161
14.5. Аморфные металлические сплавы (металлическое стекло) и сплавы космической технологии	162
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	163

ГЛАВА 15. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ

И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

15.1. Виды коррозии металлов и сплавов	165
15.2. Виды коррозионного разрушения	167
15.3. Методы защиты металлов и сплавов от коррозии	168
15.4. Коррозионно-стойкие материалы	172
Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний	173

ЧАСТЬ II. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Методические указания	176
-----------------------------	-----

ГЛАВА 16. ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

16.1. Общая характеристика синтетических полимеров	176
16.2. Основные сведения о пластмассах	178
16.3. Свойства пластмасс	179
16.3.1. Физические свойства	179
16.3.2. Механические свойства	180

16.4.	Основные виды пластмасс и их применение	181
16.5.	Особенности применения пластмасс в машиностроении.	185
	Новые понятия. Вопросы для самоконтроля. Тестовый контроль знаний.	186
ГЛАВА 17. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.		189
17.1.	Общие сведения о древесных конструкционных материалах	189
17.2.	Строение дерева	189
17.3.	Пороки древесины.	191
17.4.	Предохранение древесины от гниения	191
17.5.	Свойства древесины	193
	17.5.1. Физические свойства	193
	17.5.2. Механические свойства	194
17.6.	Виды древесных материалов	195
17.7.	Обработка и отделка древесных материалов	196
	17.7.1. Отделка древесных материалов.	196
	Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний.	197
ГЛАВА 18. СТЕКЛО, КЕРАМИКА.		199
18.1.	Общие сведения о стекле	199
18.2.	Основные свойства стекла	200
18.3.	Виды технических стекол и стеклоизделий	201
18.4.	Общие сведения о керамике	203
	Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний.	204
ГЛАВА 19. РЕЗИНА, КЛЕИ И ДРУГИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ		206
19.1.	Резина и резиновые материалы	206
19.2.	Асбестовые, текстильные и бумажные материалы	208
19.3.	Клеи: состав, свойства, область применения	209
19.4.	Лаки, краски, эмали: их состав и свойства	211
	Новые понятия. Вопросы для самоподготовки. Тестовый контроль знаний.	213
ЗАКЛЮЧЕНИЕ (материаловедение в будущем).		216
ЛИТЕРАТУРА		218

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебный предмет «Материаловедение» входит в блок дисциплин отраслевой подготовки федерального компонента по специальности 03.06.00 – учитель технологии и предпринимательства.

Содержание курса «Материаловедение» соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования 2005 г.

Курс «Материаловедение» дает студентам необходимые знания о строении и свойствах металлических и неметаллических конструкционных материалов. Изучение данного курса является предпосылкой подготовки высокопрофессиональных учителей технологии для общеобразовательной школы, способных осуществлять современные принципы воспитания и политехнического образования.

В настоящее время имеется ряд различных учебников по курсу «Материаловедение». Однако в большинстве они предназначены для технических (инженерных) специальностей и не в полной мере соответствуют по объему учебного материала, уровню трудности действующей программы педагогических университетов при подготовке учителей технологии и предпринимательства средней школы. Вместе с тем дисциплина «Материаловедение» является учебным фундаментом для успешного усвоения ряда специальных дисциплин, таких как «Детали машин», «Сопротивление материалов», «Резание металлов», а также практикумов по слесарной, столярной и механической обработкам, формирующих технический кругозор будущих педагогов. Такое положение вызывает определенные затруднения у студентов при изучении данного курса. Основная задача пособия и заключается в том, чтобы компактно представить содержание программного материала и помочь студентам в успешном изучении этой фундаментальной дисциплины. Приступая к изучению данной дисциплины, необходимо иметь программу, учебную литературу и настоящее учебное пособие. После изучения каждой программной темы необходимо ответить на вопросы самоподготовки и тестового контроля.

С помощью данного пособия студенты смогут в сжатые сроки систематизировать и конкретизировать свои знания по этой дисциплине, сформулировать примерную структуру ответов на курсовых и государственных экзаменах. Пособие не является альтернативой учебникам, где приведены фундаментальные теоретические знания, но служит учебной базой для успешного изучения дисциплины «Материаловедение».

ВВЕДЕНИЕ В ПРЕДМЕТ «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МАТЕРИАЛАХ

В широком понимании материалы – это исходные вещества для производства различной продукции.

Различают следующие разновидности материалов в общем виде:

- сырье, которое подлежит дальнейшей переработке (железные руды, нефть, газ);
- полуфабрикат – переработанный материал, прошедший несколько стадий обработки, для того чтобы стать изделием, пригодным к потреблению.

Материаловедение – наука, изучающая строение и свойства материалов и устанавливающая связь между составом, строением и свойствами, а также разрабатывающая пути воздействия на их свойства с целью повышения их качества, которое связано с применением внешних воздействий (тепловое, механическое, химическое).

Предмет изучения материаловедения состоит из двух частей: металлические и неметаллические материалы. Сегодня основным конструкционным материалом в промышленном производстве являются металлы и металлические сплавы. Поэтому основное содержание этого предмета относится к изучению металлических материалов – *металловедения*, науки, изучающей строение и свойства металлов и сплавов и устанавливающей связь между их составом, строением и свойствами, а также разрабатывающей технологии воздействия на свойства с целью их улучшения.

Сегодня, наряду с классическими металлическими материалами, находят применение пластические массы, техническая керамика, композиционные материалы, амформные сплавы. Особо следует отметить внедрение в производство композитов, что дает экономии дефицитных металлов, уменьшает массу изделий и повышает их надежность и долговечность. В современном автомобилестроении замена металлических деталей на углепластики из эпоксидной смолы,

армированной углеродными волокнами, позволяет уменьшить массу машины, расход топлива, антикоррозийную стойкость.

2. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

С древних времен люди использовали готовые природные материалы, совершенствовали их. Вся история существования человечества связана с освоением различных материалов: каменный век сменился медно-каменным, затем бронзовым и железным веками. На очереди, вероятно, алюминиевый век, так как запасы алюминия в земной коре значительно превосходят железо. Изготовив первые орудия труда из камня, человек освоил плавление и литье меди, оловянной бронзы. Применение каменного угля вместо древесного в качестве топлива при плавлении руд и открытие коксования каменного угля способствовало ускоренному развитию плавки чугуна. Затем расплавленный чугун был впервые превращен в сталь.

Научные открытия в области химии и металлостроения способствовали созданию новых сплавов. После открытия бензола началось развитие новой отрасли промышленности, вырабатывающей синтетические конструкционные материалы. Новый материал бакелит стал первым продуктом производства пластических масс.

Благодаря фундаментальным исследованиям в области металлостроения быстро растет число сплавов, обладающих коррозионной стойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью, особыми магнитными свойствами, «памятью» механической формы.

Создаются новые типы материалов: сверхпроводники, полупроводники, аморфные и космические сплавы. Сегодня научно-технический прогресс требует создания новых материалов, работающих в условиях сверхвысоких температур и давлений.

3. ВКЛАД ОТЕЧЕСТВЕННЫХ УЧЕНЫХ В РАЗВИТИЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Большой вклад в развитие науки о материалах внесли русские ученые. Появление новых материалов, научно-технический прогресс в этой области основаны на работах этих ученых. Основоположниками в данной области науки являются М.В. Ломоносов, П.П. Аносов, Д.К. Чернов, И.П. Бардин, М.А. Павлов, С.С. Штейнберг, Н.А. Минкевич, А.М. Бутлеров, С.В. Лебедев и многие другие.

М.В. Ломоносов работал в различных областях науки. Он впервые создал теоретические основы металлургии, исследовал строение и свойства стали.

Д.К. Чернов исследовал свойства полиморфизма железа, открыл критические точки (температуры) фаз превращения стали, разработал теорию кристаллизации стального слитка, всемирно признан основоположником научного металловедения.

П.П. Аносов заложил основы металлографии, раскрыл секреты получения булатной стали. Его фундаментальный труд «О булатах» был опубликован в России в 1841 г.

М.А. Павлов разработал теоретические основы доменного процесса получения чугуна.

А.М. Бутлеров создал научную основу получения синтетических полимерных материалов.

С.С. Штейнберг и Н.А. Минкевич работали в области теоретических основ термической обработки металлических сплавов.

С.В. Лебедев разработал теорию получения синтетического каучука.

Огромное влияние на изучение металлов имело открытие периодического закона Д.И. Менделеева.

В 1960 г. Е.С. Федоровым была выдвинута гипотеза о том, что в кристаллах существует закономерное расположение атомов. Экспериментально эта гипотеза была подтверждена М. Лауэ с помощью рентгенографического анализа.

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРЕДМЕТА «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» И ЕГО СВЯЗЬ С ДРУГИМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ И С ИНТЕГРИРОВАННЫМ КУРСОМ «ТЕХНОЛОГИЯ» В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

Изучение данного предмета является предпосылкой к успешному освоению ряда специальных дисциплин, формирующих политехнический кругозор будущего учителя технологии. Научно-технический прогресс в машиностроении значительно расширяет перечень применяемых конструкционных материалов. Наряду с такими классическими материалами, как чугун, сталь, цветные металлы и сплавы, широкое применение находят новые материалы – техническая керамика, композиционные материалы, сверхпроводники, материалы для атомной техники, стеклопластики и другие.

Таким образом, этот предмет имеет познавательное, научное и воспитательное значение. Он призван сформировать у будущего учителя технологии глубокие знания основ материаловедения, принципов выбора материалов для конкретного изделия, технологий повышения физико-механических свойств. Данный курс состоит из следующих основных разделов:

1. Введение в предмет «Материаловедения».
2. Основы материаловедения и способы воздействия на строение и свойства металлических сплавов.
3. Металлические конструкционные материалы.
4. Новые конструкционные материалы.
5. Строение и свойства неметаллических материалов.
6. Материаловедение в будущем.

В результате изучения этого предмета студент должен знать:

- основы строения и свойств металлических и неметаллических материалов;
- теоретические основы получения металлических сплавов и способы улучшения их свойств;
- классификацию и маркировку наиболее употребляемых в производстве конструкционных материалов;
- современное состояние и перспективы получения новых конструкционных материалов.

Он должен уметь:

- рационально выбирать материалы для работ в своей будущей профессиональной деятельности;
- выполнять практические операции основных видов термических и других упрочняющих обработок;
- получать и обрабатывать заготовки, изделия современными технологиями.

Материаловедение имеет непосредственную связь с технологией конструкционных материалов, представляющую собой совокупность современных знаний о способах получения и обработки материалов, методах получения готовых деталей из них.

Интегрированный курс «Технология» в средней школе в значительном объеме опирается на содержание предмета материаловедения. Основным объектом на занятиях по технологии являются металлические и неметаллические материалы. Учащиеся работают с проволокой, листовой сталью, пластмассами, древесными материалами, картоном, клеем. Строение, свойства, получение материалов, их использование тесно связано с физикой, химией, с такими специ-

Введение в предмет «Материаловедение»

альными дисциплинами, как «Детали машин», «Сопротивление материалов», «Резание металлов, станки и инструмент», практикумы по слесарной, дерево- и металлообработке, техническому творчеству.

ЧАСТЬ I

СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение этого раздела курса «Материаловедения» послужит основой для уяснения всех последующих.

Прежде всего надо выяснить, что такое металл, какими основными свойствами обладают металлы и сплавы и чем эти свойства отличаются от неметаллических материалов; познакомиться с классификацией металлов, конструкционных металлических и неметаллических материалов. Изучить атомно-кристаллическое строение металлов, их отличие от строения неметаллов; изучить типы кристаллических решеток и их характеристики; уяснить отличие строения реальных кристаллов от идеальных. Металлы, используемые в промышленности, – тела поликристаллические, состоят из множества кристаллов – зерен, в которых имеется большое количество точечных, линейных и поверхностных дефектов (вакансий, дислокаций). Необходимо уяснить их появление и влияние на свойства металлов. Обратите внимание на явления анизотропии свойств в кристаллах и аллотропии (полиморфизма) на примере железа, когда под воздействием температуры изменяется форма или параметры кристаллической решетки. Аллотропические превращения всегда связаны с изменением свойств.

Изучая механизм кристаллизации металлов, нужно разобраться в термодинамических основах фазовых превращений, влиянии примесей, скорости охлаждения. Целесообразно с этих позиций рассмотреть строение стального слитка.

Особое внимание уделите изучению физических, механических, химических, технологических свойств металлов и триботехническим характеристикам материалов. Необходимо иметь понятие о стандартизации материалов и об основных методах определения их строения и свойств.

ГЛАВА 1. КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

1.1. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Металлы относятся к числу наиболее распространенных конструкционных материалов. Первыми металлами, которые выплавляли из руд, были медь, свинец, затем появились железо и олово. В технике под металлом понимают вещества, обладающие «металлическим блеском». По этому признаку металлы можно отличить от неметаллов, например, дерева, камня, стекла. По определению М.В. Ломоносова, «металлы суть светлые тела, которые ковать можно». Этими свойствами обладают не только чистые элементы, например, медь, железо, но и более сложные вещества, в состав которых может входить несколько элементов – металлов. Такие вещества называются металлическими сплавами. Следовательно, в более широком толковании металлические сплавы также могут быть названы металлами. Кроме металлического блеска и пластичности, все металлы обладают электропроводностью и теплопроводностью. Все металлы и металлические сплавы имеют кристаллическое строение. В узлах кристаллических решеток металлов находятся положительно заряженные ионы, а между ними свободно перемещаются электроны.

Характерные свойства металлов объясняются специфическими свойствами металлической связи. Изучением металлов и сплавов и занимается наука «Металловедение». Эта наука не только объясняет внутреннее строение и свойства сплавов, но и устанавливает закономерную зависимость между внутренним строением и его свойствами, а также определяет наилучший состав, метод изготовления для получения требуемых свойств. Впервые на связь между строением металлов и их свойствами обратили внимание русские ученые П.П. Аносов и Д.К. Чернов. Стремясь к повышению механических свойств металлических изделий, П.П. Аносов применил для изучения строения металлов металлографический микроскоп; Д.К. Чернов установил связь между строением, свойствами и обработкой металла. Ими были заложены основы современного металловедения. Работы Д.К. Чернова были продолжены учеными Н.С. Курнаковым, А.А. Байковым, А.А. Бачваром, Н.Т. Гудцовым и др. Н.С. Курнаков научно обосновал процесс образования сплавов с нужными свойствами. Металловедами непре-

ровно ведутся разработки новых сплавов с заранее заданными свойствами для суперсовременных технологий в различных отраслях промышленности.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует общепринятая классификация, согласно которой все металлы подразделяются на две большие группы – черные и цветные. Под черными металлами подразумеваются железо и его сплавы, а под цветными – все остальные. Черные металлы имеют темно-серый цвет, большую плотность (кроме щелочно-земельных), высокую температуру плавления, относительно высокую твердость. Цветные металлы имеют характерную окраску: красную, желтую, белую, обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления. Наиболее типичным металлом этой группы является медь.

Однако каждый металл отличается строением и свойствами от другого, и по некоторым признакам их можно объединить в группы. Такая классификация дана металловедом А.П. Гуляевым. Согласно его классификации, черная группа металлов в свою очередь подразделяется на:

- 1) железные – железо, кобальт, никель, марганец;
- 2) тугоплавкие, температура плавления которых выше, чем железа (1539 °С);
- 3) урановые, имеющие преимущественное применение в сплавах для атомной энергетики (торий, уран, плутоний);
- 4) редкоземельные (РЗМ) – лантан, церий, неодим, празеодим и др.;
- 5) щелочно-земельные, они в свободном металлическом состоянии не применяются, за исключением специальных случаев, например, в качестве теплоносителей в атомных реакторах (литий, натрий, калий, барий и др.).

Цветная группа металлов подразделяется на:

- 1) легкие – бериллий, магний, алюминий, обладающие малой плотностью;
- 2) благородные – серебро, золото, платина, палладий и др.;
- 3) легкоплавкие – цинк, ртуть, олово, свинец, сурьма и др.

Применение металлов и сплавов определяется их распространенностью в природе, а в историческом аспекте – развитием науки и техники (научно-технического прогресса в обществе).

Запасы металлов на нашей планете в настоящее время оцениваются довольно точно. В земной коре (литосфере) на глубине до 1 км содержатся следующие элементы (их доля указана в весовых процентах):

Алюминий	8
Железо	5
Магний	2,1
Титан	0,6
Медь	0,01
Никель	0,01
Олово	0,004
Цинк	0,004
Свинец	0,0016
Серебро	0,00001
Золото	0,0000005
Платина	0,00000005

Сегодня промышленность использует наряду с чистыми металлами большой спектр различных конструкционных материалов. Условно их можно классифицировать на следующие виды:

- 1) чугуны – белый, ковкий, серый, высокопрочный и специальные;
- 2) стали – углеродистые, легированные;
- 3) цветные металлы и сплавы на их основе – дюралюминий, силумин, бронза, латунь;
- 4) порошковые материалы;
- 5) новые материалы – композиты, сплавы с памятью формы, аморфные, космические;
- 6) неметаллические – пластмассы, древесина, стекло, резина, краски, лаки, эмали, клеи.

Особую группу составляют триботехнические материалы. Эти материалы предназначены для применения в узлах трения с целью регулирования параметров трения и изнашивания для обеспечения заданных работоспособности и ресурса этих узлов. Основными видами таких материалов являются:

- 1) смазочные – смазки в твердой (графит, тальк), жидкой (моторные, трансмиссионные масла), газообразной (воздух, пары и другие газы) фазах;
- 2) антифрикционные – сплавы цветных металлов (баббиты, бронзы, латуни), серый чугун, пластмассы (текстолиды, фторопласты),

металлокерамические материалы (бронзографит, железографит), резины, древесно-слоистые пластики;

3) фрикционные, имеющие большой коэффициент трения и высокое сопротивление к изнашиванию (пластмассы, некоторые виды чугунов и металлокерамики, композиты).

1.3. СТАНДАРТИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Стандартизация материалов – это установление и применение правил производства и переработки материалов для достижения их оптимального использования и соблюдения требований безопасности. Главными целями стандартизации материалов являются повышение эффективности производства, улучшение качества промышленной продукции, установление оптимальной номенклатуры материалов. Нормативно-технические документы, устанавливающие комплекс норм, правил, требований к качеству материала, подразделяют на следующие виды:

1) государственные стандарты (ГОСТ), обязательные для всех предприятий, организаций и учреждений во всех отраслях промышленности и народного хозяйства;

2) отраслевые стандарты (ОСТ), обязательные для всех предприятий и организаций данной отрасли, а также отраслей (заказчиков), применяющих их продукцию;

3) технические условия (ТУ) устанавливают общие для одного или нескольких типов (видов, марок) материалов эксплуатационные характеристики, правила приемки, методы контроля качества, требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению, гарантий изготовителя.

1.4. АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Всякое вещество, в том числе и металл, может находиться в трех агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. В чем же состоит различие между газообразным, жидким и твердым состояниями? В газообразном состоянии не существует закономерности расположения атомов, молекул, они двигаются хаотично, отталкиваются одна от другой и газ стремится занять возможно больший объем. В твердых телах порядок расположения атомов строго определенный, закономерный, силы взаимного притяжения и отталкивания

уравновешены и твердое тело сохраняет свою форму. Такое расположение атомов в пространстве характеризует кристаллическое состояние. Кристаллическое строение характеризуется *дальним порядком* в расположении атомов. Кристаллическое состояние и твердое состояние – это слова-синонимы. Однако это относится только к металлам, так как твердое вещество, например, кварцевое стекло имеет аморфное строение, где атомы расположены беспорядочно.

В жидкости части (атомы, молекулы) сохраняют лишь так называемый *ближний порядок*, т.е. в пространстве закономерно расположено небольшое количество атомов, а не атомы всего объема, как в твердом теле. Ближний порядок неустойчив: он то возникает, то исчезает под действием тепловых колебаний. Таким образом, жидкое состояние – как бы промежуточное между твердым и газообразным.

На рис. 1 представлена схематическая модель расположения атомов при ближнем, дальнем и хаотичном порядках.



Рис. 1. Кристаллические решетки металлов

При рассмотрении изломов металлов видно, что все они имеют кристаллическое строение и состоят из множества зерен. Тонкие линии (узоры) на поверхности микрошлифа представляют собой границы между зернами, из которых состоит металл.

Однако внешняя форма зерен не имеет характерных очертаний кристаллов, так как металлы представляют собой поликристаллическое строение. Это хорошо видно на структуре чистого железа, где зерна имеют самую разнообразную форму (рис. 2).

Основным признаком, по которому тело считают кристаллическим, является не внешняя форма, а его внутреннее строение. Кристаллическое строение металлов характеризуется определенным, закономерным расположением атомов в пространстве, образующим кристаллическую решетку. Элементарную кристаллическую (простую кубическую) ячейку можно представить в кристаллографической плоскости и в виде кубической решетки (рис. 3).

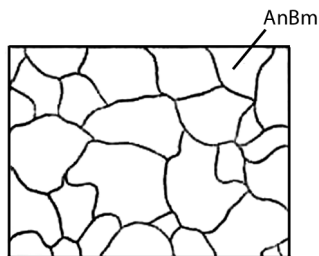


Рис. 2. Микроструктура чистого железа (схема)

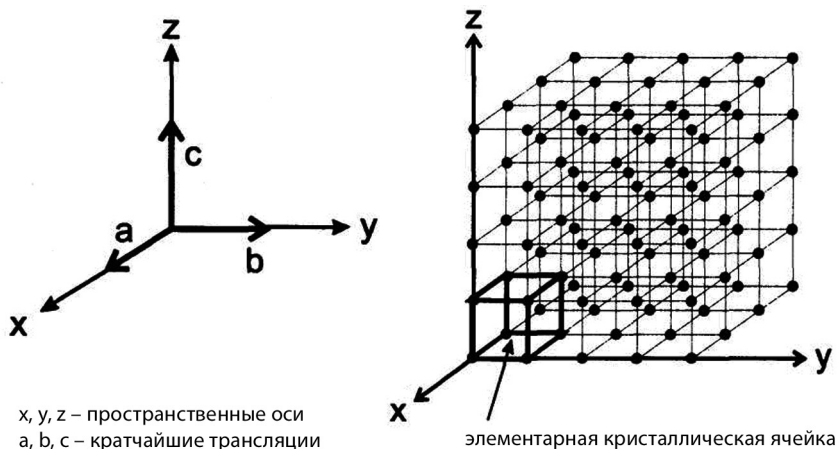


Рис. 3. Схематическое изображение простейшей кубической пространственной решетки кристалла и ее элементарной ячейки.
Атомы расположены равномерно во всех трех направлениях

Для большинства металлов наиболее характерны три типа кристаллических решеток: кубическая объемноцентрированная, кубическая гранецентрированная и гексагональная с плотной упаковкой атомов (рис. 4). Кубическую объемноцентрированную решетку имеют хром, молибден, вольфрам, титан, ниобий; кубическую гранецентрированную – алюминий, медь, никель, серебро, свинец и др.; гексагональная решетка характерна для магния, цинка, гафния, осмия.

Расстояние между центрами ближайших атомов в элементарной ячейке называется периодом решетки или ее параметром. Для измерения параметров решетки пользуются специальной единицей, называемой ангстремом (\AA). $1\text{\AA} = 10^{-10}$ м, используются и другие единицы, такие как килоиски и нанометры, $1\text{ кх} = 1,00202 \cdot 10^{-10}$ м, $1\text{ нм} = 10\text{\AA} = 10^{-9}$ м.

Параметр кубических решеток колеблется в пределах $0,286 \div 0,607$ нм, гексагональный решетки – $a = 0,228 \div 0,398$ нм и $c = 0,357 \div 0,652$ нм.

Кроме периода решетки кристаллы характеризуются координационным числом, коэффициентом компактности решетки и базисом. Координационное число показывает, сколько ближайших равноудаленных соседних атомов окружают ближайший атом в кристалле. Оно характеризует плотность упаковки атомов в кристалле. Коэффициент компактности показывает отношение объема, занятого атомами, ко всему объему решетки. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку, называется базисом решетки. Базис показывает сложность решетки.

В левой части рис. 4 изображены атомы в кристаллической решетке в виде соприкасающихся шаров.

В одном кубическом сантиметре объема кристаллического тела содержится примерно 10^{22} атомов.

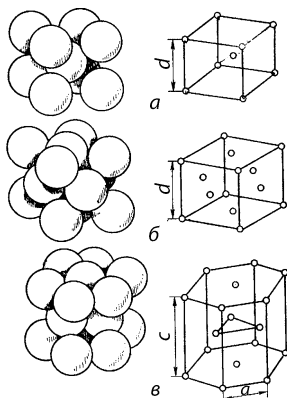


Рис. 4. Схемы кристаллических решеток металлов: а – кубическая объемноцентрированная; б – кубическая гранецентрированная; в – гексагональная плотноупакованная

1.6. РЕАЛЬНОЕ СТРОЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ И ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

Нами было рассмотрено строение идеальных кристаллов. Структура реальных кристаллов, составляющих полиструктуру, имеет много дефектов (несовершенств) строения, которые оказывают большое влияние на многие свойства материала и в первую очередь на прочность. Сегодня можно получить кусок металла, представляющий собой один кристалл, так называемый монокристалл. Монокристаллы весом в несколько сот граммов изготавливают для исследования и для получения полупроводников. Исследование монокристаллов показало, что они обладают весьма высокой прочностью. Прочность же реальных кристаллов на 2–3 порядка меньше, чем у монокристалла. Это объясняется наличием дефектов в кристаллической решетке, происходящие в процессе кристаллизации либо пластической деформации.

Основными дефектами кристаллической решетки являются точечные, линейные и поверхностные (рис. 5).

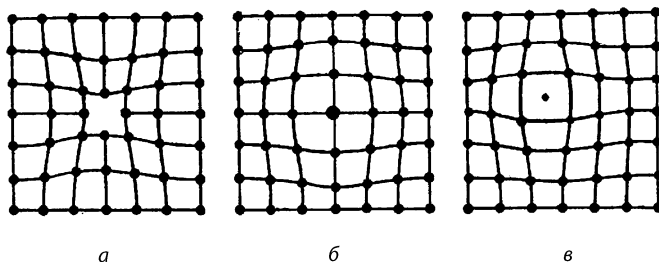


Рис. 5. Схема точечных дефектов: *a* – вакансия; *б* – замещенный атом; *в* – внедренный атом

Из приведенной схемы точечных дефектов кристаллической решетки видно, что ее классическое строение нарушено внешними факторами, такими как тепловые колебания, пластические деформации, загрязненность металла.

Линейные дефекты называют дислокациями. Это цепочки дислокации, перестановки атомов, они наиболее часто получают в процессе пластической деформации.

Поверхностные дефекты возникают на границах кристаллов (зерен) и имеют, как правило, дислокационное происхождение.

1.7. АНИЗОТРОПИЯ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ

Анизотропия – это различие свойств монокристаллов в зависимости от направления воздействия нагрузок. Она обусловлена неодинаковым расположением и плотностью атомов в зависимости от плоскости и направления. Анизотропность кристаллов объясняется особенностями расположения атомов в пространстве. Аморфные тела *изотропны*, т.е. все их свойства одинаковы во всех направлениях.

Реальный металл состоит из многих кристаллов, в 1 см³ такого металла содержится десятки тысяч кристаллов. Произвольность ориентировки каждого кристалла приводит к тому, что в любом направлении располагается примерно одинаковое количество различно ориентированных кристаллов. В результате получается, что свойства такого поликристаллического сплава одинаковы во всех направлениях, хотя свойства отдельно взятого кристалла зависят от направления. Это явление называется *квазиизотропией* или ложной, кажущейся изотропностью.

1.8. ПОЛИМОРФНЫЕ И МАГНИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

Существование одного металла в нескольких кристаллических формах носит название *полиморфизма* или *аллотропии*. Это свойство металлов изменять тип и размеры кристаллических решеток при нагревании и охлаждении. Превращение одной аллотропической формы в другую при нагреве чистого металла сопровождается поглощением тепла и происходит при постоянной температуре. На термической кривой (в координатах температура – время) превращение отмечается горизонтальным участком. При охлаждении происходит выделение тепла (выделение скрытой теплоты превращения) теоретически при такой же температуре, что и при нагреве. Температура, при которой происходит переход из одного типа кристаллической решетки в другой, носит название температуры полиморфного (аллотропического) превращения. Так, например, железо имеет две температуры полиморфного превращения: 911 и 1392 °C.

Полиморфные превращения наблюдаются у многих металлов, таких, как железо, марганец, олово и др. Каждое полиморфное превращение, начиная с низкой температуры, обозначается греческими буквами. Полиморфные превращения железа обозначаются следующим образом: $Fe\alpha \rightarrow Fe\beta \rightarrow Fe\gamma \rightarrow Fe\delta$. На кривой охлаждения желе-

1.8. Полиморфные и магнитные превращения металлов в твердом состоянии

за показаны все его полиморфные превращения. Ниже 911°C железо существует в форме α , при 911°C объемноцентрированная решетка $Fe\alpha$ переходит в гранецентрированную решетку $Fe\gamma$, которая при 1392°C вновь превращается в объемноцентрированную. При температуре 768°C получается остановка на кривой охлаждения, связанная не с перестройкой решетки, а с изменением магнитных свойств. Выше 768°C α – железо немагнитно и его называют β -железом. При нагревании происходит те же переходы, только в обратной последовательности (рис. 6).

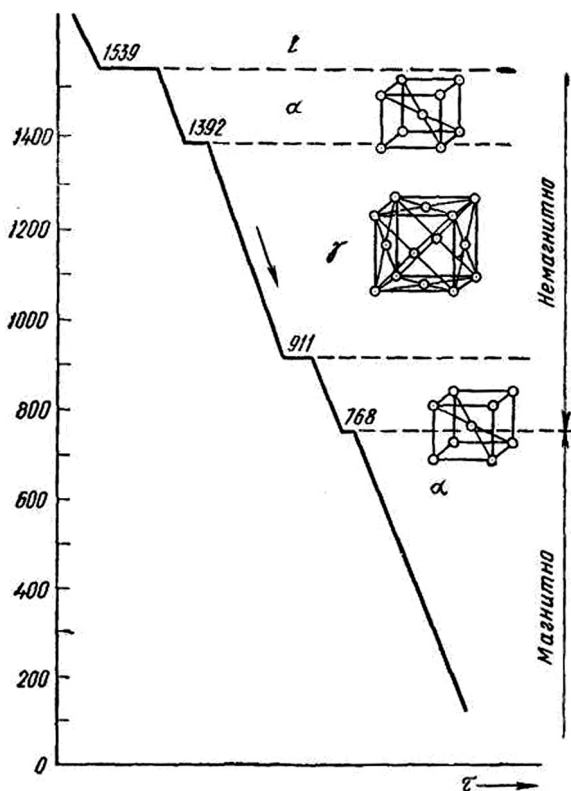


Рис. 6. Кривая охлаждения железа

Полиморфные превращения сопровождаются изменением в твердом состоянии структуры металла, а следовательно, и его свойств. Та-

кое явление широко используется при термической обработке железоуглеродистых сплавов.

Магнитные превращения характерны для таких металлов, как железо, кобальт, никель. Эти металлы способны хорошо намагничиваться, приобретать ферромагнитные свойства. Однако при нагреве ферромагнитные свойства этих металлов теряются (рис. 7). П. Кюри показал, что полная потеря ферромагнитных свойств происходит при определенной температуре, названной точкой Кюри.

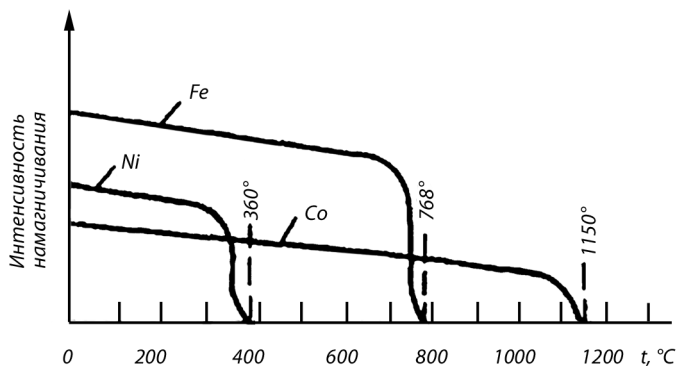


Рис. 7. Зависимость ферромагнитных свойств железа, никеля, кобальта от температуры

Интенсивность намагничивания с повышением температуры постепенно снижается, и точка Кюри соответствует окончательной потере ферромагнетизма. Магнитные превращения существенно отличаются от аллотропического. Основные отличия состоят в том, что механические и физические свойства не изменяются (изменяются только электрические, магнитные и тепловые) и, самое главное, магнитное превращение не сопровождается перекристаллизацией, т.е. изменением решетки. Согласно современным представлениям, при магнитных превращениях происходит изменение не в кристаллической структуре металла, а во взаимодействии внешних и внутренних электронных оболочек атомов.

1.9. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ

Кристаллизацией называют процесс образования кристаллов в металлах при переходе из жидкого состояния в твердое. Различают

первичную и вторичную кристаллизацию: первичная – образование кристаллов из жидкости в процессе затвердевания металла; вторичная – изменение кристаллического строения металла в твердом состоянии. Чем объяснить существование при одних температурах жидкого, а при других температурах твердого состояния? В природе все самопроизвольно протекающие превращения, такие, как плавление и кристаллизация, обусловлены тем, что новое состояние является энергетически более устойчивым, обладает меньшим запасом энергии.

Энергетическое состояние системы, имеющей огромное число охваченных тепловым движением атомов, молекул, характеризуется особой термодинамической функцией F , называемой свободной энергией. С изменением внешних условий, например, температуры, свободная энергия системы изменяется по сложному закону, но различно для жидкого и твердого состояний. Схематично характер изменения свободной энергии жидкого и твердого состояний с температурой можно представить в следующем виде (рис. 8):

Выше температуры T_s меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, ниже T_s – вещество в твердом состоянии. А при температуре, равной T_s , свободные энергии жидкого и твердого состояний будут равны, металл в обоих состояниях будет находиться в равновесии. Эта температура T_s и есть равновесная или теоретическая температура кристаллизации. Однако при этой температуре не может происходить ни процесс кристаллизации, ни плавления, так как $F_{\text{ж}} = F_{\text{кр}}$.

Процесс кристаллизации возможен только тогда, когда жидкость будет охлаждена ниже точки T_s . Температура, при которой практически начинается кристаллизация, называется фактической температурой кристаллизации. Степень переохлаждения расплава будет определяться разностью между теоретической и фактической температурами кристаллизации.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах «время – температура».

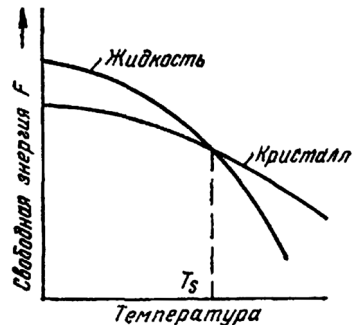


Рис. 8. Изменение свободной энергии жидкого и твердого состояний

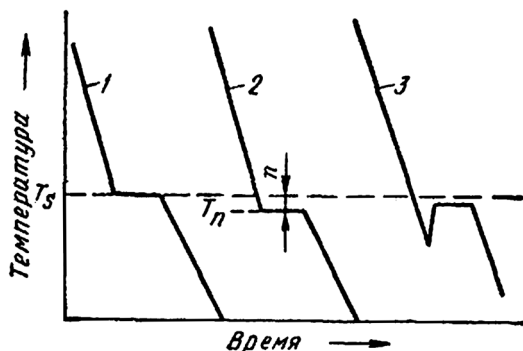


Рис. 9. Кривые охлаждения при кристаллизации

Кривая 1 характеризует теоретический процесс кристаллизации, кривая 2 показывает ее реальный процесс. Жидкость непрерывно охлаждается до температуры переохлаждения T_n , лежащей ниже теоретической температуры кристаллизации.

У некоторых металлов из-за большого переохлаждения (например, у сурьмы до 40°C) при температуре переохлаждения T_n (кривая 3) сразу бурно начинается кристаллизация, в результате чего температура скачком повышается почти до T_s .

При достижении температуры кристаллизации на кривых 1, 2, 3 появляется горизонтальная площадка, так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации скрытой теплотой кристаллизации. По окончании кристаллизации температура снова начинает снижаться, и твердое кристаллическое вещество охлаждается.

Д.К. Чернов установил, что механизм кристаллизации металлов состоит из зарождения центров кристаллизации и роста кристаллов из этих центров. Процесс кристаллизации протекает тем быстрее, чем больше образуется зародышей (центров кристаллизации) в единицу времени и в единице объема и чем больше скорость их роста. Чем больше скорость образования зародышей и меньше скорость их роста, тем меньше размер кристалла. Размер зерна металла сильно влияет на его механические свойства. Чем меньше кристалл, тем более высокие эти свойства. Для получения мелких кристаллов создают искусственные центры кристаллизации. Для этого в жидкий металл вводят специальные добавки (магний, алюминий, церий и др.), называемые модификаторами.

По мере протекания процесса кристаллизации происходит как зарождение новых центров кристаллизации, так и рост кристаллов. В процессе кристаллизации, пока растущий кристалл окружен жидкостью, он имеет правильную форму. Однако при соприкосновении с другими растущими кристаллами их правильная форма нарушается. После затвердевания металла получаются кристаллы неправильной формы, границы которых чаще всего принимают округлые очертания. Такие кристаллы называют зернами или кристаллитами. Если рост кристаллов происходит по трем направлениям, то образующийся в результате кристаллизации кристаллит имеет древовидную форму, эти кристаллы получили название дендритов.

Реальный процесс кристаллизации целесообразно изучить по строению стального слитка. Описание строения стального слитка впервые дано в 1878 г. Д.К. Черновым.

Структура литого слитка состоит из трех основных зон (рис. 10).

Первая зона состоит из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов (древовидные кристаллы), полученных из-за быстрого охлаждения и образования большого количества центров кристаллизации.

Вторая зона – столбчатые кристаллы, полученные вследствие уменьшения степени переохлаждения стали. В результате из зародышей начинают расти в направлении отвода тепла столбчатые кристаллы.

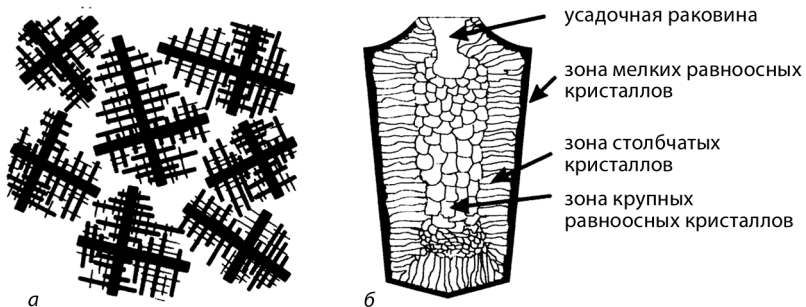


Рис. 10. Схема дендритных кристаллов (а) и макроструктура стального слитка (б)

Третья зона слитка – зона равновесных кристаллов, так как в центре слитка уже нет определенной направленности отдачи тепла. В строении слитка различаются усадочные и газовые раковины и пузыри.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Тугоплавкие металлы.
Щелочно-земельные металлы.
Триботехнические материалы.
Антифрикционные сплавы.
Фрикционные материалы.
Государственный стандарт материалов.
Отраслевые стандарты материалов.
Ближний порядок расположения атомов.
Дальний порядок расположения атомов.
Аморфное строение материалов.
Кристаллическая решетка.
Кубическая объемноцентрированная решетка.
Кубическая гранецентрированная решетка.
Гексагональная решетка с плотной упаковкой атомов.
Ангстрем, килоиски, нанометры.
Идеальные кристаллы металлов.
Реальные кристаллы металлов.
Анизотропия свойств кристаллов.
Квазиизотропия.
Свойство полиморфизма (аллотропии металлов).
Магнитные превращения металлов.
Модификаторы и модифицирование сплавов.
Дендритное строение сплавов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что изучает наука материаловедение?
2. Дайте определение понятий «металл» и «конструкционный материал».
3. Роль конструкционных материалов в развитии науки, техники, производства.
4. В чем отличие «Материаловедения» от науки «Технология конструкционных материалов»?
5. Что изучает металловедение?
6. Приведите примеры кристаллических и аморфных тел.
7. Какие типы кристаллических решеток характерны для металлов?
8. Что такое полиморфизм железа?
9. Основные отличия первичной кристаллизации металлов от вторичной.

10. Какое влияние оказывает скорость охлаждения металла на его структуру и свойства?
11. В чем сущность анизотропии свойств кристаллов?
12. Назовите основные дефекты кристаллического строения.
13. Понятие идеальных и реальных кристаллов.
14. Механизм кристаллизации металлов.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Материаловедение – это наука, которая изучает:
 - а) способы получения материалов;
 - б) способы получения металлов;
 - в) строение, свойства, состав материалов в их взаимосвязи;
 - г) способы получения заготовок (деталей) из материалов.
2. Основную массу земной коры составляют многие химические элементы. Какой из элементов содержится в наибольшем количестве?
 - а) железо;
 - б) титан;
 - в) алюминий;
 - г) магний.
3. Металловедение – это наука, изучающая:
 - а) строение металлов и сплавов;
 - б) строение и свойства металлов и сплавов;
 - в) строение, свойства и состав металлов и сплавов;
 - г) состав и строение металлов и сплавов.
4. Железо при нагревании до определенной температуры становится немагнитно. Назовите эту температуру.
 - а) 723 °С;
 - б) 768 °С;
 - в) 911 °С;
 - г) 139 °С.
5. *Fe_γ* представляет собой полиморфное превращение железа при нагревании и охлаждении. Назовите тип кристаллической решетки.
 - а) объемноцентрированная кубическая;
 - б) гранецентрированная кубическая;
 - в) гексагональная плотноупакованная;
 - г) кубическая простая.
6. Укажите, с чем связаны полиморфные превращения железа.
 - а) с изменением строения внешних и внутренних электронных оболочек атомов;
 - б) с изменением кристаллической структуры железа;

- в) с изменением кристаллической структуры и внешних электронных оболочек.
7. Железо, кобальт, никель обладают ферромагнитными свойствами, но при нагревании эти свойства полностью теряются. Назовите металл, имеющий наименьшую температуру нагрева, при которой он становится не магнитным:
- а) железо;
 - б) кобальт;
 - в) никель.
8. Укажите, с чем связаны магнитные превращения металлов?
- а) изменяются механические свойства;
 - б) изменяются электрические и тепловые свойства;
 - в) изменяется кристаллическая решетка;
 - г) изменяется строение внешних электронных оболочек атомов металлов.
9. Вторичная кристаллизация металлов происходит при следующих технологических процессах:
- а) при остывании жидкого металла;
 - б) при обработке металла давлением;
 - в) при термической обработке (закалке);
 - г) при модифицировании жидкого металла.
10. Получение мелкозернистой структуры металла при кристаллизации достигается за счет:
- а) медленного охлаждения;
 - б) быстрого охлаждения;
 - в) модифицирования жидкого расплава.

ГЛАВА 2. СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПОСОБЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

2.1. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Признаки, по которым различают вещества, в том числе и металлические сплавы, отличаются одни от других, называются свойствами, которые зависят от состава и внутреннего строения, и чтобы получить полную информацию об этих свойствах, необходимо определить химический состав и структуру этих сплавов.

Химический состав сплава определяется с помощью химического, спектрального, рентгеноспектрального и микрорентгеноспектрального методов.

Химический метод анализа дает точное содержание составляющих сплав элементов, но он сравнительно долгий по времени.

Спектральный метод не обеспечивает большой точности, но определяет в течение нескольких минут химический состав сплава. Для изучения точного состава отдельных структурных составляющих используют рентгеноспектральный и микрорентгеноструктурный методы.

Представляет практический интерес проба на искру для определения состава и марки стали. При обработке сталей абразивными кругами обрабатываемая ими стружка горит на воздухе искрами. Цвет искр колеблется от ослепительно белого до темно-красного. Чем больше в стали содержится углерода, тем больше в ее искрах светлых звездочек. Например, мягкая углеродистая сталь (0,12% С) даст соломенно-желтый пучок искр, твердая углеродистая сталь (1,2 – 1,4% С) – ослепительно белый с рассыпающимися искрами. Присутствие в стали вольфрама можно установить по красному цвету искр, наличие хрома – по оранжевому, марганца – по темно-желтому и т.д. Метод приближенного определения химического состава по искре требует определенного навыка и специальных эталонов для сравнения характера искр.

При изучении структуры металлов и сплавов следует различать такие понятия, как макро-, микро- и тонкая структуры.

Макроструктура изучается с помощью макроанализа, который позволяет изучить структуру невооруженным глазом или с увеличением в 5–30 раз с помощью бинокулярных луп. Таким методом изучают изломы деталей, сварных швов, а также с помощью специально подготовленных макрошлифов. С помощью макроанализа можно определить способ изготовления детали, размер зерна, наличие ликвации, газовых и усадочных раковин, трещин.

Микроструктура изучается с помощью микроанализа с использованием металлографических и электронных микроскопов с увеличением в миллион крат и более.

Тонкая структура изучается с помощью рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов. Эти методы основаны на явлении отражения рентгеновских лучей с короткой волной от атомов в кристаллической решетке. Они дают информацию о форме и размерах элементарной ячейки кристалла, о влиянии легирующих элементов на параметры кристаллической решетки.

Современные установки с помощью компьютера автоматически выдают детальную информацию о строении сплава.

Термический анализ фиксирует температуры фазовых превращений в сплавах. Исследуемый сплав нагревают и охлаждают с записью на диаграмме «температура–время» и по ней устанавливают температуры фазовых превращений.

Дилатометрический метод основан на изменении объема или длины образца сплава при его нагреве и охлаждении. Таким образом определяются коэффициенты линейного и объемного расширения металлов и сплавов.

Метод электросопротивления основан на том, что сопротивление образца будет меняться с изменением структуры сплава при температурном воздействии.

Метод радиоактивных изотопов (меченых атомов) применяют для изучения однородного сплава, процессов диффузии химических элементов. Например, введение радиоактивного углерода в сплав будет испускать γ -излучения (электромагнитные волны типа рентгеновских лучей). Излучение будет фиксироваться счетчиками или на фотографической пластине, по которому можно судить о строении сплава.

Магнитный метод основан на изменении магнитных свойств сплава с изменением его внутреннего строения при тепловом воздействии в результате перехода из парамагнитного состояния в ферромагнитное и наоборот. Диаграммы намагничивания образца при различных температурах дают информацию о внутренних процессах, происходящих в сплаве.

Ультразвуковая дефектоскопия применяется для выявления дефектов структуры на значительной глубине. Для этого используются ультразвуковые колебания с частотой от 2 до 10 млн Гц. Распространяясь в металле, ультразвук не проходит через трещины, раковины, образуя акустическую тень. Для излучения и приема ультразвука используют пьезоэлектрические излучатели и приемники.

2.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

К основным свойствам металлов и сплавов относятся физические, механические, химические, технологические.

К физическим свойствам металлов и сплавов относятся:

- плотность;
- теплопроводность;
- электропроводность;

- теплоемкость;
- тепловое расширение;
- температура плавления.

Знакомясь с физическими свойствами металлов, необходимо раскрыть сущность этого названия. Обратить внимание на то, что физические свойства металлов характеризуются вполне определенными числовыми значениями – «физическими постоянными». Например, алюминий: плотность – $2,7 \text{ г/см}^3$, температура плавления 660°C , коэффициент линейного расширения – $23,9 \cdot 10^{-6}$ и т.д.

Указать на значение плотности при выборе металла для определенных изделий и машин (для самолетов и ракет, подводных лодок, сельскохозяйственных машин).

Температура плавления металлов имеет значение при изготовлении изделий литьем, паянием, сваркой, при нанесении металлических покрытий, обращается внимание на тугоплавкие и легкоплавкие металлы.

В объяснении неодинаковой способности металлов проводить тепло подчеркнуть исключительно важное значение высокой теплопроводности для режущих инструментов и трущихся деталей машин. При сравнении теплопроводности отдельных металлов нужно пользоваться как установленными размерностями, так и условными единицами (например, серебро – 1, медь – 0,9, алюминий – 0,5, железо – 0,15).

Велико значение электропроводности металлов для передачи электроэнергии на большие расстояния, для распределения электроэнергии, работы электрического транспорта. Наименьшим сопротивлением электрическому току из промышленных металлов обладают медь и алюминий. Эти же металлы являются лучшими проводниками тепла.

Магнитные свойства позволяют использовать металлы для некоторых специальных работ, например, в металлургии для сортировки железных руд, стальных и чугунных заготовок, в динамомашинках и трансформаторах.

Плотность представляет собой величину, равную отношению массы металла к занимаемому им объему: $\rho = \frac{m}{V}$, кг/м^3 . Наибольшей плотностью обладает осмий ($\rho = 22600 \text{ кг/м}^3$), а наименьшей – литий ($\rho = 530 \text{ кг/м}^3$).

Теплопроводностью называют способность металла передавать тепловой поток, теплопроводность характеризуется коэффициентом

теплопроводности β , Вт/(м · град). Это свойство учитывается при изготовлении нагревательных приборов, двигателей, теплообменных аппаратов.

Электропроводность характеризует способность металла проводить электрический ток.

Теплоемкость – свойство металлов поглощать при нагревании определенное количество теплоты. Показатель теплоемкости – удельная теплоемкость, равная количеству теплоты (в джоулях), которое необходимо для нагревания 1 кг металла на 1 градус. Это свойство учитывается при расчете процессов нагрева и охлаждения, например, при конструировании паровых котлов.

Тепловое расширение – это приращение объема металла при нагреве, характеризуется коэффициентами линейного и объемного расширения. Тепловое расширение необходимо учитывать при прокладке рельсов, трубопроводов (делаются специальные компенсаторы).

Температурой плавления называют температуру, при которой металл переходит из твердого состояния в жидкое. Температура плавления ртути – 39 °С, вольфрама – 3410 °С.

Таблица 1

Некоторые физические свойства технически важных металлов

Металл	Химический символ	Температура плавления, °С	Плотность, г/см ³	Электропроводность, м/Ом · мм ²	Модуль упругости, н/мм ²
Алюминий	<i>Al</i>	660	2,7	37,6	70830
Бериллий	<i>Be</i>	1280	1,82	16,9	287200
Ванадий	<i>V</i>	1735	6,0	3,84	147000
Висмут	<i>Bi</i>	271	9,8	,94	34000
Вольфрам	<i>W</i>	3410	19,3	18,2	407400
Галлий	<i>Ga</i>	29,8	5,91	1,87	9800
Железо	<i>Fe</i>	1539	7,87	10,3	211400
Золото	<i>Au</i>	1063	19,32	45,7	77500
Иридий	<i>Ir</i>	2454	22,42	18,9	528000
Кадмий	<i>Cd</i>	321	8,65	14,6	62300
Кобальт	<i>Co</i>	1495	8,9	16,1	208000
Литий	<i>Li</i>	186	0,53	11,8	11700
Магний	<i>Mg</i>	650	1,74	22,2	44300
Марганец	<i>Mn</i>	1245	7,43	0,54	197800
Медь	<i>Cu</i>	1083	8,96	60,1	122600

2.2. Основные свойства металлов и сплавов

Окончание табл. 1

Металл	Химический символ	Температура плавления, °C	Плотность, г/см ³	Электропроводность, м/Ом · мм ²	Модуль упругости, н/мм ²
Молибден	<i>Mo</i>	2625	10,2	19,4	559000
Натрий	<i>Na</i>	97,7	0,97	23,8	8900
Никель	<i>Ni</i>	1455	8,9	14,6	193300
Олово	<i>Sn</i>	232	7,3	0,16	5400
Осмий	<i>Os</i>	2700	22,48	10,4	559000
Платина	<i>Pt</i>	1773	21,45	10,2	177000
Ренит	<i>Re</i>	3170	20,5	5,05	520000
Ртуть	<i>Hg</i>	–38,86	13,55	1,06	–
Свинец	<i>Pb</i>	327	11,34	4,82	15700
Серебро	<i>Ag</i>	96,5	10,49	63	80
Тантал	<i>Ta</i>	3030	16,65	8,1	185000
Титан	<i>Ti</i>	1730	4,54	1,25	118000
Хром	<i>Cr</i>	1890	7,19	6,7	186400
Цирконий	<i>Zr</i>	2350	6,5	2,44	68400
Цинк	<i>Zn</i>	419,5	7,14	16,9	92200

Механическими свойствами металлов и сплавов называют их способность сопротивляться деформациям (изменению формы и размеров) под действием внешних нагрузок. К таким свойствам относятся:

- прочность;
- пластичность;
- твердость;
- вязкость (ударная);
- усталость;
- ползучесть.

Механические свойства оцениваются численным значением напряжения. Напряжение – мера внутренних сил, возникающих в образце под влиянием внешних сил и нагрузок. Напряжения, действующие вдоль оси образца, называют нормальными и обозначают буквой σ (сигма): $\sigma = \frac{P}{S}$.

Нормальные напряжения в зависимости от направления действующих нагрузок бывают растягивающими и сжимающими, а напряжения, действующие перпендикулярно оси образца, называют касательными и обозначают τ (тау), т.е. происходит деформация среза.

Прочность – способность металлов воспринимать, не разрушаясь, различные виды нагрузок, вызывающих внутренние напряжения и деформации.

В зависимости от характера действия внешних сил различают прочность на:

- растяжение (разрыв);
- сжатие;
- кручение;
- ползучесть;
- усталость.

Пластичность – способность сплавов под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры. Она характеризуется относительным удлинением (δ) и сужением (ψ), определяемыми при растяжении стандартных образцов:

$\delta = [(l_1 - l_0)/l_0] \cdot 100\%$, где l_0 – длина образца до начала, l_1 – поле разрыва.

$\psi = [(S_0 - S_1)/S_0] \cdot 100\%$, где S_0 – площадь образца до испытания, S_1 – после испытания.

Твердость – способность металлов и сплавов сопротивляться внедрению в него более твердого тела. По величине твердости металлов или сплавов можно судить и о его пределе прочности. На практике твердость определяют на приборах Бриннеля, Роквелла и Виккерса (*HB, HR, HV*). Различают макро- и микротвердость. Измеренная макротвердость характеризует твердость всего металла или сплава, а микротвердость – отдельных зерен, структурных составляющих или очень мелких деталей (часов, приборов). Для этих целей используется прибор ПМТ–3.

Вязкость (ударная) – это свойство сплава, по которому оценивают его сопротивление хрупкому разрушению. Испытания производят с помощью маятникового копра на специальных образцах. Ударная вязкость определяется работой, затраченной на разрушение образца.

Усталость представляет собой свойство металлов изменять механические и физические характеристики под действием циклически изменяющихся нагружений во времени деформации и напряжений, а свойство противостоять усталости называется *выносливостью*.

Циклы нагружений при испытании могут достигать до 100 миллионов. Если сплав выдержал это число циклов без разрушения, то деталь будет работать надежно. Это важно для таких деталей, как валы, шатуны, кольца, шестерни.

Пластичность – способность сплавов к медленной и непрерывной пластической деформации при действии постоянной нагрузки или напряжения. Любой металлический сплав при эксплуатации под действием постоянной нагрузки может деформироваться с течением времени. Особое внимание уделяется этому свойству для деталей, работающих при высоких температурах.

Химические свойства металлов и сплавов характеризуются способностью металлов и сплавов взаимодействовать с внешней средой и окисляться. С повышением температуры все химические взаимодействия протекают более активно. К таким химическим взаимодействиям можно отнести коррозионную стойкость, жаропрочность, жаростойкость.

Технологические свойства характеризуются способностью металлов и сплавов подвергаться различным видам технологической обработки, таким как давление, резание, литье, сварка. Технологические свойства определяются с помощью специальных проб. Они определяют возможность производить те или иные технологические операции с данным металлом или применять его в тех или иных условиях. Качество металла по технологическим пробам определяется по внешнему виду после испытания (отсутствие трещин, расслоения и излома).

Наиболее распространенными являются пробы на выдавливание, перегиб, завивание, на осадку, пробы труб на сплющивание, загиб, бортование.

При испытании на свариваемость два бруска испытуемого металла сваривают и испытывают на растяжение, после чего сравнивают результаты, с теми, которые соответствуют цельному (несваренному) образцу из этого же металла. При хорошей свариваемости сопротивление разрыву сварного шва должно составлять не менее 80% от предела прочности цельного бруска.

Из всего многообразия свойств металлов студент должен получить лишь общие понятия о методах определения механических и технологических свойств, которые будут необходимы для успешного освоения последующих разделов курса.

Наиболее распространенными испытаниями являются статическое растяжение, динамические испытания и испытания на твердость.

Статическими называются такие испытания, при которых испытуемый металл подвергают воздействию постоянной силы или силы, возрастающей весьма медленно.

Динамическими называют такие испытания, при которых испытуемый металл подвергают воздействию удара или силы, возрастающей весьма быстро.

В практике производят испытания на усталость, ползучесть и износ, которые дают наиболее полное представление о свойствах металлов.

Для испытаний на растяжение применяют цилиндрические или плоские образцы, форма и размер которых установлены ГОСТом.

2.3. КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И ПОКАЗАТЕЛИ, ЕЕ ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ

Причиной потери работоспособности детали является качество материала, из которого она изготовлена. Этому может способствовать износ, коррозия, деформация, которые изменяют качество материала. Следовательно, отказ детали в работоспособности может зависеть от многих факторов. Высокое качество детали может быть достигнуто при возможно полном учете тех особенностей, которые встречаются в процессе работы. В этом случае вводится понятие конструкционной прочности.

Конструкционной прочностью материалов называют комплекс прочностных свойств, которые находятся в наибольшей корреляции со служебными свойствами данного изделия. Конструкционная прочность деталей зависит от качества материала, выбранным конструктором, конструктивных особенностей детали, технологии ее изготовления и условий эксплуатации. Основными факторами, влияющими на конструкционную прочность, являются:

- 1) конструкционные особенности детали (форма, размеры);
- 2) механизмы разных видов разрушения детали;
- 3) состояние материала в поверхностных слоях детали;
- 4) изменения, происходящие в поверхностных слоях детали, приводящие к отказам при работе.

В этом случае реальная прочность детали будет сильно отличаться от прочностных характеристик исходного материала. Можно пойти по пути увеличения массы детали, но это далеко не всегда обеспечивает нужную конструкционную прочность. В этом случае необходим учет дополнительных критериев, влияющих на конструкционную прочность материала. В зависимости от условий работы детали этими критериями должны являться надежность и долговечность.

Под надежностью понимают сопротивление материала хрупкому разрушению, зависящему от температурного порога хладноломкости, сопротивления распространения трещин, коэффициента интенсивности напряжения и др.

Под долговечностью понимают способность детали сохранять работоспособность в течение заданного времени. Критериями, определяющими долговечность материала, являются усталостная прочность, длительная прочность, износостойкость, сопротивление коррозии и другие в зависимости от характера условий работы детали.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Макроструктура и макроанализ металлических сплавов.

Тонкая структура.

Ультразвуковая дефектоскопия.

Теплоемкость металлов.

Усталость, ползучесть металлов.

Конструкционная прочность металлических сплавов.

Метод радиоактивных изотопов (меченых атомов).

Микроанализ и микроструктура.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Дайте определение понятия «свойства» материалов.
2. Охарактеризуйте основные методы определения химического состава сплавов.
3. Что определяют с помощью макроанализа?
4. Назовите существующие методы изучения структуры металлов и сплавов.
5. Назовите основные физические и механические свойства сплавов.
6. Как производится определение технологического свойства на свариваемость металлического сплава?
7. В чем сущность конструкционной прочности материалов?
8. Дайте понятие твердости и микротвердости сплавов.
9. Назовите температуру плавления ртути.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. В некоторых конструкциях выхлопные клапаны двигателя внутреннего сгорания делаются полыми и заполняются металлическим натрием, в результате их работоспособность значительно возраста-

ет. Благодаря какому свойству металлического натрия это стало возможным?

- а) теплопроводности;
 - б) жаропрочности;
 - в) износостойкости;
 - г) прочности.
2. Назовите самый легкий металл среди ниже перечисленных:
- а) титан;
 - б) литий;
 - в) алюминий;
 - г) магний.
3. Какие свойства являются определяющими при выборе конструкционного материала для изготовления слесарного молотка?
- а) твердость;
 - б) износостойкость;
 - в) жаропрочность;
 - г) пластичность.
4. Среди перечисленных свойств сплавов назовите физические:
- а) твердость;
 - б) ползучесть;
 - в) плотность;
 - г) теплопроводность;
 - д) усталость.
5. Кто из отечественных ученых впервые в России заложил основы металлографии и применил металлографический микроскоп для изучения структуры стали?
- а) М.В. Ломоносов;
 - б) Д.К. Чернов;
 - в) П.П. Аносов;
 - г) М.И. Павлов.
6. Среди перечисленных металлов назовите металл с наибольшей плотностью:
- а) железо;
 - б) медь;
 - в) вольфрам;
 - г) платина.
7. Из перечисленных ниже металлов назовите самый тугоплавкий:
- а) титан;
 - б) тантал;
 - в) вольфрам;

- г) молибден.
8. На практике твердость сплавов измеряют приборами Бриннеля, Роквелла и Виккерса. Какой из них является наиболее точным?
- а) Бриннеля;
 - б) Роквелла;
 - в) Виккерса;
 - г) Бриннеля и Виккерса.
9. Конструкционная прочность – это:
- а) комплекс прочностных свойств;
 - б) ударная вязкость
 - в) пластичность;
 - г) твердость.
10. Механические свойства сплавов оцениваются численным значением напряжения. При каких приложенных напряжениях происходит деформация среза?
- а) растягивающих;
 - б) сжимающих;
 - в) действующих перпендикулярно оси образца.

ГЛАВА 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СПЛАВОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сначала целесообразно ознакомиться с такими понятиями, как система, компонент, фаза, структура, металлический сплав. Уяснить все технологии получения металлических сплавов. Важно понять, что в зависимости от взаимодействия компонентов, входящих в состав сплава при его кристаллизации, образуются структуры, представляющие собой механические смеси кристаллов этих компонентов, кристаллы твердых растворов и химических соединений.

Необходимо иметь представление о методах исследования двойных металлических сплавов, построении диаграмм состояния сплавов и их четырех типов. Уяснить, что диаграмма состояния дает четкое представление о таких критериях металлического сплава, как состав, температура плавления, кристаллизации.

Познакомьтесь с установленной связью между типом диаграмм состояния и свойствами сплавов (по Н.С. Курнакову).

3.1. ПОНЯТИЕ СПЛАВОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Чистые металлы в природе практически не встречаются, а при получении их из руд к ним всегда примешиваются различные сопутствующие элементы. Получение чистых металлов процесс технологически сложный, требующий больших трудовых и энергетических затрат. К тому же и свойства металлов, особенно прочностные, всегда будут ниже, чем у сплавов.

Чистые металлы в качестве конструкционных материалов применяются весьма редко, различные детали и конструкции изготавливаются из сплавов. Однако надо иметь в виду, что и чистые металлы имеют применение (электропровода, паяльники, теплообменники, атомная и электронная промышленности).

Под сплавом понимают вещество, полученное сплавлением двух и более химических элементов. Сплав, приготовленный преимущественно из металлических элементов и обладающий металлическими свойствами, называется металлическим сплавом.

Сплавы из двух элементов называются двойными или бинарными, из трех и более – многокомпонентными. Примерами бинарных сплавов являются: алюминий – кремний, золото – серебро, медь – цинк, свинец – сурьма. Многокомпонентные сплавы – это чугун, сталь, дюралюминий, состоящие из пяти, шести и более элементов. В каждом сплаве различают компоненты и фазы. Компоненты в данном случае – это химические элементы сплава. Так, для стали компонентами будут железо, углерод, кремний, марганец, сера и фосфор.

Фазы – это однородные части сплава, отделенные от других частей поверхностью раздела. Совокупность находящихся в состоянии равновесия фаз определяет *систему* сплавов. Фаза может быть жидкой и твердой, но обязательно однородной по химическому составу и свойствам. В сплавах могут образовываться следующие фазы: жидкие растворы, твердые растворы и химические соединения.

Твердыми растворами называют фазы, в которых один из компонентов сплава сохраняет свою кристаллическую решетку, а другой располагается в ней. Например, алюминий может растворяться в меди до 5,5 %, а цинк в меди до 39 % без изменения кристаллической решетки меди. Такая растворимость называется ограниченной в отличие от неограниченной. Примером неограниченной растворимости являются твердые растворы золота и серебра, никеля и меди. Если компоненты сплава образуют химическое соединение, то кристаллическая решетка соединения и свойства будут значительно отличаться от решеток и свойств исходных компонентов.

Например, двойной сплав медь – алюминий, образующий химическое соединение типа $CuAl_2$, будет иметь твердость, равную $HB = 400 \text{ кг/мм}^2$, в то время как твердость алюминия $HB = 20 \text{ кг/мм}^2$, а меди $HB = 35 \text{ кг/мм}^2$.

Студенты должны знать о большом разнообразии применяемых в промышленности металлических сплавов с различными физико-механическими свойствами. Большинство сплавов получают совместным плавлением их компонентов, однако их можно получить также с помощью порошковой металлургии, электролиза, конденсации из парообразного состояния.

3.2. АТОМНОЕ СТРОЕНИЕ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

Естественно, что строение металлических сплавов будет отличаться от строения чистых металлов. Это отличие будет зависеть от того, в какие взаимодействия вступают компоненты двойного сплава. В зависимости от природы компонентов сплава их строение может образовывать:

- а) механическую смесь компонентов;
- б) твердый раствор компонентов (замещение или внедрение);
- в) химическое соединение.

Механическая смесь двух компонентов A и B образуется тогда, когда эти компоненты не растворяются в твердом состоянии и не образуют химическое соединение.

Строение такого сплава будет состоять из кристаллов A и B , отчетливо выявленных из микроструктуры (рис. 11).

Твердые растворы представляют собой однофазные сплавы переменного химического состава, в которых сохраняется кристаллическая решетка одного из компонентов (растворителя), а атомы растворенного компонента равномерно располагаются в ней, изменяя ее первоначальные параметры (рис. 12).

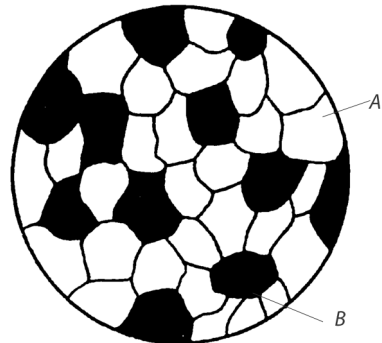


Рис. 11. Схема микроструктуры сплава (механическая смесь)

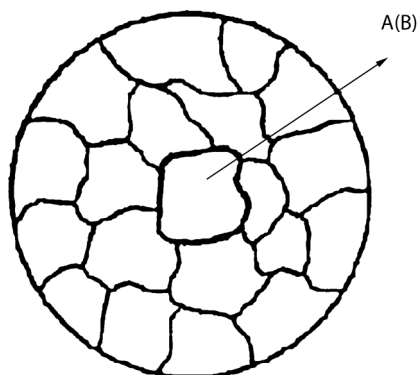


Рис. 12. Схема микроструктуры твердого сплава

Атомы растворяющегося металла или замещают в кристаллической решетке часть атомов растворителя (твердый раствор замещения), или размещаются между атомами металла растворителя (твердый раствор внедрения), при этом размеры решетки возрастают (рис. 13). По данным металлографического анализа такие сплавы, как и чистый металл, имеет однородные зерна.

Способность к образованию твердых растворов присуща не только чистым металлам, но и химическим соединениям типа A_nB_m . В этих случаях сохраня-

ется решетка A_nB_m , но избыточное количество атомов, например, атомов B , растворяется, заменяя в решетке какое-то количество атомов A . Это может привести к тому, что отдельные узлы в решетке окажутся не занятыми атомами (будут пустыми).

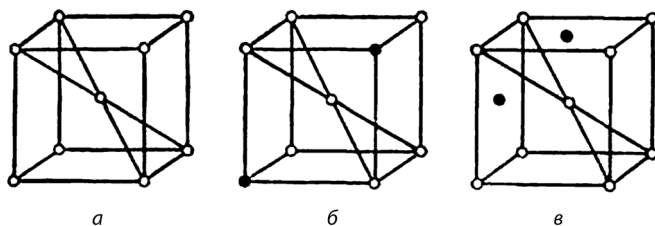


Рис. 13. Кристаллические решетки: а – чистый металл; б – твердый раствор замещения; в – твердый раствор внедрения

Твердые растворы на базе химических соединений, образование которых сопровождается появлением пустых мест в узлах решетки, называются *растворами вычитания*.

Если компоненты сплава A и B образуют химическое соединение типа A_nB_m , то кристаллическая решетка соединения будет значитель-

3.3. Диаграммы состояния двойных сплавов и их характеристика

но отличаться от решеток его компонентов. Свойства соединения также резко отличаются от свойств исходных компонентов (рис. 14).

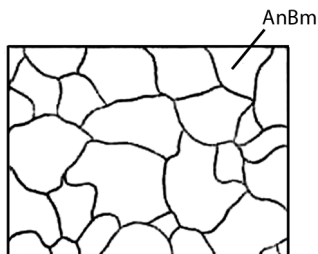


Рис. 14. Схема микроструктуры химического соединения

3.3. ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Результаты исследования плавления и кристаллизации двойных сплавов принято излагать графически в виде диаграмм состояния сплавов.

Диаграммы строят в координатах «температура – концентрация» компонентов в процентах. Для построения диаграмм используют термический анализ сплавов при различных концентрациях компонентов.

Таким образом, диаграмма состояния двойных сплавов представляет собой графическое изображение состояния сплавов в зависимости от температуры (а) и концентрации компонентов (б). В качестве примера рассмотрим диаграмму состояния «медь – никель» (рис. 15).

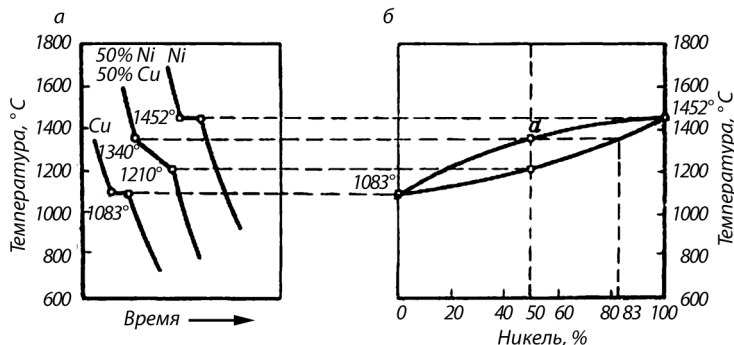


Рис. 15. Диаграмма состояния «медь – никель»

Все сплавы при любой концентрации и при любой температуре, находящиеся выше линии ликвидус*, будут находиться в жидком состоянии, ниже линии солидус** – в твердом, между линиями ликвидус и солидус – в жидком и твердом состояниях.

Металловедами изучены практически все известные двойные металлические сплавы и представлены в виде диаграмм состояния четырех типов.

I тип – диаграмма состояния для сплавов, образующих металлические смеси из чистых металлов.

На этом типе диаграмм представлены двойные сплавы, оба компонента которых в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы и образуют структурную механическую смесь компонентов.

Примером такой диаграммы состояния I типа может быть сплав «свинец – сурьма».

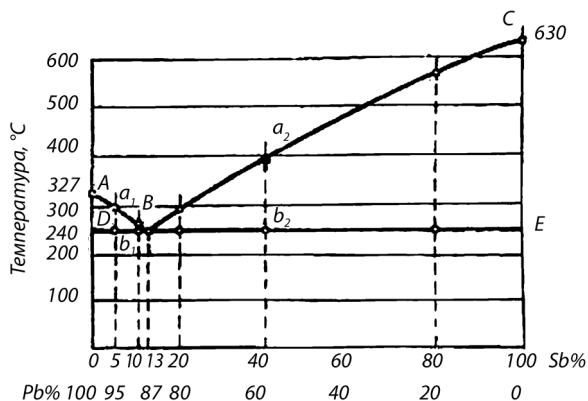


Рис. 16. Диаграмма состояния сплава «свинец – сурьма»

Диаграммы состояния II типа характеризуют системы, компоненты которых полностью растворяются как в жидком, так и в твердом состоянии. Примером служит рассмотренная выше система сплавов «медь – никель».

* Ликвидус – температура начала равновесной кристаллизации растворов или сплавов.

** Салидус – температура конца кристаллизации или начала плавления растворов или сплавов.

3.3. Диаграммы состояния двойных сплавов и их характеристика

К диаграммам состояния двойных сплавов III типа относятся сплавы, оба компонента которых неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограничено в твердом состоянии и не образуют химических соединений. В качестве примера можно привести сплав «медь – серебро» (рис. 17).

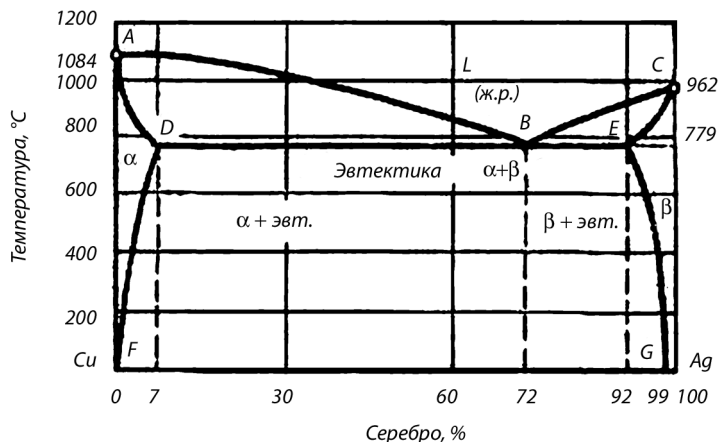


Рис. 17. Диаграмма состояния сплава «медь – серебро»

Диаграмма состояния двойных сплавов IV типа характеризует сплавы, обладающие полной растворимостью в жидком состоянии, нерастворимые в твердом состоянии и образующие устойчивые химические соединения компонентов. Такими сплавами могут быть «магний – кальций», «магний – олово», «железо – углерод» (Fe_2C).

Элементы образуют химическое соединение всегда в строго определенном массовом соотношении. Поэтому все химические соединения можно выразить формулами типа A_nB_m , где A и B – элементы, n и m – массовое количество элементов, которое всегда выражается простыми цифрами. Обычно химические соединения образуют сложные кристаллические решетки и обладают высокими показателями твердости, прочности, но в то же время большой хрупкостью. Когда необходима повышенная твердость износостойкости детали, в сплав вводят элементы, которые могут образовывать химические соединения.

Представим этот тип диаграмм для сплавов «магний – кальций» ($Mg - Ca$) (рис. 18).

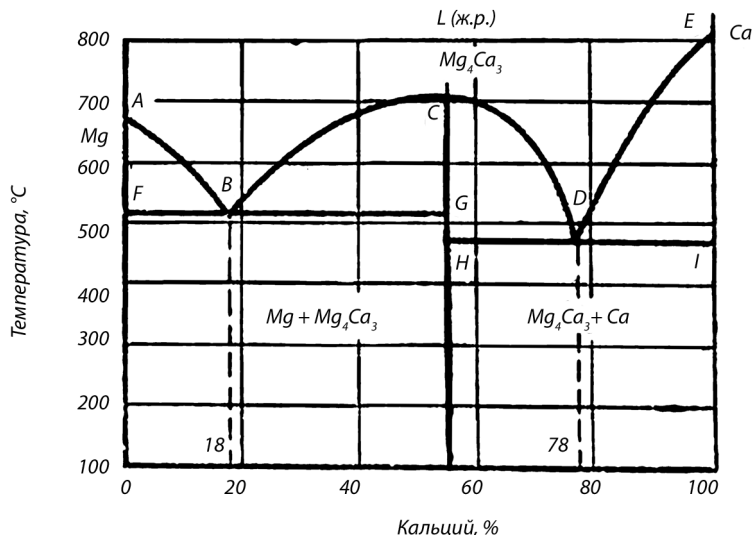


Рис. 18. Диаграмма состояний сплава «магний – кальций»

Химическое соединение Mg_4Ca_3 можно рассматривать как новый, третий компонент, который делит диаграмму состояния $Mg - Ca$ на две диаграммы типа I: $Mg - Mg_4Ca_3$ и $Mg_4Ca_3 - Ca$; каждая из них подобна системе «свинец – сурьма».

Для первой линия ABC – ликвидус, линия FBG – солидус. По линии AB начинается выпадение кристаллов Mg ; по линии BC – выпадение кристаллов соединения Mg_4Ca_3 . В точке B одновременно кристаллизуются Mg и Mg_4Ca_3 , образуя эвтектику. Доэвтектические сплавы этой системы представляют собой смесь кристаллов магния и эвтектики, а заэвтектические – смесь кристаллов соединения Mg_4Ca_3 и эвтектики.

По аналогии можно сделать анализ и второй диаграммы состояния $Mg_4Ca_3 - Ca$.

3.4. ВЗАИМНАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ ДИАГРАММАМИ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВАМИ СПЛАВОВ

Изучив диаграммы состояния двойных сплавов, отметим, что с их помощью можно определить температуру плавления и кристаллизации конкретного сплава, его структуру, не проводя никаких испы-

3.4. Взаимная связь между диаграммами состояния и свойствами сплавов

таний. В то же время структура сплава, химический состав определяют его механические и технологические свойства.

Метод изучения измерения свойств в зависимости от изменения состава и построения диаграммы «состав – свойство» был положен Н.С. Курнаковым в основу разработанного им физико-химического анализа сплавов. В настоящее время этот анализ является одним из основных методов получения новых сплавов с заранее заданными свойствами (рис. 19).

При образовании механической смеси на диаграмме *а* свойства сплава изменяются по линейному закону. Значения свойств сплава находятся в интервале между свойствами чистых компонентов. При образовании неограниченных твердых растворов свойства сплавов изменяются по криволинейной зависимости и достигают максимума примерно при равном количестве компонента *А* и *В* (диаграмма *б*).

При образовании ограниченных твердых растворов (диаграмма *в*) свойства в интервале концентраций, отвечающих однофазным твердым растворам, изменяются по криволинейному, а в двухфазной области диаграммы по прямолинейному закону.

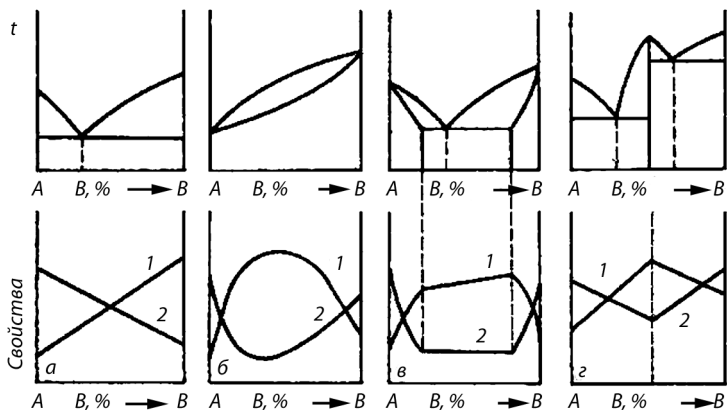


Рис. 19. Зависимость свойств сплавов от типа диаграмм состояния двойных металлов

Концентрация отвечает максимуму или минимуму свойств сплавов (диаграмма *з*). На диаграммах состав – свойства сплавов линии под номером 1 характеризуют прочность, твердость, а под номером 2 – пластичность, электропроводность.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Бинарные сплавы.

Компоненты и фазы сплавов.

Твердые растворы и химические соединения в сплавах.

Механическая смесь компонентов сплава.

Твердые растворы вычитания.

Термический анализ сплавов.

Диаграмма состояния двойных сплавов.

Линии на диаграммах сплавов ликвидус и солидус.

Тип диаграмм состояния двойных сплавов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Что такое металлический сплав и как его получают?
2. Понятие диаграммы состояния двойных сплавов и ее краткая характеристика.
3. Что такое твердый раствор сплавов и чем он отличается от механической смеси, химического соединения и жидкого металла?
4. Что характеризуют на диаграммах состояния линии ликвидус и солидус?
5. Какие характеристики металлических сплавов можно получить на графических диаграммах?
6. В чем сущность термического метода построения диаграмм состояния двойных сплавов?
7. Почему в промышленности применяются преимущественно металлические сплавы, а не чистые металлы?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Механическое свойство (прочность) технически чистого металла по сравнению с металлическим сплавом на его основе будет:
 - а) выше;
 - б) ниже;
 - в) сравнительно одинаковое.
2. Технически чистые металлы преимущественно применяются в следующих отраслях промышленности:
 - а) сельхозмашиностроении;
 - б) электротехнике;
 - в) электронике;
 - г) станкостроении.

3. Для сплава «углеродистая сталь» обязательными компонентами будут вольфрам, ванадий, углерод, марганец, железо.
- а) вольфрам;
 - б) вольфрам и ванадий;
 - в) железо и углерод;
 - г) марганец.
4. Первый тип диаграмм состояния двойных сплавов характеризует взаимодействие двух компонентов, которые образуют структуру:
- а) химическое соединение;
 - б) механическую смесь компонентов;
 - в) твердый раствор компонентов;
 - г) химическое соединение и твердый раствор.
5. Строение механической смеси будет состоять:
- а) из компонента A ;
 - б) из компонента B ;
 - в) из компонентов A и B ;
 - г) из химического соединения компонентов A и B типа A_nB_m .
6. Какой тип кристаллической решетки будет характерен для твердого раствора на базе химических соединений A_nB_m :
- а) твердый раствор замещения;
 - б) твердый раствор внедрения;
 - в) чистого металла;
 - г) твердый раствор вычитания.
7. Сплавы при любой концентрации компонентов и при любой температуре, находящиеся выше линии солидус, будут находиться:
- а) в газообразном состоянии;
 - б) в жидком состоянии;
 - в) в твердом состоянии;
 - г) в жидком и твердом состояниях.
8. Сплавы при любых концентрациях компонентов и при любых температурах, находящихся выше линии ликвидус, будут находиться в состоянии:
- а) жидком;
 - б) твердом;
 - в) жидком и твердом;
 - г) газообразном.
9. Сплавы при любых концентрациях компонентов и при любых температурах будут находиться в состоянии:
- а) жидком;
 - б) жидком и твердом;

- в) твердом;
- г) газообразном.

10. Диаграммы состояния двойных сплавов II типа характеризуют системы, компоненты которых:

- а) полностью растворяются как в жидком, так и в твердом состояниях;
- б) в жидком состоянии неограниченно растворимы, а в твердом состоянии нерастворимы;
- в) полностью растворяются в жидком состоянии, нерастворимы в твердом, но образуют новые химические соединения;
- г) неограниченно растворимы в жидком состоянии, ограничено – в твердом.

ГЛАВА 4. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ, ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Железоуглеродистые сплавы являются важнейшими конструкционными материалами, используемыми в промышленности. Изучение темы надо начать с повторения таких вопросов, как свойства и строение чистого железа при различных температурах (его полиморфизм), свойства чистого углерода, его взаимодействие с железом, а также свойства графита, условия его образования, его формы и влияние на механические и технологические характеристики сплава.

Диаграмму состояния сплавов системы «железо – цементит» нужно научиться анализировать по основным точкам, линиям, знать условия образования и существования равновесных фаз сплавов железа с различным содержанием углерода и их свойства. Для лучшего усвоения диаграммы целесообразно рассматривать левую часть диаграммы с содержанием углерода до 2% (область сталей) и правую часть (область чугунов). Анализируйте сначала первичную кристаллизацию сплавов, а затем переходите к изучению вторичной кристаллизации. Необходимо изучить состав, строение и условия образования всех фаз и структурных составляющих.

4.1. Железоуглеродистые сплавы и основные характеристики железа...

По аналогии с диаграммой «железо – цементит» изучите стабильную диаграмму «железо – графит» и условия образования свободного графита в железоуглеродистых сплавах. Надо очень четко уяснить теоретическое и практическое значение этой диаграммы при установлении режимов термической обработки железоуглеродистых сплавов и нагреву сталей перед горячей их обработкой давлением.

4.1. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛЕЗА И УГЛЕРОДА

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны – важнейшие металлические сплавы, применяемые во многих отраслях промышленности. Исходя из этого, изучению сплавов на железной основе в курсе «Материаловедение» отводится ведущее место. В этих сплавах основными компонентами являются железо, углерод и соединения железа с углеродом.

Железо – серебристый металл, плотность $7,86 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1539°C . Технически чистое железо содержит 99,85 % железа и 0,15–0,2% примесей. Такое железо называют армко-железо и производят для электротехнических целей. Абсолютно чистого железа не существует. Прочность технического железа составляет 25 кг/мм^2 , пластичность порядка 50 %.

В твердом состоянии железо находится в двух модификациях: α -железо существует при температурах от 1539 до 1392°C , от 911 до 20°C и γ -железо в интервале температур 911 – 1392°C .

При температуре 768°C происходит магнитное превращение железа: ниже этой температуры железо магнитно, выше – немагнитно.

Углерод – неметаллический элемент с плотностью порядка $2,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 3500°C . Железо с углеродом образует химическое соединение Fe_3C , называемое цементитом или карбидом железа и содержащее 6,67 % углерода.

Цементит – очень твердый и хрупкий (за счет содержания 6,67% углерода), $\text{HB} > 800 \text{ кг/мм}^2$. Температура плавления составляет 1300 – 1600°C в зависимости от присутствия примесей тугоплавких металлов, таких как хром, молибден.

В зависимости от содержания углерода сплавы делятся на две большие группы: стали, содержащие до 2,14% углерода, и чугуны, содержащие 2,14–6,67% углерода.

4.2. ФАЗЫ И СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

При взаимодействии железа с углеродом образуются такие фазы, как химическое соединение, твердые растворы, механические смеси, представляющие собой структурные составляющие. Химическим соединением выступает цементит. К твердым растворам относятся феррит, аустенит. *Феррит* – твердый раствор углерода в α -железе с максимальным растворением углерода 0,02%. Поэтому феррит представляет собой практически техническое железо с высокой пластичностью и низкой прочностью.

Аустенит – твердый раствор углерода в γ -железе с максимальным растворением углерода 2,14% при 1147 °С и 0,8% при 723 °С. При температуре ниже 723 °С аустенит распадается на феррит и цементит. Аустенит пластичен, но твердость его выше, чем у феррита.

К механическим смесям относятся перлит и ледебурит.

Перлит – это эвтектоид*, состоящий из двух фаз феррита и цементита.

Ледебурит – это эвтектика*, состоящая из аустенита и цементита в диапазоне температур 1147–723 °С и из смеси перлита и цементита при температуре ниже 723° С.

Графит – свободно выделившийся углерод, в сплавах с содержанием углерода свыше 2,14%. Графит имеет слоистое строение, обладает низкой прочностью, высокой электропроводностью и теплопроводностью, а также способностью гасить вибрации. В чугунах присутствует в виде включений различной формы. Стали и чугуны кроме железа и углерода имеют так называемые постоянные примеси: марганец, кремний, сера, фосфор, а также газы – кислород, азот, водород и др.

Углерод повышает прочность и твердость, кремний и марганец – полезные примеси, фосфор и сера – вредные. Фосфор вызывает хладноломкость стали, а сера красноломкость (горячеломкость). Кислород, азот, водород отрицательно влияют на свойства сталей. Фосфор уменьшает пластичность стали, увеличивает ее склонность к образованию трещин при низких температурах. Сера снижает ударную вязкость, пластичность, свариваемость и коррозионную стойкость.

* См. далее.

4.3. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО – ЦЕМЕНТИТ»

Основы диаграммы «железо – углерод» заложил Д.К. Чернов, открывший критические точки фазовых превращений, их зависимость от содержания углерода и предугадав взаимосвязь структурных изменений со свойствами стали.

Знание диаграммы «железо – углерод» необходимо для понимания сущности всех превращений, происходящих в железоуглеродистых сплавах при нагреве и охлаждении.

Превращение из жидкого состояния в твердое (первичная кристаллизация) происходит по линии *АСД* (рис. 20). Линия *АСД* – ликвидус, а линия *АЕCF* – солидус. Форма этих линий показывает, что перед нами сложная диаграмма, представляющая сочетание диаграмм типа II (от точки *А* до точки *Е*) и диаграмма I типа (от точки *Е* до точки *F*). По линии *АС* из жидкого расплава начинают выпадать кристаллы твердого раствора углерода в γ -железе, называемого аустенитом (по имени У. Робертса-Аустена – английского металлурга). По линии *СД* из жидкого расплава выпадают кристаллы цементита. В точке *С* при содержании 4,3% углерода и температуре 1130 °С происходит одновременно кристаллизация аустенита и цементита, и образуется их механическая смесь – эвтектика, называемая в этой системе ледебуритом (по имени А. Ледебура – немецкого металлурга). Ледебурит присутствует во всех сплавах, содержащих от 2,14 до 6,67% углерода. Эти сплавы относятся к группе чугунов. Точка *Е* соответствует предельному насыщению железа углеродом (2,14%). Сплавы, лежащие левее этой точки, относятся к группе сталей.

Превращения в твердом состоянии (вторичная кристаллизация) происходят при температурах выше 723 °С. Линии *GSE*, *PSK* и *GPQ* показывают, что в сплавах системы в твердом состоянии происходят изменения структуры. Эти превращения происходят вследствие перехода железа из одной модификации в другую, а также в связи с изменением растворимости углерода в железе. При охлаждении сплавов аустенит распадается с выделением по линии *GS* феррита – твердого раствора углерода в α -железе, а по линии *SE* – вторичного цементита. В точке *S* при содержании 0,8% углерода и при температуре 723 °С весь аустенит распадается и одновременно кристаллизуется механическая смесь феррита и цементита – эвтектоид (т.е. подобный эвтектике), который в этой системе называется перлитом. Сталь, содержащая 0,8 % углерода, называется эвтектоидной, менее 0,8% – доэвтектоидной, от 0,8 до 2,14 % С – заэвтектоидной.

Чугуны с содержанием углерода до 4,3% называются доэвтектическими, ровно 4,3% – эвтектическими, свыше 4,3% – заэвтектическими. Для чугунов образование цементита – свидетельство метастабильного равновесия, т.е. неустойчивое, при очень медленном охлаждении должна происходить графитизация (распад цементита). На диаграмме «железо – углерод» пунктиром нанесены линии выделения графита, а сплошной – цементита. Диаграмма состояния «железо – углерод» является стабильной (равновесной). По ней изучают серые чугуны, структурным признаком которых является наличие графита, выделяющегося на ферритной основе.

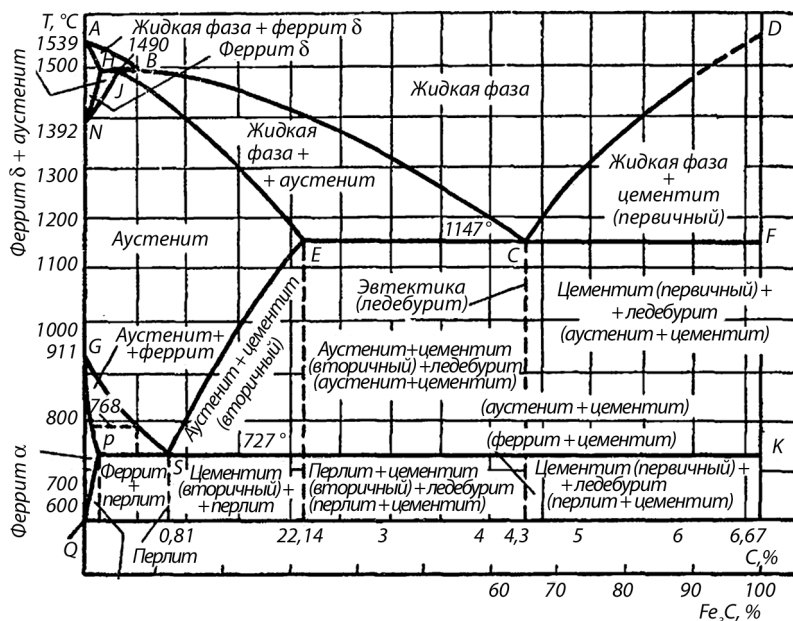


Рис. 20. Диаграмма состояния «железо – цементит» (Fe₃C)

4.4. ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО – ГРАФИТ»

Диаграмма состояния «железо – графит» отображает стабильное равновесие фаз. В стабильной системе при температурах, соот-

ветствующих линии $S'D'$, кристаллизуется графит, называемый первичным. На участке AC' линии ликвидус при кристаллизации выделяется аустенит. При температуре, соответствующей линии $E'C'F'$, образуется смесь, состоящая из графита и аустенита, называемая графитной эвтектикой. Линия $S'E'$, характеризующая растворимость углерода в аустените, показывает, что с понижением температуры растворимость углерода снижается и из аустенита начинает выделяться свободный углерод – вторичный графит. При температуре, соответствующей линии $P'S'K'$, аустенит, содержащий 0,7% углерода (точка S'), распадается на феррит и графит, образуя графитный эвтектоид.

Если при эвтектической кристаллизации выделяется только графит, то чугун называется серым по цвету излома, если выделяется графит и цементит, то чугун называется половинчатым, а если только цементит – белым, по цвету излома.

Процесс графитизации состоит из трех стадий: первичной – когда графит выделяется из жидкой фазы и в результате распада первичного и эвтектического цементита на аустенит и графит; промежуточной – когда графит (вторичный) выделяется из аустенита; вторичной – когда графит выделяется при распаде цементита на графит и феррит.

Основная масса графита в серых чугунах образуется в период первой стадии графитации. В зависимости от концентрации углерода в сплаве чугуны подразделяются на доэвтектические со структурой перлит + цементит, эвтектические состоят из ледебурита, заэвтектические имеют структуру ледебурит + цементит.

Диаграмма состояния «железо – графит» позволяет изучить наличие тех или иных фаз и структурных составляющих в сплаве в зависимости от концентрации компонентов и температуры сплава (рис. 21). Эта диаграмма имеет не только теоретическое, но и практическое значение. По ней можно определить температурные режимы при различных видах термической обработки, температуры начала и конца заливки металла в литейные формы, получать информацию о свойствах сплавов, так как все они определяются структурой (внутренним строением) сплава.

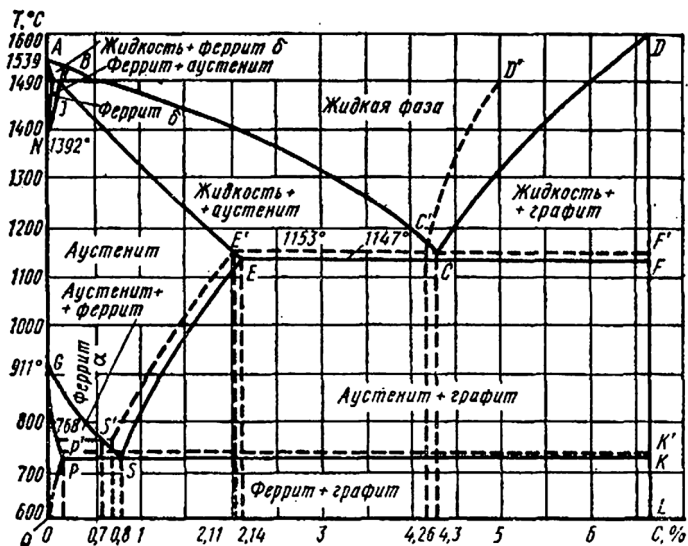


Рис. 21. Диаграмма состояния «железо – графит» (Fe-C)

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Технически чистое железо (армко-железо).

Цементит (карбид железа).

Феррит, аустенит, перлит, ледебурит, графит.

Диаграмма состояния «железо – цементит».

Диаграмма состояния «железо – графит».

Первичный, вторичный графит.

Половинчатый чугуи.

Процесс графитизации.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Назовите структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.
2. Покажите на диаграмме «железо – цементит» линии ликвидуса и солидуса.
3. Дайте определение структур аустенита и ледебурита.

4. Укажите содержание углерода в цементите, перлите и ледебурите.
5. Какое максимальное количество углерода может раствориться в аустените и при какой температуре?
6. В чем различие между техническим железом, сталью и чугуном по составу?
7. В чем различие между диаграммами «железо – цементит» и «железо – графит»?
8. Укажите на диаграмме «железо – графит» линии, по которым кристаллизуется первичный и вторичный графит.
9. Объясните значение горизонтальной линии PSK на диаграмме «железо – цементит».
10. Какая структура стали с содержанием углерода 0,8% будет при комнатной температуре?
11. Какая структура чугуна с содержанием углерода 5% будет при температуре 800 °С на диаграмме Fe–C?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Среди структур железоуглеродистых сплавов наибольшей твердостью обладают:
 - а) ледебурит;
 - б) цементит;
 - в) перлит;
 - г) феррит.
2. Среди структур железоуглеродистых сплавов наибольшей пластичностью обладают:
 - а) ледебурит;
 - б) цементит;
 - в) перлит;
 - г) феррит.
3. Укажите на диаграмме «железо – графит» температуру, при которой железо становится немагнитно:
 - а) 911 °С;
 - б) 1392 °С;
 - в) 768 °С;
 - г) 723 °С.
4. В структуре сплавов метастабильной диаграммы укажите химические соединения:
 - а) феррит;

- б) цементит;
- в) ледебурит;
- г) перлит.

5. В структуре сплавов диаграммы «железо – цементит» укажите механические смеси:

- а) феррит;
- б) цементит;
- в) ледебурит;
- г) перлит.

6. В структуре сплавов диаграммы «железо – цементит» укажите твердые растворы:

- а) феррит;
- б) цементит;
- в) ледебурит;
- г) аустенит.

7. На диаграмме «железо – цементит» укажите структуру стали с содержанием углерода 0,4% при комнатной температуре.

- а) феррит;
- б) перлит;
- в) феррит + перлит;
- г) цементит + феррит.

8. Эвтектоидная сталь состоит из 100% перлита. Сколько перлита будет в структуре стали с содержанием 0, 2 % углерода?

- а) 0%;
- б) 25%;
- в) 50%;
- г) 75%.

9. По диаграмме «железо – цементит» укажите структуру эвтектического чугуна:

- а) перлит + ледебурит;
- б) ледебурит + цементит первичный;
- в) ледебурит;
- г) перлит + ледебурит + цементит вторичный.

10. На диаграмме «железо – цементит» метастабильная фаза цементит при определенных условиях может распадаться на следующие структуры:

- а) феррит и графит;
- б) аустенит и графит;
- в) феррит, графит и перлит;
- г) перлит и графит.

ГЛАВА 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Термическая обработка является одним из главных способов влияния на строение и свойства сплавов. Следует начать изучать данную главу с повторения материала по теории сплавов, диаграмм состояния сплавов системы «железо – цементит» и «железо – графит». Особое внимание при изучении теоретических основ термообработки обратить на превращение перлита в аустенит при нагреве сталей и при охлаждении аустенита. Желательно при самостоятельной подготовке рассмотреть диаграмму изотермического превращения аустенита для эвтектоидной стали.

Обратите особое внимание на один из важнейших видов термообработки – закалку. Основными вопросами здесь являются: выбор температуры закалки, время выдержки, скорости нагрева и охлаждения, прокаливаемость и закаливаемость. Уделите внимание практике поверхностной закалки ТВЧ, обработке холодом. Познакомьтесь и с другими видами термической обработки, такими как отжиг, нормализация, отпуск, старение, и целями их применения.

Необходимо иметь понятие об оборудовании для термической обработки и контрольно-измерительных приборах, а также о дефектах и мерах их предупреждения.

Будущий учитель технологии должен уметь рационально использовать свои теоретические знания в практической деятельности в школе (закалка и отпуск слесарных инструментов – зубила, молотка, керна, чертилки и других деталей).

5.1. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения металлов и сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения. Термическая обработка используется в качестве промежуточной операции для улучшения обрабатываемости давлением, резанием и как окончательная операция технологического процесса, обеспечивающая заданный уровень физико-механических свойств конкретной детали.

Трудно переоценить значение термической обработки в современной машинной технике, основанной на использовании различных металлических сплавов.

Основные факторы воздействия при термической обработке – это температура и время, поэтому режим любой термической обработки можно представить графиком в координатах «температура (t) – время (τ)».

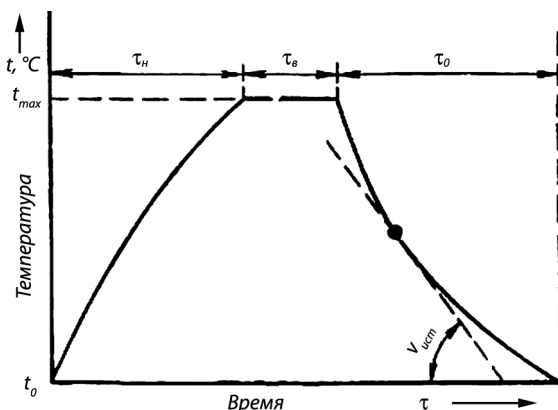


Рис. 22. График режима термической обработки

Режим термообработки характеризует следующие основные параметры: температура нагрева t_{\max} , время выдержки сплава при температуре нагрева $\tau_{\text{в}}$, скорость нагрева $v_{\text{нагр}}$ и скорость охлаждения $v_{\text{охл}}$. Если нагрев производится с постоянной скоростью, то это в координатах «температура – время» характеризуется прямой линией с постоянным углом наклона. При неравномерной скорости нагрева (или охлаждения) на практике оперируют значением средней скорости охлаждения (нагрева), где $v_{\text{нагр}} = t_{\max} / \tau_{\text{нагр}}$ и $v_{\text{охл. ср}} = t_{\max} / \tau_0$.

Основной задачей термической обработки является тепловое воздействие на металл в целях изменения строения, а следовательно, и свойств. Следует обратить внимание на отличие термообработки от других способов воздействия на металл, состоящее в том, что при термической обработке форма и размеры изделий, а также химический состав стали остаются неизменными. С помощью термообработки повышаются надежность и срок службы деталей машин и инструментов, расширяется область применения различных сталей (повыша-

5.2. Основные структурные превращения при нагревании и охлаждении стали

ются такие необходимые свойства, как твердость, прочность, износостойкость, упругость).

Термическая обработка применялась с давних времен, но сущность изменений, происходящих при нагреве и охлаждении сплавов, и, следовательно, умение управлять ими и получать нужные результаты, были изучены сравнительно недавно. Д.К. Чернов обнаружил ряд изменений в стали при ее охлаждении и нагревании, которые не были замечены металлургами до него. Он открыл два значения температуры, которые оказывали решающее значение на строение и свойства стали. Д.К. Чернов назвал эти температуры критическими точками, которые обозначаются A_1 , A_3 . Одна критическая точка соответствовала темно-вишневому калению, т. е. 723 °С (точка A_1), а вторая – красному калению (температура понижается, начиная с 911 °С, точка A_3). Критические точки зависят от содержания углерода. Последующие исследования ученых подтвердили существование критических точек и превращений в стали. Изменяя температуру и продолжительность нагрева, температуру и продолжительность выдержки и скорость охлаждения, можно сообщить стали одного и того же химического состава самые разнообразные свойства. Совокупность этих условий называется режимом термической обработки. Основой для разработки таких режимов служит классическая диаграмма «железо – углерод».

5.2. ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ И ОХЛАЖДЕНИИ СТАЛИ

Для сталей характерны следующие структуры: для доэвтектоидных – феррит + перлит, для эвтектоидных – перлит и для заэвтектоидных – перлит + цементит. При нагреве выше 723 °С (линия PSK на диаграмме «железо – углерод») доэвтектоидные стали имеют структуру аустенит + феррит, эвтектоидные имеют аустенитную структуру, заэвтектоидные – аустенит + цементит.

При нагреве доэвтектоидных сталей выше температур, отложенных на линии GS , и заэвтектоидных выше температур, отложенных на линии SE , их структура становится чисто аустенитной. Следовательно, все структурные составляющие – феррит, перлит и цементит – в процессе нагрева превращаются в аустенит.

При термической обработке стали, которая сопровождается нагревом и охлаждением, различают четыре основных превращения:

- 1) при нагреве перлита в аустенит;
- 2) при охлаждении аустенита в перлит;
- 3) при охлаждении аустенита в мартенсит;
- 4) мартенсита в перлитные структуры (сорбит, троостит).

Превращение перлита в аустенит происходит при температуре 723 °С, чем выше температура, тем быстрее идет превращение.

При охлаждении в интервале температур (700–650 °С) образуется перлит. При увеличении переохлаждения растет дисперсность продуктов превращения аустенита. При температурах 600–650 °С образуется сорбит, а при 550–600 °С – троостит.

Структура сорбит названа в честь английского ученого Г.К. Сорби, а троостит по имени французского химика Л.Ж. Труста. При большой скорости охлаждения до 200 °С/с образуется мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железо. Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и аустенит, высокую твердость и хрупкость (рис. 23).

При нагреве закаленной стали с мартенситной структурой до 400 °С образуется структура троостита, а при нагреве до 600 °С образуется структура сорбита отпуска.

Отличие троостита от сорбита, получаемых при распаде аустенита от распада мартенсита, в форме зерна цементита. Структура мартенсит получила название в честь немецкого металловеда А. Мартенса.

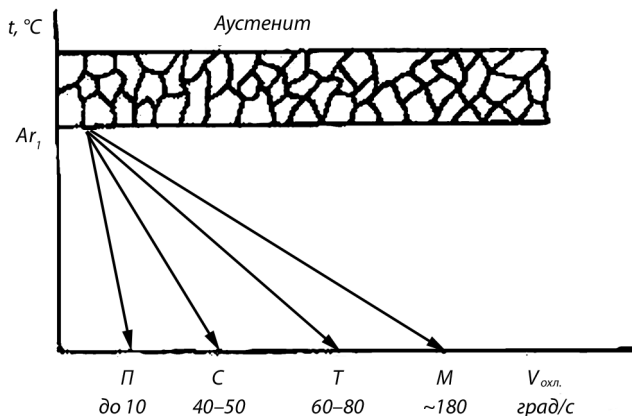


Рис. 23. Влияние скорости охлаждения на структуру стали: П – перлит, С – сорбит, Т – троостит, М – мартенсит

Превращение аустенита в перлит может происходить только при температурах ниже 723 °С (ниже точки A_1). Закономерность этого процесса характеризуется диаграммой изотермического превращения аустенита, т.е. распадом аустенита при постоянной температуре. Мартенсит является основной структурой закаленной стали, так как она обладает высокой твердостью. Мартенсит в стали есть перенасыщенный твердый раствор углерода в α -железе с такой же концентрацией, как у исходного аустенита (2,14 %). Так как растворимость углерода в α -фазе равна всего лишь 0,02 %, то мартенсит является перенасыщенным твердым раствором.

Мартенсит отличается игольчатым строением и способен к самопроизвольному распаду (особенно при повышении температуры).

Троостит является смесью феррита и цементита весьма высокой измельченности. Эта структура получается как при большой скорости охлаждения стали, так и в результате распада мартенсита при нагреве до температуры 400–500 °С. Троостит обладает меньшей твердостью и большей вязкостью, чем мартенсит.

Сорбит является мелкодисперсной смесью феррита и цементита. Эту структуру можно получать при охлаждении стали или в результате распада мартенсита при нагреве до температуры 550–650 °С. Структура сорбит по своему равновесному состоянию близка к перлиту, но имеет большую степень раздробленности частиц. Его твердость выше перлитной, он более пластичен и упруг.

5.3. ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

Различают три основных вида термической обработки металлов:

- собственно термическая обработка (только температурное воздействие на сплавы);
- химико-термическая обработка (при нагреве меняется химический состав в поверхностном слое деталей за счет насыщения его различными химическими элементами);
- термомеханическая обработка сплавов (при которой меняется структура за счет температурного и деформационного воздействия).

Рассмотрим собственно термическую обработку и ее виды.

В зависимости от температуры нагревания и условий охлаждения различают следующие виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжиг стали состоит из ее нагрева до определенной температуры, выдержки во времени при этой температуре и последующего мед-

ленного охлаждения вместе с печью. Отжиг разделяется на отжиг первого и второго рода.

Отжиг первого рода – приведение структуры из неравновесного состояния в более равновесное (возврат, рекристаллизация, отжиг для снятия внутренних напряжений, диффузионный отжиг, или гомогенизация).

Отжиг второго рода – изменение структуры сплава посредством перекристаллизации около критических точек в целях получения равновесных структур. К отжигу второго рода относится полный, неполный и изотермический отжики.

Отжиг I рода. Возврат (отдых) стали – нагрев до 200–400 °С, для уменьшения или снятия наклепа при пластической деформации.

Рекристаллизационный отжиг происходит при температурах 500–550 °С и предназначен для снятия наклепа после холодной пластической деформации. При этих температурах из деформированных зерен вырастают (образуются) новые кристаллиты, приближающиеся к равновесным, в результате твердость стали снижается, а пластичность увеличивается.

Отжиг для снятия внутренних напряжений производится при 600–700 °С. Охлаждение после выдержки при заданной температуре должно быть достаточно медленным, так как в противном случае вновь возрастают внутренние напряжения.

Диффузионный отжиг (или гомогенизация) осуществляется при высоких температурах 1100–1200 °С с выдержкой от 10 до 15 ч и предназначен для устранения химической неоднородности (ликвации), образовавшейся при кристаллизации стали.

Отжиг II рода. Полный отжиг применяют после горячей обработки металлов давлением (ковки, штамповки), а также для литья из углеродистых и легированных сталей. Основной его целью является измельчение зерна. Полный отжиг осуществляется путем нагрева стали на 30–50 °С выше точки A_3 , выдержки при этой температуре и последующего медленного охлаждения вместе с печью.

Неполный отжиг достигается нагревом стали на 30–50 °С выше температуры точки A_1 и не выше температуры точки A_3 , выдержкой при этой температуре и последующим медленным охлаждением. Неполному отжигу обычно подвергают заэвтектоидные инструментальные стали для снятия внутренних напряжений, создания мелкозернистой структуры, снижения твердости и улучшения их обрабатываемости резанием.

Изотермический отжиг в отличие от полного отжига заключается в том, что сталь нагревают до температуры на $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше точки A_3 , выдерживают при этой температуре, а затем быстро охлаждают до температуры ниже точки A_1 ($680\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$). При этой температуре сталь подвергается выдержке до полного распада аустенита на перлит, а затем ее охлаждают на воздухе. Основное преимущество изотермического отжига состоит в том, что он позволяет сократить время и повысить производительность. Например, обыкновенный отжиг сталей длится $10\text{--}12\text{ ч}$, а изотермический – $4\text{--}7\text{ ч}$.

Нормализацией называется операция нагрева стали на $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше точки A_3 (для конструкционной стали или $A_{\text{ст}}$ – для инструментальной стали) с выдержкой при этой температуре и последующем охлаждении на воздухе. С помощью нормализации получают мелкозернистую и однородную структуру. Твердость и прочность стали после нормализации выше, чем после отжига.

Таким образом, можно утверждать, что нормализация представляет собой разновидность отжига. Скорость охлаждения несколько больше, чем при обычном отжиге. Охлаждение на воздухе, вне печи, снижает экономические затраты на термообработку.

Закалка – это термическая обработка, которая заключается в нагреве стали до температуры, превышающей температуру фазовых превращений, выдержке при этой температуре, а затем быстрым охлаждением в воде, машинном масле, водных растворах солей, эмульсиях. Цель закалки – получение стали с высокой твердостью, прочностью, износоустойчивостью и другими важными свойствами, повышающими долговечность и надежность деталей и инструментов. При закалке конструкционные стали нагревают на $20\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше точки A_3 , а инструментальные стали (заэвтектоидные) – на $30\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше точки A_1 .

В зависимости от химического состава стали и размеров изделий применяют несколько способов закалки: обычная в одном охладителе, в двух охладителях, ступенчатая, изотермическая, закалка с самоотпуском, обработка холодом, поверхностная.

Закалка в одном охладителе – нагретая деталь погружается в охлажденную жидкость и остается там до полного охлаждения.

Закалка в двух охладителях – деталь до $300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ охлаждают в воде, а затем переносят в масло.

Ступенчатая закалка – деталь быстро охлаждается погружением в соляную ванну с температурой, немного превышающей температуру мартенситного превращения, а затем охлаждается на воздухе.

Изотермическая закалка – деталь выдерживается в соляной ванне до изотермического превращения аустенита.

Закалка самоотпуском – в закалочной среде охлаждают только часть детали, а теплота, сохранившаяся в остальной части после извлечения из среды, вызывает отпуск охлажденной части.

Обработка холодом является новым методом термической обработки, разработанным учеными А.П. Гуляевым, С.С. Штейнбергом и Н.А. Минкевичем. Обработке холодом подвергают инструменты и детали, содержащие не менее 0,6% С. Обычно этот метод применяют для инструментов, изготовленных из стали Р 18 и других легированных сталей. Обработку холодом применяют в целях повышения красностойкости и твердости стали и приводят ее сразу после остывания закаленных изделий до комнатной температуры путем погружения в среду, имеющую температуру ниже нуля (жидкий азот, смесь твердой углекислоты и спирта или смесь ацетона с углекислотой).

При обработке холодом закаленные изделия подвергают охлаждению при температуре от -40 до -190 °С.

Поверхностная закалка состоит из нагрева поверхностного слоя детали выше точки A_3 (для получения аустенитной структуры) и быстрого охлаждения. После такой закалки детали имеют твердый, износостойкий поверхностный слой и вязкую сердцевину. В зависимости от способа нагрева различают поверхностный нагрев металла внешним источником и внутренний нагрев в электромагнитном поле. В качестве внешнего источника используются газовые горелки, а в качестве внутреннего – индукционный нагрев токами высокой частоты (ТВЧ). Нагрев ТВЧ нашел широкое применение в промышленности, так как отличается высокой производительностью, легко поддается управлению и обеспечивает хорошее качество.

Индукционный нагрев заключается в том, что деталь помещается во внутрь специального индуктора (медной рубки, изогнутой по форме нагреваемой детали со значительным воздушным зазором). В трубке для охлаждения циркулирует вода. Через индуктор пропускают ток высокой частоты от 500 до 1000 Гц. Возникающее при этом электромагнитное поле индуцирует вихревые токи, которые за доли секунды нагревают поверхность детали. Такой вид закалки целесообразно применять в крупносерийном производстве, так как на каждую деталь надо изготавливать свой индуктор. В последнее время нашла применение лазерная закалка.

ПОНЯТИЯ ЗАКАЛИВАЕМОСТИ И ПРОКАЛИВАЕМОСТИ

Прокаливаемость стали характеризуется глубиной закаленной (мартенситной) зоны.

Закаливаемость – это способность стали приобретать в результате закалки максимальную твердость.

Прокаливаемость связана со скоростью превращения аустенита в перлит. Прокаливаемость оценивается величиной критического диаметра ($D_{кр}$) – максимальным диаметром сечения образца сквозной закалки в определенной охлаждающей среде. Так, например, охлаждение в воде обеспечит больший диаметр сквозной закалки, чем охлаждение в масле. Сквозная прокаливаемость позволяет получать высокие механические свойства по всему сечению образца. Несквозная прокаливаемость приводит к неравномерности механических свойств в различных местах деталей, к понижению их надежности в работе.

При закалке в зависимости от сечения детали и критической скорости закалки получается различная структура от края к сердцевине. Так как внутренние слои детали охлаждаются медленнее наружных, то в объемах, где скорость охлаждения меньше критической, образуется троостит, сорбит или перлит. Если сердцевина охлаждается со скоростью больше критической, то по всему сечению образуется мартенситная структура. Следовательно, чем меньше критическая скорость закалки, тем больше прокаливаемость, и чем интенсивнее охлаждающая среда, тем больше величина критического диаметра. Критическая скорость закалки – это минимальная скорость охлаждения, при которой образуется только структура мартенсит. Ниже представлена схема прокаливаемости образцов различного диаметра при закалке в воде и масле, закаленный слой заштрихован (рис. 24).

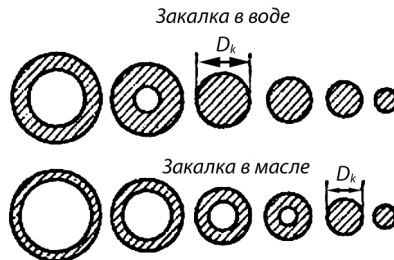


Рис. 24. Схема прокаливаемости образцов различного диаметра при закалке в воде и масле

Прокаливаемость можно определить по излому, измерением твердости по сечению образца.

Главным фактором, определяющим закаливаемость, является содержание углерода в стали. Закаливаемость оценивают по твердости поверхностного слоя стального образца после закалки.

Отпуском называется процесс термической обработки, применяемый после закалки стали, в целях устранения внутренних напряжений, уменьшения хрупкости, понижения твердости, увеличения вязкости и улучшения обрабатываемости. Отпуск заключается в нагреве стали до температуры ниже точки A_1 , выдержке при этой температуре с последующим охлаждением до комнатной температуры. В зависимости от температуры нагрева различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск осуществляется при температуре 150–200 °С с выдержкой при этой температуре и последующим охлаждением на воздухе. Применяется низкий отпуск для режущего и измерительного инструмента, шариков и роликов шарикоподшипников.

Средний отпуск производится при температуре 300–500 °С, *высокий* при 500–600 °С и применяются в целях полного снятия внутренних напряжений, придания деталям высокой вязкости (зубчатые колеса, валы, шатуны).

Искусственное старение – это отпуск при 120–150 °С в течение 10–35 ч. *Естественное старение* – при комнатной температуре и длится 3 и более месяцев.

5.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Для нагрева изделий при термической обработке применяют печи и ванны. По источнику тепла различают печи электрические и пламенные; по принципу действия – периодического и непрерывного действия. Печи периодического действия в свою очередь разделяются на камерные, шахтные и печи-ванны. В зависимости от среды в рабочем пространстве различают термические печи с воздушной или защитной атмосферой, а также с закрытым рабочим пространством, к которым относятся вакуумные и муфельные печи. Печи с соляными и свинцовыми ваннами нагревают обычно электрическим током. В свинце детали могут нагреваться от 330 до 850° С, в соляных расплавах – от 150 до 1350 °С в зависимости от состава. Эти печи имеют преимущества перед обычными печами. К их числу относятся: быст-

рота нагрева, отсутствие окисления, точность регулирования температуры. Однако эти печи-ванны применимы, в основном, для малых деталей.

Для измерения и контроля температуры до 600 °С используют ртутные термометры, а для более высоких температур оптические пирометры и термоэлектрические термопары. Контроль температур при термической обработке осуществляют также приближенными способами. К ним относят определение температуры металла по цветам каления (при нагреве под закалку или отжиг), а также по цветам побежалости (при отпуске).

5.5. ДЕФЕКТЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Дефекты, возникающие при проведении термической обработки сталей, связаны в основном с нарушением режима и технологии ее проведения. При отжиге и нормализации могут появиться следующие дефекты: обезуглероживание, окисление (образование окарины), пережог, перегрев, коробление и др.

Обезуглероживание – это процесс выгорания с поверхности деталей углерода за счет окисления его печными газами. Это приводит к снижению прочностных свойств, потери размеров, появлению коробления деталей. Лучшей защитой от этого дефекта могут быть вакуумные нагревательные печи и печи с защитными (нейтральными) газами. Пережог возникает при высоких температурах и длительной выдержке деталей при этой температуре. Пережог является неисправимым браком.

Перегрев также получают при высоких температурах и длительной выдержке, что приводит к образованию крупнозернистой структуры. Исправляется он повторным отжигом или нормализацией.

К основным дефектам закалки относятся: трещины, коробление, обезуглероживание, недостаточная твердость, повышенная хрупкость. Главная причина трещин – неравномерное изменение объема детали при нагреве и особенно при резком охлаждении. Трещины возникают потому, что напряжение при неравномерном изменении объема в отдельных местах детали превышает прочность металла. Коробление возникает также от напряжения в результате неравномерного охлаждения и проявляется в искривлениях деталей. Если эти искривления невелики, они могут быть исправлены, например, шлифованием. Обезуглероживание поверхности – результат выгорания углерода при высоком и продолжительном нагреве детали в окис-

лительной среде. Недостаточная твердость как следствие низкой температуры нагрева под закалку может быть устранена повторной закалкой. Повышенная хрупкость является следствием высоких температур.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Термическая обработка.
Режим термообработки.
Критические температурные точки.
Мартенсит, сорбит, троостит.
Возврат (отдых).
Рекристаллизационный отжиг.
Гомогенизация.
Изотермический отжиг.
Закалка с самоотпуском.
Обработка холодом.
Поверхностная закалка.
Прокаливаемость и закаливаемость.
Обезуглероживание.
Соляные и свинцовые печи-ванны.
Термоэлектрические термопары.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем сущность и назначение термической обработки стали?
2. Назовите виды термической обработки сталей и их назначение.
3. До какой температуры необходимо нагреть под закалку сталь, содержащую 0,5% С и 1,2% С?
4. В чем сущность поверхностной закалки сталей токами высокой частоты?
5. Какие стали не подвергаются закалке?
6. Приведите классификацию нагревательных печей для термообработки по источнику тепла и по принципу действия.
7. Назовите основные приборы для измерения температуры в нагревательных печах.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. При термической обработке стали происходят следующие основные изменения:
 - а) форма и размеры детали;

- б) структурные изменения;
 - в) физико-механические свойства;
 - г) химический состав стали.
2. Назовите температуру критической точки A_1 :
- а) 768°C ;
 - б) 723°C ;
 - в) 911°C ;
 - г) 1147°C .
3. Какую структуру имеют доэвтектоидные стали при комнатной температуре?
- а) феррит;
 - б) феррит + перлит;
 - в) перлит;
 - г) перлит + цементит.
4. Эвтектоидная сталь при комнатной температуре имеет структуру:
- а) феррит;
 - б) феррит + перлит;
 - в) перлит;
 - г) перлит + цементит.
5. Заэвтектоидная сталь при комнатной температуре имеет структуру:
- а) феррит;
 - б) феррит + перлит;
 - в) перлит;
 - г) перлит + цементит.
6. При нагреве стали выше 723°C происходят структурные превращения:
- а) превращение мартенсита в перлитные структуры (перлит, сорбит, тростит);
 - б) превращение перлита в аустенит;
 - в) превращение аустенита в перлит;
 - г) превращение аустенита в мартенсит.
7. Какой отжиг целесообразно применить для устранения химической неоднородности стали?
- а) рекристализационный;
 - б) диффузионный;
 - в) изотермический;
 - г) полный отжиг.
8. Для термообработки слесарного молотка целесообразно применить следующие виды термической обработки:
- а) закалка;

- б) отпуск + нормализация;
 - в) закалка + отпуск;
 - г) нормализация.
9. Закаливаемость стали характеризуется:
- а) максимальным диаметром сечения образца сквозной закалки;
 - б) твердостью поверхностного слоя;
 - в) содержанием углерода в стали;
 - г) твердостью и содержанием углерода в стали.
10. Обезуглероживание поверхности деталей при закалке происходит вследствие:
- а) неравномерного изменения объема детали при нагреве и охлаждении;
 - б) низкой температуры нагрева под закалку;
 - в) высокой температуры нагрева;
 - г) длительности нагрева при высокой температуре.

ГЛАВА 6. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сначала надо уяснить понятия деформации, за счет чего она возникает, ее разновидности (упругая и пластическая). В чем заключаются разновидности пластической деформации (холодная и горячая) в зависимости от температуры рекристаллизации. Надо четко представлять явления наклепа, возврата, рекристаллизации, рекристаллизационного отжига. При этом важно понять за счет чего происходят упрочнения при холодной пластической деформации. Кроме упрочнения пластической деформацией существуют и другие технологии поверхностного упрочнения металлических сплавов. Об этих технологиях необходимо иметь четкие понятия. Изучение химико-термической обработки необходимо начать с уяснения того, за счет чего происходит упрочнение поверхностного слоя. Четко представлять явления диссоциации, адсорбции и диффузии. Виды химико-термической обработки и технологию их проведения необходимо объяснить на примерах конкретных деталей: для каких сталей целесообразно применять цементацию и цианирование, а для каких – азотирование и

диффузионную металлизацию. Иметь понятия о термомеханической, механотермической и термомагнитной обработках стали. Необходимо разобраться в технологиях высокотемпературной и низкотемпературной термомеханических обработок и непосредственной области их применения.

6.1. УПРОЧНЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ. ЯВЛЕНИЕ НАКЛЕПА

Приложение к металлу напряжения (внешних сил) вызывает деформацию. Она может быть упругой, исчезающей после снятия нагрузки, и пластической, остающейся после снятия нагрузки.

При пластической деформации происходит перемещение части кристаллов, они сдвигаются относительно друг друга, а также изменяется и сама форма кристалла. По мере увеличения степени деформации происходят существенные изменения в строении металла и его свойствах (увеличивается прочность и снижается пластичность). Такое упрочнение металла под действием пластической деформации называется наклепом или нагартовкой. Это свойство используют при различных технологических процессах – при протяжке проволоки, операциях гибки, высадки, штамповки. Поверхностное упрочнение может осуществляться дробеструйной обработкой, накаткой роликами и чеканкой. Дробеструйная обработка повышает также коррозионную стойкость стальных деталей.

Дробеструйный наклеп производится с помощью дробеметных турбин с использованием стальной или чугунной дроби. Дробеструйному наклепу подвергаются пружины, зубчатые колеса, валы и другие детали машин.

6.2. ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ДЕФОРМИРОВАННОГО МЕТАЛЛА. ВОЗВРАТ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

Пластическая деформация приводит металл в структурно-неустойчивое состояние. В этом случае она будет стремиться к более устойчивому состоянию за счет снятия искажения кристаллической решетки и формы кристалла. Это может происходить уже при небольшом нагреве в пределах 300–350 °С. Снятие искажения решетки в процессе нагрева деформированного металла называется *возвратом*

или *отдыхом*. В результате твердость и прочность несколько понижаются (на 20–30% по сравнению с исходными), а пластичность возрастает. Если температура нагрева будет выше, чем при возврате, то произойдет явление рекристаллизации. Рекристаллизация представляет собой образование новых зерен. Сопоставление температур рекристаллизации различных металлов показывает, что между минимальной температурой рекристаллизации и температурой плавления существует простая зависимость: $T_{\text{рек}} = a \cdot T_{\text{плав}}$, где a – коэффициент, зависящий от чистоты металла. У металлов обычной технической чистоты он составляет 0,3–0,4. Температура рекристаллизации сплавов значительно выше и может достигать значения 0,8 $T_{\text{плав}}$.

Схема процессов, происходящих при нагреве наклепанного металла, представлена на рис. 25.

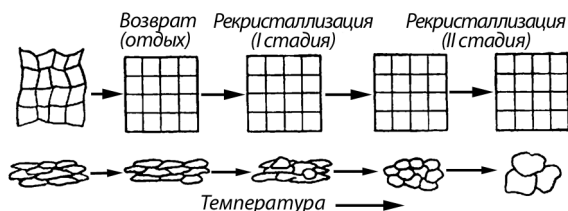


Рис. 25. Схема процессов нагрева наклепанного металла

Температура рекристаллизации имеет важное практическое значение. Чтобы восстановить структуру и свойства наклепанного металла (например, при необходимости продолжить обработку давлением путем прокатки, протяжки, волочения), его надо нагреть выше температуры рекристаллизации. Такая обработка называется рекристаллизационным отжигом.

Пластическое деформирование выше температуры рекристаллизации хотя и приводит к упрочнению, но оно устраняется протекающим при этих температурах процессом рекристаллизации. Рекристаллизация протекает не во время деформации, а сразу после ее окончания и тем быстрее, чем выше температура, и завершается в секунды и даже в доли секунд.

Таким образом, при пластическом деформировании выше температуры рекристаллизации упрочнение и наклеп металла, если и произойдут, то будут немедленно сниматься. Такая обработка, при которой нет упрочнения (наклепа), называется *горячей обработкой давле-*

нием. Пластическая деформация ниже температуры рекристаллизации вызывает наклеп и называется *холодной обработкой*.

Для отжига наклепанного материала в производственных условиях применяют более высокие температуры, чем теоретическая температура рекристаллизации, для обеспечения достаточной скорости рекристаллизационных процессов. Ниже в табл. 2 приведены теоретические температуры рекристаллизации, практические температуры рекристаллизационного отжига, а также температуры горячей обработки давлением.

Таблица 2

Металл	Температура, °С		
	теоретическая при $\alpha = 0,4-0,5$	практическая рекристаллизационного отжига	горячей обработки давлением
железо	450	600–700	800–1300
сталь	450	600–700	800–1100
медь	270	450–500	800–600
алюминий	50	250–350	460–350

Процесс рекристаллизации подразделяется на два этапа:

1) первичная рекристаллизация, когда вытянутые вследствие пластической деформации зерна превращаются в мелкие округленной формы беспорядочно ориентированные зерна;

2) вторичная, заключающаяся в росте зерен и протекающая при более высокой температуре.

Эти два этапа отражены на рис. 25.

6.3. УПРОЧНЕНИЕ НАПЛАВКОЙ И НАПЫЛЕНИЕМ

Наплавка – это процесс, при котором на поверхность детали наносится слой металла требуемого состава. Наплавку применяют при ремонте изношенных деталей для восстановления их исходных размеров и для изготовления новых изделий. Для наплавочных работ используются углеродистые и легированные стали, сплавы на основе никеля и кобальта, меди, карбидные сплавы (с карбидом вольфрама или хрома) и др. Разработано свыше 70 марок наплавочных электродов. Ручная дуговая наплавка металлическими электродами – самый простой способ. Автоматическая наплавка под флюсом обеспечивает большой объем ванны жидкого металла. Наплавку ТВЧ выполняют

с помощью индукционного нагрева с присадочным материалом. Используют и дуговую наплавку неплавящимся электродом, плазменной дуги, газового пламени. Наиболее часто используют технологию наплавки для изготовления деталей с высокими износостойкими, жаропрочными, коррозионно-стойкими свойствами.

Распыление, или металлизация заключается в нанесении металлического покрытия на поверхность деталей методом осаждения на ней жидкого металла, распыляемого газовой струей. Процесс металлизации состоит в подаче металлической проволоки к источнику нагрева. Проволока нагревается до расплавления, и жидкий металл под давлением газовой струи вылетает с большой скоростью из сопла металлизатора в виде распыленных капель. В зависимости от используемого источника теплоты различают металлизацию дуговую, газовую, плазменную и ТВЧ. Для металлизации применяют проволоки медные, алюминиевые, стальные, цинковые, а также неметаллические материалы в виде порошков (стекла, эмали, пластмасс).

Металлизацию применяют для защиты от изнашивания, коррозии, а также в декоративных целях для таких изделий, как цистерны, бензобаки, мосты, изнашивающиеся части валов, кулачков и др.

6.4. СУЩНОСТЬ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, ВИДЫ И ИХ КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Термомеханическая обработка (ТМО) заключается в сочетании пластической деформации стали в аустенитном состоянии с ее закалкой и последующим отпуском. При этом значительно повышается прочность, увеличивается пластичность, что повышает сопротивление хрупкому разрушению и повышает эксплуатационную надежность деталей. В зависимости от температуры, при которой сталь подвергают пластической деформации, различают два основных способа термомеханической обработки:

- высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО), при которой деформируют сталь, нагретую выше точки A_3 (выше линии GS на диаграмме «железо – углерод»). Степень деформации составляет 25–30%. После деформации следует немедленная закалка, после чего производится низкотемпературный отпуск в пределах 150–300 °С;

- низкотемпературную термомеханическую обработку (НТМО) проводят нагревом выше точки A_3 , затем охлаждают до 550–600 °С,

пластически деформируют при этой температуре (степень деформации 75–95%). Сразу после деформации производят закалку и низкий отпуск.

Схематично можно представить ВТМО и НТМО в виде таких графиков на рис. 26.

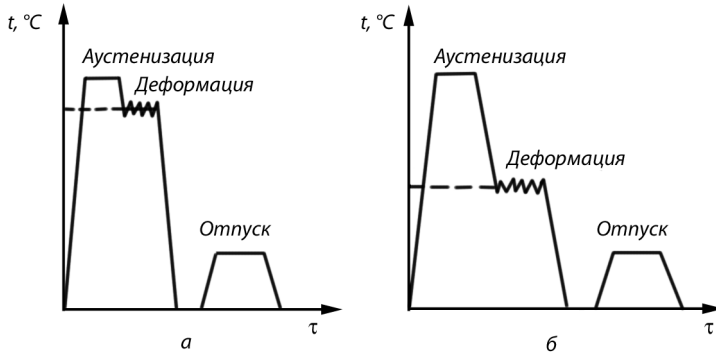


Рис. 26. Графики ВТМО (а) и НТМО (б)

Процессы пластической деформации при ТМО и термической обработке совмещены в одной технологической операции. Пластическое деформирование при ТМО производят ковкой, прокаткой, горячей объемной штамповкой, прессованием и другими видами горячей обработки давлением.

Наибольшее упрочнение достигается при НТМО, но проведение ее более сложно по сравнению с ВТМО, так как требуются более высокие усилия деформации.

ВТМО можно подвергать любые стали – углеродистые и легированные, а НТМО – в основном только легированные стали с повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита.

Новейшим методом является термомагнитная обработка без деформации. В этом случае детали, нагретые для закалки, охлаждаются под воздействием мощного электромагнитного поля.

Механотермическая обработка, так же как и термомеханическая, сочетает закалку и деформирование, но имеет обратный порядок этих процессов: сначала сталь подвергают термической обработке, а затем деформируют.

Одним из видов механотермической обработки является патентирование.

Патентирование заключается в термической обработке на троостит с последующей деформацией на 90–95%. Такая обработка позволяет достичь предела прочности тонкой проволоки из высокоуглеродистой стали до 500 кг/мм³.

В практике механотермической обработки также используется деформирование на 3–5% после закалки, что позволяет повысить предел прочности на 10–20%.

6.5. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ, НАЗНАЧЕНИЕ И ЕЕ ВИДЫ

Приступая к изучению данного вопроса, необходимо вспомнить, что в результате термообработки изменяются только структура стали и ее механические свойства, химический же ее состав остается неизменным. Изменение структуры и механических свойств происходит по всему сечению детали, но в ряде случаев бывает необходимым изменить механические или физические свойства детали только на ее поверхности. В этих случаях и применяется химико-термическая обработка.

Химико-термической обработкой называется процесс, представляющий собой сочетание теплового и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя деталей. При этом происходит насыщение поверхности детали такими элементами, как углерод, азот, хром, алюминий, бор и др. Химико-термическая обработка применяется в целях повышения твердости, износоустойчивости, коррозионной стойкости поверхностного слоя при сохранении вязкой и достаточно прочной сердцевины.

Химико-термическая обработка основана на диффузии атомов различных химических элементов в кристаллическую решетку железа при нагреве в среде, содержащей эти элементы. Процесс диффузии протекает очень медленно, глубина насыщения другими элементами составляет от 0,1 до 2 мм.

Любой вид химико-термической обработки состоит из следующих процессов:

- *диссоциация* – распад молекулы химического элемента на элементарные атомные частицы;
- *адсорбция* – поглощение, собирание на поверхности детали элементарных частиц;
- *диффузия* – перемещение атомов химического элемента с поверхности в глубь детали.

Насыщающий элемент должен взаимодействовать с основным металлом, образуя твердые растворы или химические соединения, иначе процессы адсорбции и диффузии невозможны.

При диссоциации процесс протекает в газовой среде с образованием активных атомов диффундирующего элемента. Например, $2CO \rightarrow CO_2 + C$ или $NH_3 \rightarrow 3H + N$. Адсорбция происходит на границе газ-металл и состоит в поглощении (растворении) поверхностью свободных атомов. Этот процесс возможен только в том случае, если диффундирующий элемент способен растворяться в основном металле.

В результате диффузии насыщающий элемент, проникая внутрь основного металла, образует слой диффундирующего элемента определенной толщины. Повышение температуры значительно ускоряет диффузионные процессы.

Наиболее распространенными видами химико-термической обработки стали являются цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

Цементацией называется технологический процесс насыщения поверхностного слоя низкоуглеродистых сталей углеродом, в результате чего получается высокоуглеродистый поверхностный слой. Цементация изменяет химический состав и структуру поверхностного слоя, а следовательно, изменяются и свойства. Цементации подвергают такие детали, которые работают одновременно на износ и на удар. Цементацию проводят после окончательной механической обработки с небольшим припуском на шлифование.

При термической обработке после цементации получают высокую твердость поверхности при сохранении мягкой и вязкой сердцевины, что повышает износоустойчивость и предел усталости стальных деталей. Эффективность цементации зависит от многих факторов: режима цементации (температуры и времени выдержки, состава карбюризатора, состава стали, режима термической обработки после цементации).

Существует три вида цементации: твердым карбюризатором, жидкая и газовая.

Твердая цементация (в твердом карбюризаторе) является наиболее старым процессом химико-термической обработки. В качестве карбюризатора используют смесь древесного угля (70%), углекислого бария (20–25%) и углекислого кальция (3–5%). Добавление к древесному углю углекислых солей ускоряет процесс цементации. Детали помещают в железные ящики, засыпают карбюризатором и помещают в печь при температуре 930–950 °С в течение 5–10 ч. После цемен-

тации детали подвергают обязательной термической обработке – закалке и низкому отпуску.

Одним из существенных недостатков цементации в твердом карбюризаторе является значительная трудоемкость, невысокая производительность, длительность процесса.

Жидкая цементация осуществляется путем погружения деталей в соляные ванны при температуре 830–850 °С, карбюризатором при этом являются расплавленные соли (сода, поваренная соль, карбид кремния). Длительность процесса составляет 0,5–2 ч, глубина цементированного слоя не превышает 0,2–0,3 мм. Преимуществом цементации в соляных ваннах является равномерность нагрева и возможность непосредственной закалки после выемки из цементационной ванны.

Газовая цементация заключается в насыщении поверхности стальных деталей углеродом в атмосфере углеродосодержащих газов (метана, окиси углерода). Процесс происходит в герметически закрытых камерах печей при температуре 930–950 °С. Нагрев в газовом карбюризаторе и процесс насыщения поверхностного слоя является более экономичным по сравнению с остальными.

Цементацию рекомендуется проводить так, чтобы содержание углерода в наружном слое не превышало 1,1–1,2%, глубина цементации 0,5–1,5 мм. Более высокое содержание углерода приводит к образованию значительных количеств вторичного цементита, сообщающего слою повышенную хрупкость.

Азотирование – это процесс насыщения поверхностного слоя стальных изделий азотом. Азотированию подвергаются в основном легированные стали, так как азотирование углеродистых сталей не дает нужной твердости. Улучшение свойств легированных сталей при азотировании является результатом образования в поверхностном слое нитридов – устойчивых химических соединений азота с другими элементами, такими как хром, алюминий, молибден, ванадий и др.

Азотирование производится в герметизированных муфельных камерных печах путем нагревания деталей в атмосфере газообразного аммиака при температуре 500–750 °С. Атомы азота поглощаются поверхностью металла, диффундируют вглубь и образуют нитриды типа MoN , AlN , Fe_4N и др. Азотирование осуществляется после механической и термической обработок. При азотировании повышаются твердость, износостойчивость и выносливость, улучшаются антикоррозионные свойства. Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя зависят от температуры, продолжительности азотиро-

вания и состава азотируемой стали, глубина азотированного слоя может составлять от 0,2 до 0,6 мм.

Цианирование является технологическим процессом одновременного насыщения поверхностного слоя деталей углеродом и азотом. Цианирование повышает твердость и износоустойчивость поверхностного слоя деталей, а также увеличивает сопротивляемость их коррозии. Различают твердое, жидкое и газовое цианирование (последнее иногда называют нитроцементацией).

Твердое цианирование аналогично твердой цементации. В качестве карбюризатора применяют цианистые соли: 30–40% $K_4Fe(CN)_6$ (желтая кровяная соль), 10% Na_2CO_3 (сода) и 50–60% древесного угля. Применяется этот вид цианирования, как правило, в мелкосерийном производстве.

Жидкое цианирование – наиболее распространенный вид цианирования стали – проводят в расплавленных цианистых солях: $NaCN$, KCN , $Ca(CN)_2$ и др. При расплавлении происходит разложение цианистых солей с образованием N и C , которые, диффундируя в поверхность стальных деталей, азотируют и науглероживают их. Процесс может производиться при 600–950 °С с выдержкой от 1 до 6 ч, глубина цианированного слоя – 0,03–2,0 мм. После цианирования детали подвергают закалке и низкому отпуску.

Газовое цианирование (нитроцементация) осуществляют в смеси, состоящей из 75% науглероживающих и 25% азотирующих газов (например, смесь генераторного, природного газа и аммиака). Процесс ведется при температурах порядка 800–850 °С и выдержке от 1 до 6 ч. Глубина цианирования при этом составляет 0,4–0,6 мм.

Цианистые соли ядовиты, и это является существенным недостатком цианирования. Поэтому его обычно проводят в специально выделенных помещениях, в которых строго соблюдаются правила техники безопасности.

Диффузионная металлизация представляет собой процесс диффузионного насыщения поверхностных слоев стали различными металлами (алюминием, хромом, цинком, молибденом, кремнием, бором) для защиты изделий от коррозии и повышения их жаростойкости, износостойкости и твердости. Наибольшее применение имеют процессы насыщения алюминием – алитирование, хромом – хромирование, кремнием – силицирование и т. д.

Алитирование применяется для деталей, работающих при высоких температурах для повышения окалиностойкости. Жидкое алитирование осуществляется погружением деталей из стали в печь-ван-

ну с расплавленным алюминием при 750–800° С и выдержкой 45–90 мин. Толщина алитированного слоя равна 0,2–0,35 мм. Последующий диффузионный отжиг при 900–1000 °С увеличивает толщину алитированного слоя до 1 мм.

Разработан прогрессивный способ алитирования, заключающийся в том, что алюминий сначала наносят на изделие, распыляя сжатым воздухом. Далее нанесенный слой алюминия защищают жаростойкой обмазкой и производят диффузионный отжиг изделий при температуре 920 °С в течение 3 ч. В процессе отжига поверхностный слой изделия насыщается алюминием на глубину в среднем 0,5 мм.

Диффузионное хромирование производится в порошковых смесях, составляемых из феррохрома и шамота, смоченных соляной кислотой, или в газовой среде при разложении паров хлорида хрома. Хромированию подвергается сталь с содержанием углерода не более 0,2%. Хромированные детали имеют высокую коррозионную стойкость.

Силицирование – насыщение поверхностного слоя стальных изделий кремнием, обеспечивающее повышение стойкости против коррозии в морской воде, азотной, серной, соляной кислотах. Существует силицирование в порошкообразных смесях ферросилиция, а также газовое силицирование в среде хлорида кремния.

Силицированный слой обладает высокой кислотоупорностью до 850 °С и сопротивлением износу.

Борирование является процессом насыщения поверхностного слоя стали бором. Борирование повышает твердость, сопротивление абразивному износу и коррозии в агрессивных средах. Его проводят в твердых жидких и газообразных средах с боросодержащими солями и газами.

При диффузионной металлизации сталь может насыщаться и другими металлами, например, титаном (*титанирование*), вольфрамом (*вольфраммирование*), ниобием (*ниобирование*), ванадием (*ванадирование*) и др. Комплексные свойства диффузионного слоя могут быть получены насыщением стали двумя или несколькими металлами одновременно (хром и алюминий).

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Пластическая деформация.

Наклеп, возврат.

Температура рекристаллизации.

Термомеханическая обработка.

Высокотемпературная и низкотемпературная термомеханическая обработка.

Механотермическая обработка.
Термомагнитная обработка.
Химико-термическая обработка.
Диссоциация, адсорбция, диффузия.
Цементация.
Азотирование.
Цианирование (нитроцементация).
Диффузионная металлизация.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается сущность пластической деформации?
2. В чем отличие холодной пластической деформации от горячей?
3. Что такое возврат, наклеп, рекристаллизация?
4. Охарактеризуйте технологию упрочнения наплавкой и напылением. Укажите области их применения.
5. В чем сущность термомеханической обработки?
6. Сущность химико-термической обработки?
7. Виды химико-термической обработки стали и их краткая характеристика.
8. Детали из каких сталей подвергают цементации и азотированию?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Наклеп получают пластической деформацией при следующих температурных режимах:
 - а) 20 °С;
 - б) 300 °С;
 - в) 500 °С;
 - г) $0,8 T_{пл}$ сплава.
2. Свойство наклепа используют при:
 - а) механической обработке;
 - б) термической обработке;
 - в) штамповке;
 - г) операциях гибки.
3. Дробеструйному наклепу подвергаются:
 - а) валы;
 - б) пружины;
 - в) болты;
 - г) проволока.

4. При возврате (отдыхе) происходит снятие искажения решеток, а следовательно, изменяются и свойства:

- а) твердость увеличивается;
- б) твердость понижается;
- в) пластичность увеличивается;
- г) пластичность уменьшается.

5. Термомеханическая обработка представляет собой комплексное воздействие внешних факторов в следующей последовательности:

- а) температура, пластическая деформация;
- б) температура, пластическая деформация, термическая обработка (закалка, отпуск);
- в) пластическая деформация и термическая обработка.

6. Механотермическая обработка представляет собой комплексное воздействие внешних факторов в следующей последовательности:

- а) пластическая деформация и термическая обработка;
- б) термическая обработка и пластическая деформация;
- в) термическая обработка и механическая обработка;
- г) механическая обработка и термическая обработка.

7. При химико-термической обработке происходят комплексные изменения:

- а) химического состава;
- б) химического состава, строения и свойств;
- в) строения и свойств.

8. Цементация – это технологический процесс насыщения поверхности стальных деталей:

- а) углеродом;
- б) водородом;
- в) азотом;
- г) цинком.

9. Цианирование – это технологический процесс насыщения поверхности стальных деталей:

- а) углеродом и водородом;
- б) водородом и азотом;
- в) углеродом и азотом;
- г) углеродом и цинком.

10. Азотирование – это технологический процесс насыщения поверхности стальных деталей:

- а) углеродом и азотом;
- б) азотом;
- в) углеродом;
- г) углеродом и цинком.

ГЛАВА 7. УГЛЕРОДИСТЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

С помощью диаграммы «железо – цементит» необходимо усвоить классификацию углеродистых сталей по их структуре, получить четкое представление о доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталях, а также и об углеродистых конструкционных. Следует уяснить расположение этих сплавов на диаграмме «железо – цементит», особое внимание уделить влиянию углерода и постоянных примесей на структуру и прочностные свойства стали, также обратить внимание на зависимость состава и свойств углеродистых сталей от способа их производства. Необходимо изучить современную классификацию и маркировку сталей по назначению, качеству, области их применения.

7.1. ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Железо служит основой важнейших машиностроительных материалов – стали и чугуна. Сталь – основной металлический материал, широко применяемый для изготовления машин, инструментов. Ее широкое использование обусловлено сочетанием ценного комплекса механических, физико-технических и технологических свойств. Кроме того, сталь сравнительно недорога и производится в нашей стране в больших количествах.

Научно-технический прогресс в области техники и технологий предъявляет все возрастающие требования к свойствам и качеству стали. В связи с этим разрабатываются новые марки сталей, совершенствуются технологические процессы ее получения.

Углеродистые стали классифицируют по химическому составу, назначению, качеству, степени раскисления, структуре и способам выплавки.

По химическому составу углеродистые стали подразделяются на низкоуглеродистые – до 0,2% С, среднеуглеродистые – 0,25–0,50% С и высокоуглеродистые 0,5–0,7% С.

По назначению стали классифицируют на конструкционные (строительные и машиностроительные) и инструментальные. Конструкционные строительные стали используются для сварки и кле-

паных конструкций в строительстве, мостостроении, судостроении. Наиболее широкое применение имеют машиностроительные стали. Среди конструкционных сталей можно также выделить цементируемые и улучшаемые. Стали с низким содержанием углерода используют в машиностроении для изготовления деталей, упрочняемых цементацией.

Стали, содержащие более 0,25–0,30% С, подвергают улучшению с помощью термической обработки – закалки в масле и высокому отпуску. Улучшаемые стали должны иметь высокую прочность, пластичность, высокий предел выносливости, малую чувствительность к хрупкости.

По качеству стали классифицируют на обыкновенные, качественные, высококачественные. Под качеством понимают совокупность свойств, определяемых технологией ее производства (от содержания газов – кислорода, водорода, азота и вредных примесей – серы и фосфора).

По степени раскисления и характеру затвердевания стали классифицируют на спокойные, полуспокойные и кипящие. Спокойная сталь при разливке не кипит, она полностью раскислена. Кипящая сталь при разливке кипит, выделяя большое количество газов. Полуспокойные стали по степени раскисления занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

По структуре стали классифицируют в отожженном и нормализованном состояниях. В зависимости от структуры в отожженном (равновесном) состоянии углеродистые конструкционные стали разделяют на 3 класса:

- 1) доэвтектоидные, имеющие в структуре избыточный феррит;
- 2) эвтектоидные – структура – 100% перлит;
- 3) заэвтектоидные, имеющие в структуре вторичный цементит, выделившийся из аустенита.

По структуре после нормализации стали подразделяются на следующие основные классы: перлитные и ферритные, по способу выплавки они подразделяются на конверторную, мартеновскую, электролитическую.

7.2. ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА И ПОСТОЯННЫХ ПРИМЕСЕЙ НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ

Кроме железа и углерода – основных компонентов – углеродистая сталь содержит некоторое количество постоянных и случайных примесей.

7.2. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства углеродных тканей

Углерод оказывает определяющее влияние на свойства стали. После отжига структура стали представляет смесь феррита и цемента, в которой количество последнего увеличивается пропорционально содержанию углерода. Феррит малопрочен и пластичен. Цементит тверд и хрупок. В связи с этим по мере повышения углерода повышается прочность, снижается пластичность и вязкость стали.

Постоянными примесями сталей считают марганец, кремний, фосфор, серу, а также газы – водород, кислород, азот. Обычно содержание этих элементов ограничивается в углеродистых сталях следующими верхними пределами, %: 0,8 марганца, 0,5 кремния, 0,05 фосфора и 0,05 серы. При большем содержании этих элементов сталь будет называться *легированной*, куда эти элементы введены специально.

Марганец вводят в любую сталь для раскисления: $FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$, т.е. для устранения вредных примесей закиси железа. Марганец устраняет также вредные сернистые соединения железа.

Кремний влияет аналогично марганцу. Кремний раскисляет сталь по реакции: $2FeO + Si \rightarrow 2Fe + SiO_2$.

Фосфор придает стали хладноломкость (хрупкость при обычной температуре). Это объясняется тем, что фосфор вызывает сильную внутрикристаллическую ликвацию. Хрупкость стали, вызванная фосфором, тем выше, чем больше в ней углерода.

Сера попадает в металл из руд, а также из печных газов – продуктов горения топлива. В стали она находится в виде сульфидов. Сульфиды железа (FeS) образуют с железом эвтектику с температурой плавления 988 °С и располагающуюся по границам зерен. При горячей деформации границы зерен оплавляются и сталь хрупко разрушается (красноломкость стали), поэтому содержание серы в стали строго лимитируется.

Кислород, азот и водород – вредные скрытые примеси. Их влияние наиболее сильно проявляется в снижении пластичности и повышении склонности стали к хрупкому разрушению. Кислород и азот растворяются в феррите в ничтожно малом количестве, загрязняют сталь оксидами и нитридами, что снижает ее прочность.

Случайные примеси – элементы, попадающие в сталь из руд отдельных месторождений или из металлолома (вторичного сырья): медь, мышьяк, олово, никель и др., содержание их на свойства стали не оказывает существенное влияние.

7.3. МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества выпускают в виде проката (листов, прутков, уголков) трех групп: А, В, В.

Стали маркируются сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки. Стали групп В и В имеют перед маркой буквы В или В, указывающие на их принадлежность к этим группам.

Стали группы А поставляются с гарантированными механическими свойствами, а химический состав их не регламентируется. Сталь группы А выпускается следующих марок: от Ст 0 до Ст 6. С увеличением номера марки повышается предел прочности, например, Ст 0 имеет предел прочности, равный или более 31 кг/мм²; Ст 1 – 32–42 кг/мм²; Ст 2 – 34–44 кг/мм² и т. д.

Сталь группы А используется для неответственных деталей машин, металлических конструкций, арматуры. Сталь группы В поставляется с гарантией по химическому составу, механические свойства не гарантируются. Маркируется сталь следующим образом: ВСт 0, ВСт 1, ВСт 2, ВСт 6. Так, например, в стали марки ВСт 1 содержание углерода должно быть 0,06–0,12% а в марке ВСт 6 – 0,38–0,49%. Из стали группы В изготавливают оси вагонных колес, железнодорожные рельсы, пружины, рессоры, резервуары.

Стали группы В поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Их широко применяют для производства сварных конструкций. Стали этой группы выпускаются следующих марок: ВСт1 ÷ ВСт5.

Ниже в табл. 3 и 4 приведены механические свойства и химический состав сталей групп А и В.

Таблица 3

Механические свойства углеродистой стали
обыкновенного качества группы А

Марка стали	σ_b , кгс/мм ²	σ_T , кгс/ мм ²	δ_1 ,%	Марка стали	σ_b , кгс/мм ²	σ_T , кгс/мм ²	δ_1 ,%
		не менее				не менее	
Ст 0	≥ 31	—	20	Ст 4	42–54	24	21
Ст 1	32–42	—	31	Ст 5	50–64	26	17
Ст 2	34–44	20	29	Ст 6	≥ 60	30	12
Ст 3	38–49	21	23				

7.3. Маркировка углеродистых конструкционных сталей

Таблица 4

Механический состав углеродистой стали обыкновенного качества группы Б, %

Марка стали	С	Mn	Si в стали			S	P
			КП	ПС	СП	не более	
БСт 0	≤ 0,23	–	–	–	–	0,06	0,07
БСт 1	0,06–0,12	0,25–0,50	0,05	0,05–0,17	012–0,30	0,05	0,04
БСт 2	0,09–0,15	0,25–0,50	0,05	0,05–0,17	012–0,30	0,05	0,04
БСт 3	0,14–0,22	0,30–0,65	0,07	0,05–0,17	012–0,30	0,05	0,04
БСт 4	0,18–0,27	0,40–0,70	0,07	0,05–0,17	012–0,30	0,05	0,04
БСт 5	0,28–0,37	0,50–0,80	–	0,05–0,17	015–0,35	0,05	0,04
БСт 6	0,38–0,49	0,50–0,80	–	0,05–0,17	015–0,35	0,05	0,04

Стали группы А используют для изделий, изготовление которых не сопровождается горячей обработкой. В этом случае они сохраняют структуру и механические свойства, гарантированные стандартом.

Стали группы Б предназначены для изделий, изготавливаемых с применением горячей обработки (ковки, термической обработки), при которой исходная структура и механические свойства не сохраняются. Для таких сталей важны сведения о химическом составе, необходимые для определения режимов горячей обработки.

Стали группы В в основном предназначены для производства сварных конструкций. В этом случае важно знать их исходные механические свойства, так как они сохраняются неизменными в участках, не подвергаемых нагреву при сварке. А для оценки свариваемости стали важны сведения о химическом составе. Эта группа сталей гарантирует как механические свойства, так и химический состав. Углеродистые стали обыкновенного качества (всех трех групп) с номерами 5 и 6 предназначены для рельс, железнодорожных колес, валов, шкивов, шестерен. Некоторые детали из этих сталей групп Б и В могут подвергаться термическому улучшению.

Углеродистые качественные стали характеризуются более низким, чем у сталей обыкновенного качества, содержанием вредных примесей и неметаллических включений. Они поставляются в виде проката, поковок и других полуфабрикатов с гарантированными химическим составом и механическими свойствами. Маркируются двузначными числами 05, 08, 10, 20, 30, 35, ..., 85, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 10 содержит в среднем 0,10% С, сталь 50 – 0,50% С и т.д. Спокойные стали маркируют индексом «СП», полуспокойные и кипящие с индексом соответственно «ПС» и «КП».

Углеродистые высококачественные стали, выплавленные в электрических и вакуумных плавильных агрегатах, имеют минимальное содержание вредных примесей. Маркируются такие стали аналогично качественным, но в конце добавляется буква А: например, сталь 45А, сталь 50А, содержание углерода в них составляет соответственно 0,45 и 0,50%, а вредных примесей серы, фосфора, азота, кислорода, водорода значительно меньше.

Стали 65, 70, 75, 80, 85, а также с повышенным содержанием марганца 60Г, 65Г и 75Г преимущественно применяют в качестве рессорно-пружинных. Их подвергают закалке и среднему отпуску на структуру троостита для получения высоких упругих и прочностных свойств ($\sigma_v > 80 \text{ кгс/мм}^2$) в сочетании с удовлетворительной вязкостью и хорошим пределом выносливости. Стали используются для плоских и спиральных пружин, рессор, упругих колец и других деталей пружинного типа.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Строительные стали.
Цементуемые и улучшаемые углеродистые стали.
Спокойные, полуспокойные и кипящие стали.
Случайные примеси.
Красноломкость стали.
Хладноломкость стали.
Структура троостит.
Стали группы А, Б, В.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Дайте определение углеродистой конструкционной стали.
2. По каким признакам классифицируются углеродистые конструкционные стали?
3. Маркировка углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества.
4. Как влияет повышение содержания углерода на механические свойства сталей?
5. Как влияют постоянные примеси на свойства стали?
6. Каково содержание углерода в сталях следующих марок: сталь 45 и сталь 50 А?
7. Приведите примеры применения сталей марок 45 и 50А в машиностроении.
8. Какие конструкционные стали применяются в качестве цементуемых и улучшаемых?

9. Какие марки сталей используются для изготовления пружин и рессор?
10. В своем составе углеродистая сталь имеет полезные и вредные примеси. Назовите вредные примеси.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Углеродистые конструкционные стали в своем составе имеют полезные и вредные примеси. Назовите вредные примеси:
 - а) сера;
 - б) кремний;
 - в) марганец;
 - г) водород и азот.
2. Главной составляющей углеродистой конструкционной стали, определяющей ее свойства, является:
 - а) кремний;
 - б) углерод;
 - в) марганец;
 - г) фосфор.
3. По качеству стали подразделяются на стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные. Чем определяется качество сталей?
 - а) химическим составом;
 - б) способом выплавки;
 - в) наличием вредных примесей;
 - г) увеличением содержания углерода.
4. Стали марок 10, 20, 30, 45. Укажите какие из них применяются в качестве улучшаемых?
 - а) сталь 10;
 - б) сталь 20;
 - в) сталь 30;
 - г) сталь 45.
5. Какие конструкционные стали марок 10, 20, 30, 45 применяются в качестве цементуемых?
 - а) сталь 10;
 - б) сталь 20;
 - в) сталь 30;
 - г) сталь 45.
6. С увеличением содержания углерода в стали какие свойства повышаются?
 - а) прочность;

- б) твердость;
- в) вязкость;
- г) пластичность.

7. Сталь группы В применяют для деталей, изготавливаемых следующими технологиями:

- а) механической обработкой;
- б) штамповкой, ковкой;
- в) сваркой;
- г) механической обработкой и термообработкой.

8. Сталь группы А маркируется буквами Ст и номером 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Чем больше номер, тем:

- а) прочность выше;
- б) прочность ниже;
- в) пластичность выше;
- г) пластичность ниже.

9. Для получения спокойной стали используют следующие раскислители:

- а) кремний;
- б) алюминий;
- в) хром;
- г) ванадий.

10. Содержание вредной примеси серы в высококачественной конструкционной стали не должно превышать:

- а) 0,01–0,02%;
- б) 0,02–0,03%;
- в) 0,005–0,01%;
- г) 0,04–0,06%.

ГЛАВА 8. ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Прежде всего, необходимо определить, что называется легированной сталью и легирующими элементами. Какие легирующие элементы и с какой целью вводятся в сталь?

Познакомиться с классификацией легированных сталей по основным признакам. Обратит внимание на то, что при маркировке этих сталей каждый легирующий элемент имеет свое буквенное обоз-

начение, и поэтому необходимо получить знание по расшифровке их химического состава. Наряду с конструкционными легированными сталями общего назначения в современных технологиях нашли применение стали и сплавы с особыми свойствами. Обратите внимание на их состав, свойства и области применения.

8.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Углеродистые стали не обладают достаточно высокими механическими и физико-химическими свойствами и не отвечают требованиям, предъявляемым к сплавам в современном машиностроении. Для получения необходимых свойств в сталь вводят легирующие элементы: хром, никель, марганец, кремний, вольфрам, молибден и др. Процесс этот называется легированием, а полученные стали – легированными.

Марганец и кремний, присутствующие в стали в качестве постоянных примесей, считаются легирующими компонентами, если их содержание превышает 1,0 и 0,8% соответственно.

Основные преимущества легированных сталей выявляются только после термической обработки. Легированные стали, не меняющие микроструктуру при термической обработке, упрочняются пластической деформацией. Легирование придает сталям ряд особых свойств – коррозионную стойкость, износостойкость, жаропрочность, окалиностойкость и др.

Хром, широко применяемый для легирования (в конструкционных сталях до 3,0%), повышает твердость и прочность, износоустойчивость. Благодаря высокой износоустойчивости хромистой стали, из нее изготавливают подшипники качения. При содержании свыше 13% хрома сталь становится коррозионностойкой (нержавеющей). Дальнейшее увеличение содержания хрома придает стали антикоррозионность при высоких температурах.

Никель придает стали прочность, высокую пластичность, коррозионную стойкость, увеличивает плотность.

Вольфрам повышает твердость и прочность стали, способствует образованию мелкозернистой структуры, вводится в инструментальную сталь для повышения красностойкости. Добавки вольфрама в сталь повышают ее жаропрочность.

Молибден (в конструкционных сталях в количестве 0,2–0,6%), повышает прочность и твердость, незначительно снижает пластич-

ность. В инструментальных (быстрорежущих) сталях молибден повышает красностойкость. Наиболее ценным свойством молибдена является жаропрочность стали.

Ванадий повышает прочность, способствует образованию мелкозернистой структуры, повышает упругость и сопротивление усталости стали.

Марганец повышает механические свойства, а при повышении содержания до 13% придает ей износоустойчивость и магнитоустойчивые свойства.

Кремний, как и марганец, является неизбежной примесью стали, в конструкционных легированных сталях его содержится до 2%, он повышает прочность и упругость стали при сохранении вязкости (рессорные и пружинные стали). Повышенное содержание до 2–4% увеличивает электросопротивление и магнитную проницаемость.

Необий и титан добавляют в сталь в количествах 0,1–0,2%, они придают ей мелкозернистое строение, повышают механические свойства.

Алюминий вводится для повышения твердости азотируемой стали. При содержании 5–6% алюминия стали приобретают повышенную окалинотойкость.

8.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

8.2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ

Наиболее полной является классификация легированных сталей по эксплуатационным (потребление металла в машиностроении) и производственно-технологическим (производство металла в металлургии) признакам.

По эксплуатационным признакам в зависимости от назначения различают три класса сталей.

1. Конструкционные стали и сплавы, предназначенные для изготовления деталей машин, объединяют в две группы:

- а) работающие в условиях обычных температур;
- б) работающие в условиях повышенных температур.

Конструкционные стали должны обладать комплексом высоких механических свойств.

2. Инструментальные стали и сплавы объединяют в три группы:

- а) режущего инструмента;

- б) штампов;
- в) измерительного инструмента.

3. Стали и сплавы с особыми свойствами, обладающие определенными специфическими, физическими, химическими или механическими параметрами, объединяют в шесть групп:

- а) нержавеющие (коррозионностойкие);
- б) с высоким электросопротивлением;
- в) электротехнические;
- г) с особым тепловым расширением;
- д) магнитные;
- е) для работы при высоких температурах (жаропрочные и жаростойкие).

Производственно-технологическая классификация легированных сталей построена по ряду признаков: химическому составу, количеству одновременно участвующих легирующих элементов, основному легирующему элементу, общему содержанию легирующих элементов, структуре в отожженном состоянии, структуре после охлаждения на воздухе.

По химическому составу определяют, какие легирующие элементы (кроме Fe и C) и в каких количествах присутствуют в стали. В зависимости от количества одновременно участвующих легирующих элементов различают тройные, четверные и сложнолегирующие стали.

Тройные стали содержат Fe , C и один легирующий элемент, четверные – Fe , C и два легирующих элемента, сложнолегированные – Fe , C , а также три и более легирующих элемента.

В зависимости от основных легирующих элементов сталь подразделяется на хромистую, марганцовистую, хромокремнистую, хромо-никелевую и др.

В зависимости от общего содержания легирующих элементов различают низколегированные (до 2,5%), среднелегированные (от 3 до 10%) и высоколегированные (более 10%).

По структуре в отожженном состоянии определяют структуру легированной стали в равновесном состоянии. По этому признаку стали делятся на доэвтектоидные, заэвтектоидные и ледебуритные. Доэвтектоидные стали содержат в структуре свободный феррит; заэвтектоидные – избыточные карбиды; ледебуритные – первичные карбиды, выделившиеся из жидкой фазы.

По структуре после охлаждения на воздухе определяют структуру стали после нормализации. По этому признаку легированные стали делят на три основных класса: перлитные, мартенситные и аусте-

нитные. Эта классификация чрезвычайно важна, поскольку по структуре устанавливают их свойства. Например, сталь перлитная обладает небольшой твердостью, а сталь, имеющая мартенситную структуру, весьма твердая и хрупкая. Легированные стали можно классифицировать по отношению к термической обработке на цементуемые и улучшаемые.

Классификация стали по технологическим признакам с учетом обрабатываемости подразделяет ее на литейную, деформируемую, по обработке резанием, термически обрабатываемую.

По качеству легированные стали подразделяются на качественные, высококачественные и особокачественные.

8.2.2. МАРКИРОВКА

Все легированные стали имеют маркировку, отражающую в первую очередь их химический состав. В маркировке стали первой цифрой указано содержание углерода в сотых долях процента. Затем следуют буквы русского алфавита, обозначающие наличие легирующего элемента. Если за буквой цифры нет, то это означает, что содержание легирующего элемента составляет около 1,0%.

Условные обозначения легирующих элементов в сталях следующие: алюминий – Ю; ванадий – Ф; вольфрам – В; кремний – С; марганец – Г; никель – Н; медь – Д; титан – Т; цирконий – Ц; хром – Х. Например, марка 35ХЗН5 обозначает хромоникелевую сталь, содержащую около 0,35% углерода, 3% хрома, 5% никеля, остальное железо и другие примеси.

Некоторые группы сталей содержат дополнительные обозначения: марки шарикоподшипниковых сталей начинаются с буквы Ш, быстрорежущих – Р, электротехнических – Э, автоматных – А, сталей для постоянных магнитов – Е. Для повышения качества и улучшения механических свойств некоторые марки сталей подвергают вторичному переплаву. В маркировке стали указаны виды вторичного переплава следующей аббревиатурой после буквенных и цифровых обозначений: переплав в вакуумных дуговых печах – (ВДП) ВД; электрошлаковый переплав – (ЭШП) Ш; электронно-лучевой переплав – ЭЛП; плазменно-дуговой переплав – ПДП; обычная дуговая плавка – ОДП.

Качественные легированные стали содержат не более 0,035% серы и 0,035% фосфора, а высококачественные не более 0,025% серы и 0,025% фосфора.

8.3. ЛЕГИРОВАННЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Для ответственных деталей применяют *конструкционные* легированные стали, обладающие более высокими механическими свойствами и прокаливаемостью, чем углеродистые.

Их применяют для изготовления самых разнообразных деталей машин. Для холодной листовой штамповки применяют легированные стали марок 10Г2, 30ХГС, 25ХГФ и др.

Рессорно-пружинные стали должны обладать высоким пределом упругости, выносливостью, вязкостью и пластичностью. Таким требованиям соответствуют легированные стали марок 55С2, 60С2, 70С3. Эти марки сталей применяют для изготовления рессор автомобилей, тракторов, железнодорожных вагонов и больших тяжело-нагруженных пружин. Для пружин, работающих при повышенных температурах и с длительным циклом, применяются стали марок 60С2Х, 60С2ХФ, 60С2Н2, а стали марок 30Х13, 40Х13, 44НХТЮ применяют для пружин, работающих при высоких температурах и в коррозионных средах.

Подшипниковые стали используются для изготовления разнообразных шариковых, роликовых, игольчатых подшипников как обычного назначения, так и прецизионные. Для обычных подшипников используют стали марок ШХ6, ШХ9, ШХ15 и ШХ15СГ. Для прецизионных подшипников сталь получают вакуумно-дуговым переплавом марки ШХ15.

Все применяемые легируемые стали являются цементируемыми и улучшаемыми.

8.4. СТАЛИ И СПЛАВЫ С ОСОБЫМИ СВОЙСТВАМИ

Коррозионно-стойкие стали предназначены для работы в средах различной агрессивности. Для слабо агрессивных сред предназначены стали марок 12Х13, 25Х13Н2. Детали из этих сталей работают на открытом воздухе, в пресной воде или в растворах солей при 20 °С; стали 14Х17Н2, 20Х17Н2 – для лопаток турбин, моторных деталей в авиационной промышленности при высоких температурах; стали 12Х17, 15Х17Г14 – для изготовления деталей машин мясомолочной промышленности и торгового оборудования.

Хладостойкие стали должны сохранять свои свойства при температурах – 40–80 °С. Наибольшее применение имеют следующие: 15ХМ, 20ХГНР, 30ХГС, 40ХН2М.

Жаропрочные стали способны противостоять механическим нагрузкам при высоких температурах (400–850 °С). Стали марок 12Х8ВФ, 15Х11ВФ, 13Х14НЗВ2ФР и др. применяют для изготовления лопаток паровых турбин, паронагревателей, печей.

Жаростойкие (окалиностойкие) стали способны сопротивляться окислению и окалинообразованию при высоких температурах (700–1250 °С). Стали 40Х10С2М, 12Х18Н9Г и др. применяют для изготовления деталей печной арматуры, теплообменников, выпускных коллекторов, работающих при температурах до 850–900 °С.

Теплоустойчивые стали предназначены для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температурах до 600 °С в течение длительного времени. Например, стали 20Х3МВФ, 12МХ, 25ХМФ используются для изготовления труб паронагревателей, паровых котлов, деталей газовых турбин.

Магнитные стали и сплавы подразделяются на две группы – магнитомягкие и магнитотвердые. Основными характеристиками магнитных сталей и сплавов являются коэрцитивная сила и магнитная проницаемость. Коэрцитивная сила – это напряженность магнитного поля, которая должна быть приложена к образцу для того, чтобы его размагнитить. Магнитная проницаемость – это интенсивность намагничивания, т.е. способность сгущать магнитные силовые линии.

Магнитотвердые сплавы имеют большую коэрцитивную силу и применяются для изготовления постоянных магнитов в электро- и радиоаппаратуре (реле, устройствах магнитной памяти). Их получают методами литья из сплавов *Fe-Ni-Al* и *Fe-Ni-Al-Co*. Сплав, содержащий 9% Al, 13,5% Ni, 3% Cu, 24% Co, остальное железо, имеет очень высокую коэрцитивную силу. Из него изготавливают магниты небольшого размера, но большой мощности.

Магнитомягкие стали и сплавы имеют малую коэрцитивную силу и большую магнитную проницаемость. В качестве них используют электротехническое железо и сталь, железоникелевые сплавы. Электротехническое железо содержит менее 0,04% углерода, электротехническая сталь – менее 0,05% углерода и до 4% кремния. Стали с содержанием кремния до 2% называются динамными, а с 2 до 4% – трансформаторным железом. Магнитомягкие материалы применяются для изготовления силовых трансформаторов, магнитопроводов, статоров и роторов электродвигателей.

Сплавы с особыми тепловыми свойствами, когда коэффициент линейного расширения при нагревании должен быть равен нулю, применяют, в основном, в радиоэлектротехнике. Сплав железа с 36%

никеля называется инваром (неизменный) и его можно считать практически не расширяющимся. Сплав железа с 42% никеля имеет нулевой коэффициент линейного расширения в интервале температур от 20 до 200 °С, тогда как инвар сохраняет это свойство до 100 °С.

В ряде случаев требуется сплав с постоянными, не изменяющимися с температурой, модулями упругости, применяемый для пружин точных приборов, для камертонов. Для этих целей используют сплавы, называемые элинварами (постоянная упругость), содержащие около 36% никеля, 8% хрома, остальное железо.

Сплавы с высоким электросопротивлением применяют для нагревательных элементов печей, реостатов и различных электроприборов. К этой группе сплавов относятся нихромы (X15H60, X20H80). В качестве реостатных сплавов применяют сплавы системы: основа медь, 40–45% никеля и 1–2% марганца. Железохромалюминиевые сплавы марки X13Ю4 обладают более высокой жаростойкостью, высоким электрическим сопротивлением, чем нихромы.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Сложнолегированные стали.

Высоколегированные стали.

Цементуемые и улучшаемые легированные стали.

Особовысококачественные легированные стали.

Шарикоподшипниковая сталь.

Рессорно-пружинные стали.

Хладостойкие стали.

Магнитотвердые и магнитомягкие стали.

Стали с особыми тепловыми свойствами.

Сплавы с высоким электросопротивлением.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. В чем отличие легированной конструкционной стали от углеродистой?
2. Как влияют на свойства стали добавки хрома, марганца, вольфрама?
3. Расшифруйте химический состав стали марок Г13, X, 40ХН, Х12ЮС.
4. Какие конструкционные стали применяются в качестве цементуемых и улучшаемых?
5. Назовите сплавы с особыми тепловыми свойствами.
6. Назовите основные характеристики магнитных сталей и сплавов.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Коррозионностойкие стали обладают высокой стойкостью в пресной и морской воде, в атмосфере воздуха и пара. Такая стойкость объясняется наличием в стали легирующего элемента свыше 12%. Назовите этот предмет:
 - а) вольфрам;
 - б) марганец;
 - в) хром;
 - г) алюминий.
2. Износоустойчивость легированной стали обеспечивает легирующий элемент:
 - а) никель;
 - б) вольфрам;
 - в) молибден;
 - г) марганец.
3. Жаропрочность стали обеспечивает легирующий элемент:
 - а) медь;
 - б) алюминий,
 - в) вольфрам;
 - г) кобальт.
4. Кремний в легированной стали до 2% обеспечивает основное свойство стали:
 - а) упругость;
 - б) жаропрочность;
 - в) жаростойкость;
 - г) коррозионную стойкость.
5. Алюминий в легированной стали в количестве 5–6% обеспечивает основное свойство стали:
 - а) коррозионную стойкость,
 - б) окислительность;
 - в) износостойкость;
 - г) жаропрочность.
6. Подшипниковая сталь ШХ15 содержит легирующего элемента хрома:
 - а) 0,15%;
 - б) 15%;
 - в) 1,5%;
 - г) 10%.
7. Теплоустойчивые стали предназначены для следующих деталей:
 - а) паровых котлов;

- б) болтов и гаек;
 - в) пружин и рессор;
 - г) деталей газовых турбин.
8. Основной характеристикой магнитотвердых сплавов является:
- а) большая коэрцитивная сила;
 - б) малая коэрцитивная сила;
 - в) большая магнитная проницаемость;
 - г) малая магнитная проницаемость.
9. Основной характеристикой магнитомягких сплавов является:
- а) большая коэрцитивная сила;
 - б) малая коэрцитивная сила;
 - в) большая магнитная проницаемость;
 - г) малая магнитная проницаемость.
10. Сплавы с особыми тепловыми свойствами обладают:
- а) высоким электросопротивлением;
 - б) не изменяющейся с температурой упругостью;
 - в) высокой пластичностью;
 - г) с нулевым коэффициентом линейного расширения при повышении температуры.

ГЛАВА 9. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ И МАТЕРИАЛЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приступая к изучению этой темы, разберитесь, какие требования предъявляются к инструментальным материалам в целом и непосредственно для режущих, измерительных, слесарных инструментов и для штампов холодного, горячего деформирования. Наряду с углеродистыми и легированными инструментальными сталями уделите должное внимание таким инструментальным материалам, как твердые сплавы, минералокерамика и синтетические алмазы. Особое внимание обратите на маркировку, свойства и технологию изготовления металлокерамических твердых сплавов и синтетических алмазов в качестве режущих инструментов, так как они являются превосходными заменителями дорогостоящих легированных быстрорежущих сталей типа P18, P12, P9 и др. Из-за дефицитности вольфрама использование этих сталей существенно снизилось.

9.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Инструментальные стали и сплавы должны обладать:

- а) высокой твердостью. От твердости зависит устойчивость формы и размеров инструментов при работе;
- б) высокой прочностью, обеспечивающей стойкость инструментов;
- в) износоустойчивостью, зависящей от состояния и качества (твердости и теплостойкости) стали;
- г) красностойкостью (теплостойкостью, устойчивостью против отпуска), характеризующей способность стали сохранять высокие твердость, прочность и износостойкость при нагреве. Это одно из важнейших свойств, характеризующих качество инструментальных сталей;
- д) прокаливаемостью, влияющей на стойкость инструмента и определяющей его технологические свойства.

Одновременно инструментальные стали должны обладать следующими технологическими свойствами: обрабатываемостью резанием и давлением, закаливаемостью, устойчивостью против образования трещин при закалке, устойчивостью против обезуглероживания, способностью подвергаться шлифованию.

9.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

При выборе сталей для инструментов проводят их классификацию по двум основным признакам: свойствам и назначению. За основное *свойство* при этом принята теплостойкость стали, так как она определяет природу упрочнения стали при термообработке и во многих случаях условия использования стали. Теплостойкость характеризует температура нагрева, при которой сталь после закалки начинает интенсивно терять свою твердость, а следовательно, и износостойкость.

По теплостойкости различают три группы инструментальных сталей: нетеплостойкие, полутеплостойкие и теплостойкие.

Нетеплостойкими являются углеродистые и легированные стали с нагревом до 200 °С; полутеплостойкие до 300–500 °С и теплостойкие до 600–625 °С.

Следующим признаком классификации является значение твердости и вязкости. Стали высокой твердости имеют малую вязкость, и поэтому для инструмента, подвергаемого ударным нагрузкам, при-

менять их не стоит. По твердости инструментальные стали подразделяются на: а) стали высокой твердости и износостойкости и б) стали повышенной вязкости.

Важной характеристикой является и прокаливаемость. Низкую прокаливаемость имеют углеродистые стали и легированные вольфрамом. Их критический диаметр составляет 10–25 мм. Повышенную 50–80 мм и высокую 80–100 мм прокаливаемость имеют легированные стали. По назначению инструментальные стали подразделяют:

- 1) стали для режущего инструмента;
- 2) штамповые стали для холодного деформирования;
- 3) штамповые стали для горячего деформирования;
- 4) стали для измерительных инструментов.

В особую группу инструментальных материалов входят твердые сплавы, минералокерамика и алмазы.

9.3. УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Углеродистые инструментальные стали содержат от 0,7 до 1,3% углерода. Такие стали подразделяются на качественные и высококачественные.

Инструментальные качественные стали изготавливают следующих марок: У7, У8, У9, У10, У11, У12 и У13. Число в обозначении марки указывает на среднее содержание углерода в десятых долях процента. К марке инструментальных высококачественных сталей добавляется буква А. Например, У7А, У8А, У9А У13А. Эти стали содержат меньше таких вредных примесей, как сера, фосфор, азот, чем качественные.

Углеродистые инструментальные стали предназначены для изготовления разнообразных слесарных инструментов, подвергаемых термической обработке. Из сталей У7, У7А, У8, У8А изготавливают зубила, молотки, ножницы по металлу, кернеры, чертилки. Из сталей У12, У12А, У13, У13А изготавливают инструменты, обладающие высокой твердостью: ножовочные полотна, напильники, шаберы.

Легированные инструментальные стали имеют преимущества перед углеродистыми в том плане, что они обладают более высокими режущими свойствами. Основные легирующие элементы в этих сталях – хром, ванадий, марганец, кремний. Наиболее распространены стали марок Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ. Из этих сталей изготавливают сверла, фрезы, метчики, плашки.

9.4. СТАЛИ ДЛЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Режущие инструменты изготавливают из нетеплостойких (углеродистых и малолегированных) или из теплостойких высоколегированных (быстрорежущих) сталей. В качестве нетеплостойких сталей используются марки У11А, У12А, Х, ХВСТ (для напильников, метчиков, разверток), У7А, 7ХФ, 6ХС (для слесарных зубил).

Быстрорежущие стали предназначены для изготовления режущего инструмента, работающего при высоких скоростях резания. Такая сталь должна обладать высокой горячей твердостью и красностойкостью. Красностойкость создается легированием стали карбидообразующими элементами, такими как вольфрам, молибден, хром, ванадий. Эти элементы связывают углерод в специальные карбиды. Наиболее распространенной быстрорежущей сталью является Р18, а также сталь Р6М5. Все быстрорежущие стали обозначаются буквой Р (рапид-скорость), а цифра показывает содержание легирующего элемента вольфрама (табл. 5).

Таблица 5

Состав некоторых быстрорежущих сталей, %

Марка стали	С	Cr	W	V	Mo	C ₀
Р18	0,7–0,8	3,8–4,4	17–18,5	1,0–1,4	1,0	–
Р12	0,8–0,9	3Д–3,6	12–13	1,5–1,9	0,5	–
Р9	0,85–0,95	3,5–4,4	8,5–10,0	2,0–2,6	1,0	–
Р6М5	0,80–0,88	3,8–4,4	5,5–6,5	1,7–2,1	5,0–5,5	–
Р9К10	0,9–1,0	3,8–4,4	9,0–10,5	2,0–2,6	1,0	9,5–10,5
Р9М4К8	1,0–1,1	3,0–3,6	8,5–9,5	2,1–2,5	3,8–4,3	7,5–8,5

Из-за дефицитности вольфрама использование стали Р18 в промышленности постепенно снижается. Близкие свойства к стали Р18 имеют стали Р9, Р6М5, Р9К10.

Основными видами режущих инструментов из быстрорежущей стали являются резцы, сверла, фрезы, метчики машинные, ножи для резки бумаги.

9.5. ШТАМПОВЫЕ СТАЛИ

Штамповые стали для штампов холодной штамповки.

Основными требованиями для этих инструментов являются высокая твердость, износостойкость, прочность, сопротивление пластическим деформациям.

Ввиду многочисленных и разнообразных требований, предъявляемых к штампам в зависимости от их назначения, применяют стали различных марок, начиная от простых углеродистых и кончая сложнолегированными. Из углеродистой стали марок У10, У11, У12 изготавливают штампы небольших размеров и простой конфигурации. Для штампов с более тяжелыми условиями работы применяют легированные закаливаемые в масле стали (табл. 6).

Таблица 6

Инструменты, изготавливаемые из углеродистых и легированных сталей

Тип инструмента	Рекомендуемая сталь коллекторов
Стали для штампов объемной штамповки	
Высадочные штампы	У10, У12, X, ХВСГ
Штампы для прессования	X12М, X12Ф, P12, P6М5
Стали для штампов листовой штамповки	
Вытяжные штампы	У10, У12, X, ХГ2ВМ, Х6ВФ
Вырубные штампы	Х6ВФ, P12, 4Х5Ф, X12Ф4М

Штамповые стали для штампов горячего деформирования

Дополнительно к общим требованиям к сталям этой группы требуется:

- 1) высокая устойчивость против образования трещин при многократном нагреве и охлаждении;
- 2) высокая окалиностойкость;
- 3) хорошая теплопроводность;
- 4) высокая прокаливаемость, чтобы обеспечить прочность по всему сечению инструмента (штампа).

Эти свойства могут обеспечить только сложнолегированные штамповые стали. Так, например, для изготовления штампов прессования, выдавливания, прошивки используются стали 2Х8В8М2К8, 4Х5В4ФСМ.

9.6. СТАЛИ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Основными требованиями, предъявляемыми к материалам для измерительных инструментов, являются высокая твердость, износостойкость и стабильность в размерах в течение длительного срока эксплуатации. Наиболее трудно обеспечить стабильность размеров. Это объясняется тем, что со временем сталь претерпевает старение. Старение может вызвать деформацию, уменьшение или увеличение объемов и размеров измерительных инструментов.

Для изготовления измерительных инструментов применяются стали марок X, XГ, X9, X12ФМ, У8-У12. Высокоуглеродистые стали подвергаются закалке и очень длительному низкому отпуску.

9.7. ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ

В качестве материалов для режущих инструментов, штампов используются твердые сплавы, которые состоят из твердых карбидов металлов и связующих металлов. Они изготавливаются методами порошковой металлургии. Использование твердых сплавов дает возможность вести обработки металлов со сверхвысокими скоростями резания до 1000–2000 м/мин. Эти сплавы обладают очень высокой твердостью (86–92 HRA), износостойкостью и красностойкостью до 1000 °С. Основу твердых сплавов составляют карбиды тугоплавких металлов, таких как WC , TiC , TaC , CrC , NbC , VC и др., которые имеют высокие температуры плавления, превышающие температуры плавления исходных металлов. Например, температура плавления титана – 1660 °С, а карбида титана – 3140 °С, тантала – 2850 °С, карбида тантала – 3880 °С и т.д.

Основными твердыми сплавами являются три группы: ВК ($WC + Co$), ТК ($WC + TiC + Co$) и ТТК ($WC + TiC + TaC + Co$). Наиболее распространенными сплавами группы ВК являются сплавы ВК6, ВК8, ВК10, ВК15, ВК20, где число показывает содержание Co в % (остальное – WC). Сплавы группы ТК имеют марки Т15К6, Т30К6, где первое число показывает содержание TiC – 15%, второе – Co 6%, остальное WC – 79%. Титанотанталовольфрамовая группа имеет марки ТТ7К12, ТТ10К8, содержащие $(TiC + TaC) = 7\%$, Co – 12%, остальное – 81% WC и соответственно $(TiC + TaC) = 10\%$, Co – 8%, остальное WC – 82%.

Металлокерамические вольфрамовые твердые сплавы применяются для изготовления режущего инструмента для обработки чугуна, бронзы и неметаллических материалов. Из металлокерамических титановольфрамовых твердых сплавов изготавливают режущий инс-

трумент для обработки сталей. Твердые сплавы нашли применение для изготовления волоочильных фильер, штампов, пресс-форм.

Твердые сплавы марок ТТ7К12 и ТТ10К8 используют для изготовления режущих инструментов для черновой и получистовой обработки труднообрабатываемых материалов.

Наряду с металлокерамическими твердыми сплавами применяют и литые твердые сплавы под названием стеллиты и сормаиты.

Стеллиты – это сплавы на *Co-Cr*-основе с *W*, использующиеся для наплавки на инструменты (подвергающихся износу), благодаря чему их стойкость значительно увеличивается. При изготовлении режущих инструментов стеллиты используют в виде пластинок или вставных ножей. Литые сплавы на *Fe-Cr*-основе с *Mn* и *Ni* носят название *сормаитов*. Сормаиты обладают меньшей твердостью и красностойкостью, чем стеллиты (красностойкость стеллитов составляет 700–800 °С, а сормаитов 500–600 °С).

9.8. МИНЕРАЛОКЕРАМИКА И АЛМАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В отличие от металлокерамических, минералокерамические материалы не содержат дорогостоящих вольфрама, титана, кобальта, но обладают высокой твердостью и красностойкостью. Основой минералокерамики является окись алюминия Al_2O_3 , подвергнутая спеканию при 1750 °С. Из минералокерамики изготавливают пластинки, используемые в качестве заменителя быстрорежущей стали при чистовом и получистовом точении чугуна и стали. Лучшей маркой минералокерамики является ЦМ-332 (HRA-91–93, красностойкость 1200 °С).

Недостатком минералокерамики является ее большая хрупкость. Для повышения эксплуатационных характеристик минералокерамики в нее добавляют вольфрам, молибден, бор, титан, никель и другие металлы. Такие материалы называются *керметами* и используются для обработки труднообрабатываемых сплавов.

В промышленности нашли применение алмазосодержащие инструменты, использующие естественные (А) и искусственные (синтетические) алмазы (АС).

Алмаз – минерал, представляющий собой чистый углерод. Он встречается в виде кристаллов различной формы. Алмазы считаются самыми твердыми минералами, имеют высокую красностойкость и износостойкость, устойчивы до 800 °С, когда наступает обугливание. Недостатком алмазов является их повышенная хрупкость. Алмазные порошки используют для шлифования, полирования, кристаллы алмазов – для оснащения режущего инструмента (резцов, сверл), а так-

же приборов для измерения твердости и микротвердости. Масса кристаллов, идущих на оснащение инструментов и приборов, составляет 0,2–1,5 карата (карат равен 0,2 грамма). При использовании инструментов, оснащенных алмазами, резко повышается точность размеров и чистота поверхности. Синтетические алмазы получают в специальных установках под давлением свыше 100 000 атмосфер при температуре 2500 °С и более. Каждый карат синтетических алмазов, используемый для обработки металлов, дает экономию в 5–10 раз и более превышающую его стоимость. Алмаз, обладая высокой теплопроводностью и низким коэффициентом трения, позволяет вести обработку резцами с высокой скоростью резания (до 700 м/мин). Однако, учитывая высокую хрупкость алмаза, продольная подача и глубина резания при точении должны быть минимальными ($S = 0,01\text{--}0,1$ мм/об и $t = 0,01\text{--}0,3$ мм). Алмазные инструменты в машиностроении можно разделить на две основные группы: инструменты из порошков (круги отрезные, надфили, пасты и порошки алмазные) и инструменты из кристаллов алмазов (резцы, стеклорезы, волокни). Наряду с алмазами в последнее время находят применение новые перспективные материалы, такие как кубический нитрид бора (баразон, эльбор), гексагонит, славутит и др. Твердость эльбора близка к твердости алмаза.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Красностойкость (теплостойкость).

Прокаливаемость.

Нетеплостойкие, полутеплостойкие и теплостойкие стали.

Быстрорежущая сталь (Р – рапид-скорость).

Окалиностойкость.

Твердые сплавы.

Порошковая металлургия.

Металлокерамические твердые сплавы.

Литые твердые сплавы стеллиты и сормайтты.

Минералокерамика.

Керметы.

Синтетические (искусственные) алмазы.

Карат.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Как влияет повышение содержания углерода на механические свойства углеродистой инструментальной стали?

2. Приведите примеры использования инструментов из углеродистой инструментальной стали в учебном процессе по технологии в средней школе.
3. В чем заключается преимущество легированных инструментальных сталей перед углеродистыми? Приведите конкретный пример.
4. В чем отличие в свойствах сталей при изготовлении штампов для холодной и горячей обработки металлов и сплавов давлением?
5. Назовите основные свойства твердых сплавов, за счет чего они получены.
6. Назовите технологию получения твердых сплавов и области их применения.
7. Укажите состав материалов особо высокой твердости и области их применения.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Какое из перечисленных ниже требований к инструментальным сталям для режущих инструментов является определяющим:
 - а) прокаливаемость;
 - б) твердость;
 - в) красностойкость;
 - г) износостойкость.
2. Назовите из нижеперечисленных свойств инструментальных материалов технологические свойства:
 - а) твердость;
 - б) красностойкость;
 - в) закаливаемость;
 - г) устойчивость против образования трещин при закалке;
 - д) износоустойчивость.
3. Среди проведенных ниже марок инструментальных сталей назовите нетеплостойкие:
 - а) У11А;
 - б) 6ХС;
 - в) Р6М5;
 - г) Р18.
4. Инструментальные стали должны сохранять высокую твердость и износоустойчивость при нагреве до 200–250 °С. К какой стали они относятся?
 - а) теплостойкой;

- б) нетеплостойкой;
- в) полутеплостойкой.

5. Красностойкость в быстрорежущих сталях создается легированием карбидообразующими элементами. Назовите основной легирующий элемент стали марки P18:

- а) титан;
- б) вольфрам;
- в) тантал;
- г) кобальт.

6. Назовите основные требования сталей для штампов горячего деформирования:

- а) устойчивость к трещинам при нагревании и охлаждении;
- б) высокая твердость;
- в) износостойкость;
- г) окалиностойкость;
- д) теплопроводность.

7. Основу твердых сплавов составляют:

- а) железо;
- б) углерод;
- в) карбиды тугоплавких металлов;
- г) молибден.

8. Расположите красностойкость по возрастающей линии следующие инструментальные стали и сплавы:

- а) быстрорежущая сталь P18;
- б) углеродистая сталь;
- в) легированная сталь;
- г) твердые сплавы;
- д) минералокерамика.

9. Среди перечисленных инструментальных материалов назовите материал с наибольшей красностойкостью:

- а) твердые сплавы;
- б) синтетические алмазы;
- в) минералокерамика;
- г) быстрорежущие стали.

10. Для обработки каких материалов применяются режущие инструменты из вольфрамо-кобальтовых твердых сплавов?

- а) чугуна;
- б) сталей;
- в) бронзы;
- г) неметаллических материалов.

ГЛАВА 10. ЧУГУНЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Диаграмма «железо – графит» незначительно графически отличается от диаграммы «железо – цементит». Количественные изменения в положении линий диаграммы касаются смещения эвтектической и эвтектоидной линий и точек S' , E' . Качественное изменение заключается в процессе графитизации и замене во всех случаях цементита графитом.

В серых чугунах необходимо уяснить влияние кремния и марганца на свойства. Необходимо разобраться в наличии металлической основы чугунов, их свойствах и назначении. Изучить маркировку чугунов по старому и новому ГОСТу, разобраться в технологиях получения ковкого, высокопрочного и легированного чугунов.

10.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧУГУНОВ

Чугун – широко применяемый в промышленности конструкционный материал. Основные отрасли его применения – это сельхозмашиностроение, автомобилестроение, станкостроение.

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом и такими элементами, как кремний, марганец, сера и фосфор. Качественно чугуны ничем не отличаются от углеродистых сталей, но имеют количественное отличие в химическом составе.

Конструкционный чугун для производства отливок в машиностроении имеет следующий химический состав, %: 2,14–4,50 углерода, 1,5–3,5 кремния, 1,0–1,5 марганца, не более 0,3% фосфора, не более 0,15% серы, остальное – железо. Широкое распространение чугуна в промышленности обусловлено оптимальным сочетанием различных свойств: технологических (литейных, обрабатываемости резанием), эксплуатационных (износостойкости, сопротивляться сжатию, способностью поглощать колебания) и технико-экономических показателей. Из общего количества выплавленного в металлургическом производстве около 20% чугуна используется для изготовления литых заготовок деталей (литья). Остальные 80% в виде передельных и специальных чугунов используются для последующей переработки в сталь. Таким образом, чугун имеет существенные отличия от основного конструкционного материала – стали.

Чугун отличается по составу – более высоким содержанием углерода и других постоянных примесей, по технологическим свойствам – лучшими литейными качествами (жидкотекучестью, усадкой), не поддается ковке и значительно дешевле стали. Еще одно важное отличие чугуна (кроме белого) от стали – это наличие в его структуре графитовых включений.

10.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧУГУНОВ

Углерод в чугуне может находиться в растворенном и связанном состоянии (в виде химического соединения – цементита Fe_3C), а также в свободном состоянии – в виде графита. При этом форма графита и структура металлической основы определяют виды чугуна и их свойства.

Классификация чугуна производится по следующим признакам:

1. *По состоянию углерода* – свободный или связанный. По этому принципу различают белый чугун, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита, и половинчатый чугун, в котором основное количество углерода более 0,8% находится в виде цементита, а остальное в свободном в виде графита.

2. *По форме включений графита* подразделяется на *серый чугун*, в котором весь углерод находится в свободном состоянии в виде пластинчатого графита; *отбеленный чугун*, в котором основная масса металла имеет структуру серого чугуна, а поверхностный слой – белого; *ковкий чугун*, полученный из белого путем отжига, имеет хлопьевидную форму графита. *Высокопрочный чугун* имеет шаровидную форму графита.

Виды включений графита в сером, ковком и высокопрочном чугунах представлены на рис. 27.



Рис. 27. Классификация чугуна по форме графитных включений (схема)

10.3. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНА

Микроструктура чугуна состоит из металлической основы (матрицы) и графитных включений. Свойства чугуна определяются свойствами металлической основы и формой графита. Чугуны состоят из следующих структурных составляющих: графит (Г), перлит (П), феррит (Ф), ледебурит (Л).

По микроструктуре различают:

а) белый чугун (цементит или цементит + Г);

б) серый ферритный чугун ($\Phi + \Gamma_{\text{пластинчатый}}$);

в) серый ферритно-перлитный чугун ($\Phi + \Pi + \Gamma_{\text{пластинчатый}}$);

г) серый перлитный чугун ($\Pi + \Gamma_{\text{пластинчатый}}$).

Аналогичная классификация микроструктур будет и для ковкого чугуна и высокопрочного. Только для ковкого чугуна графит будет хлопьевидной формы, для высокопрочного – шаровидной. Такая классификация представлена на рис. 28.



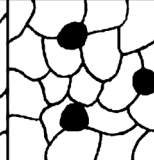





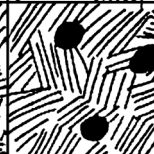
Металлическая основа	Форма графитных включений		
	пластинчатая	хлопьевидная	шаровидная
Феррит			
Феррит + Перлит			
Перлит			

Рис. 28. Классификация чугуна по структуре металлической основы и форме графитных включений (схемы структур)

Углерод в составе чугуна (в металлической основе) имеет низкую прочность. Места его залегания можно считать нарушениями сплошности металла. По мере округления графитных включений их отрицательная роль снижается и механические свойства чугуна растут. Например, серый чугун с пластинчатой формой графита имеет низкие характеристики механических свойств, так как пластинки графита играют роль концентраторов напряжений в отливке. Однако серый чугун имеет и преимущества благодаря смазывающему действию графита, он обладает хорошими антифрикционными свойствами.

Серый чугун обладает хорошей жидкотекучестью, малой усадкой, хорошо гасит вибрации и резонансные колебания.

Высокопрочный чугун благодаря компактной форме графита имеет повышенные механические свойства.

Кремний способствует графитизации чугуна (графит будет находиться не в связанном, а в свободном состоянии).

Марганец нейтрализует вредное влияние серы, образуя с ней тугоплавкое соединение MnS .

Фосфор повышает литейные свойства чугуна.

Сера является вредной примесью, ухудшает литейные свойства, снижает температуру краснеломкости чугуна, повышает склонность к трещинообразованию.

10.4. СЕРЫЙ ЧУГУН, МАРКИРОВКА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Серый чугун в изломе имеет темно-серый цвет вследствие того, что весь углерод или часть его выделяется в виде графита. В зависимости от распада цементита различают ферритный, феррито-перлитный и перлитный серые чугуны. Свойства серого чугуна зависят от структуры металлической основы и от формы, размера и количества графитных включений. Чем меньше в металлической основе феррита, тем выше прочность чугуна. Лучшими механическими свойствами обладает чугун со структурой перлита, содержащий графит в виде мелких чешуек.

Согласно ГОСТ серый чугун маркируют буквами «С» – серый и «Ч» – чугун. Число после буквенного обозначения показывает среднее значение предела прочности при растяжении. ГОСТ предусматривает следующие марки серых чугунов: СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ21, СЧ24, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45.

В литературе встречается маркировка серых чугунов по старому ГОСТу, где кроме предела прочности на растяжение указан и предел прочности при изгибе, например, СЧ15-32, где 32 – это предел прочности при изгибе, кг/мм².

Серые чугуны нашли применение в станкостроении (станины, суппорты, бабки), автотракторостроении (блоки цилиндров, поршневые кольца, тормозные барабаны), в химическом машиностроении, при производстве компрессоров, насосов, воздуходувок.

10.5. ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН, МАРКИРОВКА, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Отличительной особенностью высокопрочного чугуна являются его высокие механические свойства, обусловленные наличием в структуре шаровидного графита. Получение шаровидного графита достигается модифицированием расплава серого чугуна присадками, содержащими магний, церий и другие РЗМ. Высокопрочные группы в соответствии с ГОСТ имеют следующие марки: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100. Цифра, следующая за цифрами ВЧ, означает предел прочности на разрыв в кг/мм². По старому ГОСТу в маркировке добавлялась цифра относительного удлинения в процентах.

Высокопрочный чугун широко используют в автомобильной промышленности (шатуны, шестерни главной передачи, ступицы, коленчатые валы), в тяжелом машиностроении, в сельхозмашиностроении (ступицы колес, рычаги и педали, шкивы, стойки корпусов плугов).

Высокопрочный чугун является наиболее перспективным литейным сплавом, с помощью которого можно успешно решать проблему снижения массы конструкции при сохранении их высокой надежности и долговечности.

10.6. БЕЛЫЙ И КОВКИЙ ЧУГУНЫ. МАРКИРОВКА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Излом белого чугуна имеет матовый цвет. Наличие большого количества цементита придает белому чугуну высокую твердость, хрупкость и очень плохую обрабатываемость режущим инструментом. Поэтому применение белого чугуна как конструкционного материала весьма ограничено. Из белого чугуна делают отливки деталей с после-

дующим отжигом на ковкий чугун. Белый чугун как конструкционный металл не маркируется. Ковкий чугун имеет в структуре хлопьевидную форму графита и в связи с этим более высокие механические свойства, прежде всего, пластичность. По свойствам он занимает промежуточное положение между сталью и серым чугуном. Ковкие чугуны маркируются по пределу прочности на разрыв и относительному удлинению. ГОСТ предусматривает следующие марки ковких чугунов: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2 и КЧ80-1,5, где буквы КЧ – ковкий чугун, первые цифры указывают предел прочности на разрыв в кг/мм², последние – относительное удлинение в процентах. Для получения ковкого чугуна необходимо белый чугун подвергнуть термической обработке – отжигу. Нагрев производится до температуры 950–1000 °С. При этой температуре происходит графитизация цементита, затем печь выключают и детали в ней охлаждаются до 740 °С и снова проводится при этой температуре выдержка с последующим охлаждением.

Металлическая основа ковких чугунов может быть ферритной, перлитной или феррито-перлитной. Ниже представлен график режима отжига белого чугуна для получения ковкого (рис. 29).

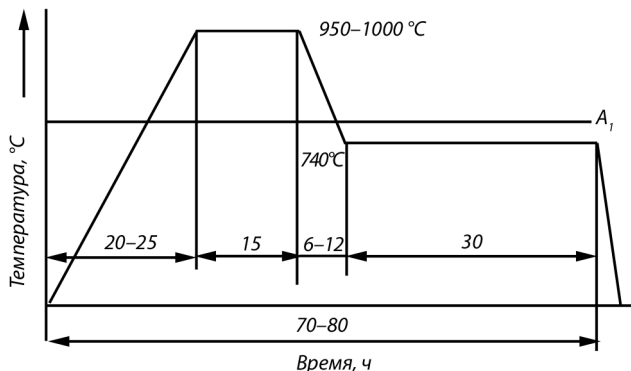


Рис. 29. График режима отжига белого чугуна для получения ковкого

Ковкие чугуны находят применение в сельхозмашиностроении (шестерни, звенья цепей, звездочки), в авто- и тракторостроении (задние мосты, ступицы), вагоно- и судостроении.

10.7. ЛЕГИРОВАННЫЕ ЧУГУНЫ

В зависимости от назначения различают износостойкие, антифрикционные, жаростойкие, коррозионно-стойкие легированные чугуны.

Износостойкие чугуны обозначают буквами ИЧ и они маркируются по содержанию легирующих элементов аналогично сталям. Например, чугун марки ИЧХ4Г7Д содержит 4% хрома, 7% марганца, 1% меди. Износостойкие чугуны применяют для изготовления лопаток дробебетных турбин, шаров для мельниц, деталей пневмотранспорта.

Антифрикционные чугуны имеют в маркировке букву А. Они изготавливаются на основе серых, ковких и высокопрочных чугунов. Серые маркируются АСЧ-1, высокопрочные – АВЧ-1 с легирующими добавками хрома, никеля, титана, меди.

Жаростойкие чугуны, стойкие к окалинообразованию, в маркировке имеют букву Ж, например, ЖЧХ-0,8, ЖЧХ-15, ЖЧХ-2,5.

Жаростойкие чугуны предназначены для изготовления деталей колосниковых решеток и деталей для различных печей (мартеновские, доменные, различные котлы). Эти чугуны могут быть легированы алюминием, кремнием, никелем, хромом.

Коррозионно-стойкие чугуны легируют хромом, никелем, медью, молибденом и кремнием. Они стойки в щелочах, растворах соды, морской воде. Наиболее распространенными являются чугуны марок ЧХ1, ЧНХТ, ЧНХМД, ЧНГХ.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Литейный чугун.
Специальный чугун (ферросплав).
Белый чугун.
Серый чугун.
Ковкий чугун.
Легированный чугун.
Ферритный чугун.
Феррито-перлитный чугун.
Перлитный чугун.
Высокопрочный чугун.
Половинчатый чугун.
Пластичная форма графита.
Шаровидная форма графита.

Хлопьевидная форма графита.

Химическое соединение железа с углеродом (цементит).

Отбеленный чугун.

Антифрикционный чугун.

Жаростойкий чугун.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. В чем отличие конструкционного чугуна от стали?
2. По каким принципам производится классификация чугунов?
3. Назовите структуры чугунов.
4. Влияние химического состава чугуна на его свойства.
5. Маркировка серого, ковкого, высокопрочного чугунов.
6. В чем сущность технологии получения ковкого чугуна?
7. Технология получения высокопрочного чугуна.
8. Назовите основные виды легированных чугунов и их назначение.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Назовите основное отличие чугуна от углеродистой стали:
 - а) в различном химическом составе;
 - б) в количественных пределах химических составляющих;
 - в) в прочностных свойствах;
 - г) в наличии свободного графита.
2. Какое основное назначение специальных чугунов (ферросплавов)?
 - а) для получения литых заготовок;
 - б) для выплавки стали требуемого состава и качества;
 - в) для получения белого чугуна;
 - г) для получения высокопрочного чугуна.
3. Перепелный чугун предназначен для:
 - а) выплавки стали;
 - б) выплавки легированного чугуна;
 - в) получения литых заготовок.
4. В сером чугуне углерод может находиться:
 - а) в свободном состоянии в виде графита;
 - б) в виде графита и цементита;
 - в) в виде цементита;
 - г) в виде перлита.
5. Какую форму графита имеет отбеленный чугун?
 - а) пластинчатую;

- б) в виде химического соединения Fe_3C ;
 - в) шаровидную;
 - г) пластинчатую и в виде химического соединения.
6. Как пластинчатая форма графита в сером чугуна влияет на прочность?
- а) повышает;
 - б) понижает;
 - в) не влияет.
7. Почему чугун называется ковким?
- а) его можно ковать;
 - б) он пластичен;
 - в) его можно прокатывать.
8. Какой чугун целесообразно использовать для заднего моста автомобиля, испытывающего динамические нагрузки?
- а) белый;
 - б) серый;
 - в) ковкий;
 - г) высокопрочный.
9. Как получают высокопрочный чугун?
- а) легированием;
 - б) модифицированием;
 - в) термической обработкой;
 - г) обработкой давлением.
10. Какие чугуны подвергаются легированию, чтобы получить антифрикционные свойства?
- а) серый;
 - б) ковкий;
 - в) высокопрочный;
 - г) белый.

ГЛАВА 11. ЛЕГКИЕ ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Приступая к изучению этой темы, необходимо выяснить, какими отличительными свойствами характеризуются такие металлы, как алюминий, магний, титан. Каждый из них имеет одно важное

свойство – это плотность, что определяет их широкое применение в современных технологиях. Кроме свойства плотности уделите внимание изучению и других физических, химических и механических свойств. Изучая маркировку, обратите внимание на различие в маркировке литейных и деформируемых сплавов. Изучив комплекс свойств этих металлов и сплавов, вы должны четко представлять области их применения. Необходимо также ознакомиться с основными видами и составом припоев и других легкоплавких сплавов.

11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Легкими металлами и сплавами, в отличие от стали, чугуна и других металлических материалов, принято считать все металлы и сплавы, плотность которых составляет примерно половину плотности железа.

К этим металлам условно можно причислить алюминий, магний, титан, бериллий, а также литий, натрий, калий.

Литий, натрий, калий были бы идеальными конструкционными материалами, если бы не их чрезвычайно высокая химическая активность с кислородом. Бериллий, плотность которого $1,84 \text{ г/см}^3$, обладает высокой прочностью и другими важными техническими свойствами. Однако сплавы бериллия весьма дорогостоящие и поэтому находят применение только для специальных целей.

В качестве наиболее применяемых конструкционных материалов во многих отраслях промышленности являются алюминий, магний, титан, а также сплавы на их основе.

Легкоплавкие сплавы характеризуются относительно низкой температурой плавления в сравнении с такими металлами, как алюминий и магний.

11.2. АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Алюминий – легкий металл серебристо-белого цвета, его плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, температура плавления 660°C , обладает хорошей тепло- и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью и пластичностью. Алюминий легко окисляется на воздухе, образуя на поверхности плотную пленку окисла Al_2O_3 , предохраняющую его от дальнейшей коррозии в атмосферных условиях, воде и других средах. Постоянные примеси алюминия – железо, кремний, медь, цинк,

титан. В зависимости от содержания примесей первичный алюминий бывает особой чистоты А999 (0,01 примесей), высокой чистоты А995, А99, А97, А795 (0,005–0,05% примесей) и технической чистоты А85, А8, А7 (0,15–1,0% примесей).

Механические свойства алюминия невысокие – предел прочности на разрыв порядка 8–10 кг/мм², удлинение при разрыве свыше 40%, сужение – 80–95%.

Широкое применение алюминия и его сплавов определяется семью отличительными свойствами:

- 1) малая плотность алюминиевой детали – она составляет лишь треть массы стальной детали таких же размеров;
- 2) устойчив к коррозии на воздухе и в среде многих газов и жидкостей;
- 3) обладает высокой отражательной способностью и благодаря своему блеску имеет декоративный вид;
- 4) алюминиевые сплавы по прочности сравнимы с обыкновенными сталями;
- 5) отличается относительно высокой упругостью и не становится хрупким при низких температурах;
- 6) хорошо поддается обработке резанием и давлением – его можно раскатать в фольгу толщиной 0,01 мм и меньше;
- 7) проводит электрический ток и тепло лучше, чем все другие обычные металлы (за исключением меди).

Алюминий нашел широкое применение в электротехнике, химической промышленности, а также для получения различных по значению алюминиевых сплавов, которые используются в строительстве и архитектуре, в автомобилестроении, самолетостроении, в производстве товаров широкого потребления.

Алюминий и его сплавы способны удовлетворить многочисленные потребности современной техники, позволяют снижать вес самых разнообразных конструкций.

Сплавы алюминия подразделяются по технологии изготовления на деформируемые, литейные и спеченные; по способности к термической обработке – на упрочняемые и неупрочняемые.

Деформируемые сплавы. К неупрочняемым термической обработкой относятся сплавы алюминия с марганцем и алюминия с магнием. Эти сплавы обладают высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо штампуются и свариваются, но имеют невысокую прочность. Из них изготавливают сварные резервуары для жидкостей и газов, детали железнодорожных вагонов.

К упрочняемым сплавам относятся дюралюмины. К ним относятся сплавы алюминия с медью, магнием, небольшими добавками марганца, которые маркируются буквой Д с последующей цифрой Д1, Д16, Д18.

Эти марки имеют различные химические составы, механические и технологические свойства. Так, сплав Д1 имеет состав 3,8–4,9% меди, 0,4–0,8% магния, 0,3–0,9% марганца; Д16 – 3,8–4,9% меди, 1,2–1,8% магния, 0,3–0,9% марганца; Д18 – 2,2–3,0% меди, 0,2–0,5% магния.

Дюралюмины Д1, Д16, Д18 характеризуются высокой прочностью, достаточной твердостью и вязкостью. Для упрочнения сплавов применяют закалку с последующим охлаждением в воде. Закаленные дюралюмины подвергаются затем старению, что способствует увеличению их коррозионной стойкости.

Деформируемые алюминиевые сплавы являются основными конструкционными материалами в авиа- и автостроении, гражданском строительстве, в учебном процессе по технологии и других областях машиностроения. Сплав Д18 – один из основных заклепочных материалов.

Литейные сплавы. Для литейных алюминиевых сплавов наиболее широко распространена классификация по химическому составу. Эти сплавы чаще всего содержат кремний, медь, магний. Сплавы алюминия с кремнием, называемые силуминами, имеют хорошую жидкотекучесть, малую усадку, низкую температуру литья и значительно прочнее чистого алюминия. Распространенными сплавами являются АЛ2 (10–13% кремния) АЛ4 (8–10,5% кремния, 0,17–30% магния) и АЛ9 (6–8% кремния, 0,2–0,4% магния).

Механические свойства сплавов алюминия с медью и магнием выше, чем у силуминов, однако литейные свойства значительно ниже. Большинство литейных сплавов подвергаются термической обработке (закалка, отпуск или отжиг).

Спеченные сплавы. Материалы из спеченных алюминиевых порошков (САП) состоят из порошка алюминия и его оксида Al_2O_3 . Порошки этих исходных компонентов получают методами порошковой металлургии. Технологический процесс получения деталей из САП состоит из операций изготовления заготовки и последующей механической обработки. Заготовку получают путем прессования порошков в специальной пресс-форме при большом давлении и последующим спеканием при 590–620 °С. Спеченные алюминиевые порошки применяют для изготовления деталей повышенной прочности и коррозионной стойкости, эксплуатируемых при рабочих температурах до 500 °С.

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) получают из порошков алюминия с небольшим содержанием Al_2O_3 , легированных железом, никелем, хромом, марганцем, медью.

САС характеризуются высокой прочностью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью. Преимущество САС по сравнению с литейными аналогичного состава состоит в отсутствии литейных дефектов и мелкозернистой структуры с равномерным распределением компонентов.

11.3. МАГНИЙ И ЕГО СВОЙСТВА

Магний представляет собой металл серебристого цвета, плотностью $1,74 \text{ г/см}^3$, температура плавления – 651°C . При температуре, несколько превышающей температуру плавления, легко воспламеняется и горит ярко-белым пламенем. Чистый магний не используют в качестве конструкционного материала, потому что его прочностные свойства невысоки. Прочность на растяжение в литом состоянии составляет $8\text{--}12 \text{ кг/мм}^2$, а относительное удлинение при разрыве $4\text{--}6\%$. Коррозионная стойкость магния во влажных средах крайне низка. Поэтому чистый магний применяется в качестве легирующих добавок к сталям и чугунам, в пиротехнике, в ракетной технике при создании твердых топлив.

В качестве конструкционных материалов используются сплавы магния. Сплавы на основе магния классифицируются по технологии переработки на литейные и деформируемые, а по отношению к термической обработке – на упрочняемые и неупрочняемые. Маркировка магниевых сплавов состоит из буквы, обозначающей соответственно сплав (М), и буквы, указывающей способ технологии переработки (А – для деформируемых, Л – для литейных), а также цифры, обозначающей порядковый номер сплава. Примером деформируемого сплава может быть марка МА14 (5–6% цинка, 0,3–0,9% циркония, остальное магний) и литейный сплав МЛ5 (7–9% алюминия, до 0,5% марганца, до 0,8% цинка).

Деформируемые магниевые сплавы применяются для изготовления прутков, труб, листов, а также для штамповок и поковок.

Литейные магниевые сплавы нашли применение для производства фасонных отливок в авиационной и автомобильной промышленности (картеры, колесные диски, фермы шасси самолетов). При этом решающее значение имеет их малая плотность. Сопротивляемость магниевых сплавов коррозии низка, поэтому готовые изделия защи-

пцают от коррозии путем создания защитных пленок (оксидирования) и последующего покрытия лаками, красками. Существенное достоинство магниевых сплавов состоит в том, что они хорошо обрабатываются резанием. При одинаковых скоростях резания магний требует примерно вдвое меньше усилия, чем латунь, и в шесть раз меньше, чем сталь.

11.4. ТИТАН И ЕГО СВОЙСТВА

Титан имеет серебристо-белый цвет, его плотность $4,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1665°C . Механические свойства титана очень сильно зависят от содержания примесей. Чистый титан имеет прочность на растяжение $25\text{--}27 \text{ кг/мм}^2$, относительное удлинение $50\text{--}55\%$. С уменьшением чистоты титана (марки ВТ1-00, ВТ1-0, ВТ1) прочностные свойства повышаются до $30\text{--}35 \text{ кг/мм}^2$, а пластичность падает до $15\text{--}25\%$. Титан обладает весьма высокой коррозионной стойкостью, что в сочетании с низкой плотностью и высокой удельной прочностью предопределило его широкое применение в авиационной, химической промышленности, ракетостроении.

Широкое применение имеют сплавы титана с алюминием, ванадием, молибденом, хромом и др.

Преимуществом титановых сплавов по сравнению с техническим титаном являются более высокие прочность, жаропрочность, жаростойкость при хорошей пластичности.

По технологии изготовления титановые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные. Примером деформируемого сплава может быть ВТ5 (5% алюминия) или ВТ6 (6% алюминия, 4% ванадия), ВТ14 (4% алюминия, 3% молибдена, 1% ванадия).

Литейные сплавы аналогичны по составу некоторым деформируемым сплавам (ВТ5Л, ВТ14Л). Литейные сплавы обладают хорошей жидкотекучестью и плотностью отливок. Но эти сплавы активно поглощают газы и взаимодействуют со всеми формовочными материалами литейной формы. Поэтому плавка и разливка литейных сплавов ведется в защитной атмосфере или в вакууме. Литьем в чугунные или стальные формы получают отливки массой до 500 кг , в оболочковые – более мелкие детали.

Следует отметить, что для узкоспециальных целей разработаны особые сплавы титана. В медицине используют эти сплавы для изготовления протеза тазобедренного сустава человека (сплав титана с

кобальтом). Как показывают оценки, искусственный сустав из этого сплава мог бы безотказно служить до 140 лет.

Учитывая тот фактор, что по запасам в земной коре титан занимает четвертое место после алюминия, железа и магния и, учитывая его превосходные свойства, этот конструкционный материал имеет большое будущее.

11.5. ЛЕГКОПЛАВКИЕ СПЛАВЫ И ПРИПОИ

К таким сплавам относятся сплавы с температурой плавления ниже 230 °С. Их компонентами являются свинец, олово, висмут, индий, ртуть. Некоторые сплавы определенного состава, так называемые эвтектические сплавы, имеют точку (а не интервал) плавления, но она лежит значительно ниже, чем точки плавления металлов, образующих сплавы. Например, сплав из 56,5% висмута и 43,5% свинца плавится при 125 °С, в то время как температура плавления свинца составляет 327 °С, а висмута 271 °С. Если вводить в сплав несколько разных металлов, можно получить еще меньшую температуру плавления. Так, сплав Вуда, содержащий 50% висмута, 25% свинца и по 12,5% олова и кадмия, плавится уже при 68 °С. Такие свойства сплавов позволили использовать их при изготовлении плавких индикаторов и предохранителей в пожарной сигнализации, предохранительных электропробок и вставок. Маркируются легкоплавкие сплавы буквой Л и цифрой, показывающей температуру плавления сплава (она постоянна, поскольку легкоплавкие сплавы являются сплавами эвтектического состава). Сплав Л199 состоит из 91,1% олова и 8,9% цинка, плавится при температуре 199 °С. А сплав, состоящий из олова, свинца, кадмия и индия имеет температуру плавления 47 °С и маркируется Л47; сплав Вуда обозначается Л68.

Легкоплавкие сплавы с добавкой ртути называются амальгамами, имеют температуру плавления ниже 100 °С (сплавы системы «олово – свинец – висмут – ртуть»).

К легкоплавким сплавам относятся оловянно-свинцовые припои, применяемые при паянии.

Паянием называется процесс получения неразъемного соединения различных металлов при помощи расплавленного промежуточного металла, плавящегося при более низкой температуре, чем соединяемые металлы. Промежуточный металл или сплав, применяемый при пайке, называют припоем. Различают два вида припоев в зависи-

мости от температуры плавления – легкоплавкие (мягкие), имеющие температуру плавления до 500 °С, и тугоплавкие (твердые) с температурой плавления 800–900 °С. Мягкие припои обеспечивают герметичность спая, а механические свойства спая весьма низкие (прочность на растяжение составляет порядка 5–7 кг/мм²). Твердые припои имеют высокие механические свойства. В качестве мягких припоев применяют сплавы таких металлов, как олово, свинец, висмут, кадмий. Наиболее легкоплавким сплавом в системе «олово – свинец» является эвтектический, содержащий 61% олова и 39% свинца. Температура плавления такого припоя составляет 183 °С. В производстве его называют третником, стандартное обозначение его ПОС-61 (припой оловянно-свинцовый, содержащий 61% олова и 39% свинца). Припой ПОС-90, ПОС-40, ПО-30, ПОС-61 изготавливаются в виде проволоки, круглых прутков, чушек.

Твердые припои являются сплавами меди и цинка (латуни) или меди, цинка и серебра (серебряные припои). Медно-цинковые припои маркируются ПМЦ-36, ПМЦ-48, ПМЦ-54, где П – обозначение припоя, МЦ – медно-цинковый, а цифра – процент меди. Серебряные припои ПС_р-72, ПС_р-50 содержат соответственно 72% и 50% серебра, остальное медь.

Марки ПС_р-25 и ПС_р-10 содержат 40% меди, 35% цинка, 25% серебра и 50% меди, 40% цинка, 10% серебра соответственно. Серебряные припои обеспечивают высокую прочность, а также коррозионную стойкость паяного шва.

Покрытие поверхностей металлических изделий тонким слоем олова, сплавом олова со свинцом называется лужением, а наносимый слой – полудой. В основном лужение производят для предохранения изделий от коррозии и окисления.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Алюминиевая фольга.

Деформированные сплавы алюминия.

Литейные сплавы алюминия.

Дюралюминий.

Силумины.

Оксид алюминия.

САП и САС.

Защитная атмосфера при плавке.

Оксидирование.

Легкоплавкие сплавы.
Сплав Вуда.
Сплавы амальгамы.
Припои мягкие, твердые.
Серебряные припои.
Лужение.
Полуда.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Назовите основные физико-механические свойства алюминия.
2. Назовите основные области применения алюминия и его сплавов.
3. Укажите состав деформируемого сплава дюралюминий.
4. Как классифицируются алюминиевые сплавы по технологии изготовления?
5. Укажите состав спеченных сплавов САС и САП.
6. Назовите основные свойства титана.
7. Приведите примеры использования титановых и магниевых сплавов в современном машиностроении.
8. О чем говорит название легкоплавкого сплава Вуда?
9. Когда используют мягкие припои, а когда твердые?
10. Что обеспечивают серебряные припои?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Среди перечисленных металлов назовите имеющий наименьшую плотность:
 - а) алюминий;
 - б) титан;
 - в) бериллий;
 - г) магний.
2. Среди перечисленных металлов назовите имеющий наибольшую удельную плотность:
 - а) алюминий;
 - б) магний;
 - в) титан.
3. Какой легирующий элемент входит в состав литейного сплава алюминий-силумин?
 - а) магний;
 - б) титан;

в) кремний.

4. Среди перечисленных металлов назовите металл с наибольшей коррозионной стойкостью:

а) алюминий;

б) магний;

в) титан.

5. Почему чистый магний не используют в качестве конструкционного металла?

а) низкие прочностные свойства;

б) огнеопасность;

в) низкая коррозионная стойкость.

6. Назовите технологию получения деталей из САП и САС:

а) литейное производство;

б) порошковая металлургия;

в) обработка давлением;

г) механическая обработка.

7. Плавку титана и его сплав ведут в печах:

а) дуговых электрических;

б) индукционных;

в) вакуумных электрических;

г) конверторах.

8. Алюминиевые деформированные сплавы типа дюралюминий по прочности сравнимы с:

а) обычными углеродистыми конструкционными сталями;

б) легированными конструкционными сталями;

в) серым чугуном;

г) титановыми сплавами.

9. Назовите состав САП:

а) порошки алюминия;

б) порошки оксида алюминия;

в) порошки алюминия и оксида алюминия;

г) порошки магния.

10. Какие преимущества САС по сравнению с литейными аналогичного состава?

а) идентичны;

б) однородная структура и более высокие механические свойства;

в) более экономичны в изготовлении;

г) прочностные свойства выше.

ГЛАВА 12. ТЯЖЕЛЫЕ ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение следует начать со свойств чистой меди и никеля, затем перейдите к изучению медных сплавов, которые подразделяются на три основные группы: латуни, бронзы и медноникелевые сплавы.

Изучение никелевых сплавов начинайте с классификации на конструкционные, электротехнические, сплавы с особыми физическими и химическими свойствами, жаропрочные и жаростойкие. Познакомьтесь с маркировкой меди, никеля и сплавов на их основе, обратите внимание на специфику областей применения как чистых меди и никеля, так и их сплавов.

При изучении антифрикционных материалов следует ознакомиться с требованиями, предъявляемыми к ним в связи со специфическими условиями их работы, с особенностями их структуры и их физическими, механическими свойствами. Изучите составы, свойства и области применения оловянистых, свинцово-оловянистых, цинковых, алюминиевых и других баббитов.

12.1. МЕДЬ И СПЛАВЫ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Чистая медь обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью и достаточно высокой коррозионной стойкостью. Ценным качеством меди является ее высокая пластичность – свыше 50%.

Медь по своему значению в машиностроении является наиболее ценным техническим материалом. Она хорошо сплавляется с большинством металлов. Медь – металл красновато-розового цвета, температура плавления – 1083 °С, плотность – 8,94 г/см³. По тепло- и электропроводности медь занимает второе место после серебра, но ввиду ее большого практического значения эти свойства меди принято считать эталоном (100%), по отношению к которому оцениваются другие металлы (табл. 7).

Таблица 7

Электро- и теплопроводность некоторых металлов по отношению к меди, %

Свойства	Металл						
	Cu	Ag	Al	Mg	Zn	Ni	Fe
Электропроводность	100	106	62	39	29	25	17
Теплопроводность	100	108	56	41	29	15	17

Медь широко применяется для изготовления проводников электрического тока, кабелей, теплообменников, холодильников, радиаторов. Для изготовления деталей машин чистая медь почти не применяется из-за низкой механической прочности (15–25 кг/мм²). В зависимости от химического состава различают следующие марки технической меди: МОО (99,99% меди), МО (99,95%), М1 (99,9%), М2 (99,7% меди), М3 (99,5%) и М4 (99,0%). Примесями в технической меди являются свинец, висмут, сурьма, водород, кислород, азот и др.

Высокочистая медь электроннолучевой плавки характеризуется более высокой электропроводностью и теплопроводностью и обеспечивает большую стабильность и долговечность в работе.

Высокая пластичность меди в горячем и холодном состояниях позволяет изготавливать из нее различные деформируемые полуфабрикаты – листы, ленты, прутки, трубы, проволоку.

Прочность и твердость меди можно значительно повысить путем холодной деформации: σ_v до 40–50 кг/мм², НВ до 100 кг/мм². Свойства деформированной меди можно восстановить путем отжига. Механические свойства меди, также как и других металлов, существенно понижаются с повышением температуры.

Чистая медь устойчива против атмосферной коррозии вследствие образования на ее поверхности тонкой защитной пленки, состоящей из $CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$. Пресная вода и конденсат пара практически не действуют на медь.

Чистота меди оказывает большое влияние как на ее свойства, так и на поведение при последующей обработке. Многие примеси даже в сотых долях процента резко снижают электропроводность меди, а также ухудшают ее способность к обработке давлением. Наиболее вредными примесями в меди и ее сплавах являются висмут, свинец, сурьма. Для повышения прочности и придания меди особых свойств ее легируют различными добавками.

12.2. МЕДНЫЕ СПЛАВЫ

По химическому составу медные сплавы подразделяют на три основные группы: латуни, бронзы и медноникелевые сплавы.

Латунями называются сплавы меди с цинком. Практическое применение имеют медные сплавы с содержанием цинка до 45%.

Латуни бывают двойными и многокомпонентными. Двойные латуни представляют собой сплавы меди с цинком. Многокомпонент-

ные латуни, кроме меди и цинка, содержат еще один или несколько других легирующих металлов (алюминий, никель, железо, марганец, олово, кремний, свинец).

Латуни из тяжелых цветных металлов являются самыми распространенными в современном машиностроении. Они хорошо обрабатываются давлением и имеют достаточно высокие механические свойства. Двойные латуни маркируются буквой «Л» и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах. Например, Л90 содержит около 90% меди, остальное – цинк. Латуни с содержанием более 90% меди называются томпаком (Л96), при 80–90% меди – полутомпаком (Л80). В многокомпонентных латунях кроме цифры, показывающей содержание меди, даются буквы и цифры, обозначающие название и количество в процентах легирующих элементов. Например, ЛАН59-3-2 содержит 59% меди, 3% алюминия, 2% никеля, остальное цинк.

По характеру применения многокомпонентные латуни подразделяются на обрабатываемые давлением и литейные. К обрабатываемым давлением относятся алюминиевые, алюминоникелевые, кремнистые, марганцовистые, железомарганцовистые и др.

Характерной особенностью литейных латуней, в отличие от обрабатываемых давлением, является их легирование в больших количествах цинком и другими металлами. Как правило, все литейные латуни имеют хорошую жидкотекучесть и малую усадку.

Многокомпонентные (легированные) латуни в зависимости от основного легирующего элемента имеют и соответствующее название. Например, сплав ЛАНКМ_ц 75-2-2,5-0,5-0,5 расшифровывается как латунь алюминоникель-кремнистомарганцевая, содержащая 75% меди, 2% алюминия, 2,5% никеля, 0,5% кремния, 0,5% марганца, остальное цинк.

Алюминиевые латуни (ЛА77-2, ЛА85-0,6) – основной легирующей добавкой является алюминий, который сообщает латуням повышенную прочность, твердость и коррозионную стойкость.

Кремнистые латуни (ЛК80-3, ЛКС65-1,5-3 и др.) обладают высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в морской воде, а также высокими механическими свойствами. Кремнистая латунь широко применяется для изготовления деталей в морском судостроении.

Никелевые латуни (ЛН65-5 и др.) отличаются высокими антикоррозионными и антифрикционными свойствами, повышенной прочностью и вязкостью.

Оловянистые латуни (ЛО90-1, ЛО70-1 и др.) отличаются повышенными антифрикционными и коррозионными свойствами, хорошо механически обрабатываются.

Свинцовые латуни (ЛС60-1, ЛС60-3 и др.) характеризуются повышенными антифрикционными свойствами и хорошо обрабатываются резанием.

Марганцевые латуни (ЛМ_ц 58-2, ЛМ_ц А57-3-1 и др.) имеют высокие механические свойства, стойкие к коррозии в морской воде и перегретом паре.

Широко используются в промышленности и алюминированные, железомарганцовистые, алюминированножелезомарганцовистые, кремнисто-свинцовые и другие латуни.

Бронзами называются сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка, а также сплавов, в которых цинк не является основным легирующим элементом. Название бронзам дают по основным легирующим элементам, входящих в состав сплава. Так их подразделяют на оловянные, алюминиевые, кремнистые, алюминированножелезомарганцовистые и т.д. Бронзы маркируются буквами «Бр», за которыми следуют буквы, а затем цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов. Например, БрОЦС6-6-3 содержит: 6% олова, 6% цинка, 3% свинца, остальное медь.

Алюминиевые бронзы среди медных сплавов выделяются высокими механическими, коррозионными и антифрикционными свойствами, в связи с чем их используют в машиностроении для деталей конструкционного назначения. В промышленности используют как двойные сплавы меди с алюминием БрА5, БрА7, БрА10, так и более сложные по составу бронзы с добавками марганца, железа, никеля и других элементов – БрАЖ9-4, БрАМ_ц 9-2.

Кремнистые бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами, коррозионной стойкостью. Наиболее распространенная марка БрКЦ4-4 (4% кремния, 4% цинка, остальное медь) используется как заменитель более дефицитных оловянистых бронз, например, БрОЦС5-5-5. Кремнистая бронза превосходит оловянистую в отношении коррозионной стойкости, механических свойств и плотности отливки.

Бериллиевые бронзы отличаются высокими прочностными свойствами, износостойкостью и стойкостью к воздействию коррозионных сред. Бериллиевая бронза БрБ2 служит материалом для изготовления долговечных пружин, мембран, пружинящих контактов. Кроме того, бериллиевую бронзу используют для изготовления безискрового

инструмента. При ударе бериллиевой бронзы о металл или камень не получаются искры, как у стали. Поэтому такой инструмент применяется при взрывоопасных работах.

Свинцовые бронзы используют в парах трения, эксплуатируемые при высоких скоростях. Свинцовые бронзы для повышения механических свойств и коррозионной стойкости легируют никелем и оловом.

Медноникелевые сплавы имеют исключительно большое значение в технике. Легирование меди никелем значительно повышает ее механические свойства, коррозионную стойкость, электросопротивление и термоэлектрические характеристики. Применяющиеся в промышленности медноникелевые сплавы подразделяются на две основные группы: коррозионностойкие и электротехнические.

К первой группе относятся сплавы под названием мельхиор, нейзильбер и куниаль.

Мельхиором называют двойные и более сложные сплавы меди, в которых основным компонентом является никель. Этот сплав обладает высокой коррозионной стойкостью в различных агрессивных средах, что обеспечило его широкое применение в морском судостроении, для изготовления медицинского инструмента, в химической промышленности, для производства ширпотребов. Дополнительное легирование сплава медь-никель железом и марганцем повышает коррозионную стойкость. Наиболее распространенные марки мельхиора – это МН19 (19% никеля) и МНЖМ_ц 30-1-1 (30% никеля, 1% железа и 1% марганца).

Нейзильбер – сплав меди, никеля и цинка. Наибольшее распространение получил сплав МНЦ15-20 (15% никеля, 20% цинка, остальное медь). Нейзильбер имеет белый цвет, близкий к цвету серебра. Изделия из нейзильбера отличаются высокой коррозионной стойкостью. Его применяют в приборостроении и производстве часов.

Куниали – это сплавы тройной системы «медь-никель-алюминий». Они отличаются высокими механическими и упругими свойствами. Применяются куниали марок А (МНА13-3) и Б (МНА6-1,5) для изготовления прутков повышенной прочности, полос для пружин.

Во вторую группу входят сплавы для компенсационных проводок манганин и термоэлектродные сплавы.

Манганин (МНМ_ц 3-12) имеет малую термоэлектродвижущую силу в контакте с медью и малый температурный коэффициент электросопротивления при его высоком электросопротивлении. В связи с этими свойствами манганин используют для изготовления эталон-

ных катушек сопротивления и точных электроизмерительных приборов.

Термоэлектродные сплавы используются для изготовления электродов контактной сварки (точечной, роликовой и стыковой), деталей, работающих при высоких температурах. Для электродов сварочных машин требуются сплавы, имеющие не только высокую жаропрочность, но и хорошую теплопроводность, электропроводность и жаростойкость. Указанным выше требованиям, отвечают сплавы меди, легированные небольшими присадками некоторых тугоплавких элементов типа химических соединений $NiBe$, Co_2B , Cr_2Zr , Cr_2Ti и др.

12.3. НИКЕЛЬ И ЕГО СПЛАВЫ

Никель – металл серебристо-белого цвета, плотность – $8,9 \text{ г/см}^3$, температура плавления – 1455°C , прочность чистого никеля составляет $40\text{--}50 \text{ кг/мм}^2$, пластичность 50%, обладает большой химической стойкостью и другими ценными свойствами. Промышленные марки никеля имеют следующий состав: НО (99,99% никеля), Н1 (99,93%), Н2 (99,8%), Н3 (98,6%) и Н4 (97,6%). Основными примесями никеля являются кремний, углерод, сера, медь, свинец, висмут. Никель используют в качестве легирующих добавок к сталям и сплавам. Широко применяется никель для декоративных и защитных покрытий. Высокая коррозионная стойкость никеля объясняется образованием на его поверхности очень тонкой и прочной окисной пленки, защищающей его от разрушения. Никель практически не корродирует в дистиллированной, речной и морской водах. Однако присутствующие в воде ионы хлора и углекислого газа могут вызвать на никеле точечную коррозию.

Отрицательно действуют на никель и такие кислоты, как азотная, соляная, фосфорная.

Электролитический никель переплавляют на слитки, из которых затем путем обработки давлением получают различные полуфабрикаты (листы, трубы, прутки, проволоку и др.).

Содержание никеля в земной коре составляет порядка $8 \cdot 10^{-3}\%$ по массе (для сравнения – алюминия около 7%). Никель сегодня является дефицитным и дорогостоящим металлом.

В технике нашли применение и сплавы никеля, которые характеризуются высоким электрическим сопротивлением, коррозионной стойкостью, а также повышенной жаропрочностью и жаростой-

костью. Сплавы никеля можно условно разделить на пять основных групп:

- конструкционные;
- электротехнические;
- сплавы с особыми физическими и химическими свойствами;
- жаропрочные;
- жаростойкие.

Конструкционные сплавы. Технический никель наряду с высокой коррозионной стойкостью обладает повышенными механическими свойствами, $\sigma_{\text{в}}$ составляет до 50 кг/мм², что обеспечивает ему применение в качестве конструкционного материала в различных отраслях техники.

Монель – сплав состава (никель – медь – марганец – железо) марки НМЖМ_д 28-2,5-1,5 – широко применяют в химическом аппаростроении, приборостроении и в других областях промышленности, где к изделиям предъявляются высокие требования в отношении прочности и коррозионной стойкости.

Электротехнические сплавы. Примером электротехнического сплава следует назвать сплав никеля и марганца. Из марганцевого никеля изготавливают проволоку для запальных свечей двигателей внутреннего сгорания. Легирование никеля хромом приводит к повышению его электросопротивления, жаропрочности и жаростойкости. Сплав хромель НХ9,5 применяют в термопарах. Сплав алюмель НМ_д АК 2-2-1 (никель – марганец – алюминий – кремний) применяется для термопар как отрицательный электрод в паре с хромелем НХ 9,5.

Термопары алюмель–хромель можно применять для измерения температур от 300 до 1000 °С. Сплав Х20Н80 является типичным сплавом электросопротивления.

Сплавы с особыми физическими и химическими свойствами. Новые технологии требуют сплавы с самыми разнообразными свойствами, в том числе и с особыми физическими постоянными (константами). Это сплавы, которые не должны менять своих размеров с повышением температуры, материалы, которые не должны намагничиваться или сплавы с большой магнитной проницаемостью. Этим требованиям наибольшей степени отвечают сплавы никеля с железом: никель – алюминий – железо, никель – железо – углерод и др.

Жаропрочные и жаростойкие сплавы. Сплавы на основе никеля получили широкое применение как жаропрочные и жаростойкие материалы в современных турбинах и реактивных двигателях. Их основой является система «никель – хром – железо». В качестве легирую-

щих присадок для придания сплавам необходимых жаропрочных и жаростойких свойств вводят *Ti, Al, Mo, W, Nb, C, B, Ba, Zr, Ce*.

Все жаропрочные и жаростойкие никелевые сплавы по технологии их изготовления подразделяются на деформируемые и литейные.

Жаропрочные сплавы на никелевой основе называются нимо-никами.

12.4. АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Антифрикционными называют сплавы, предназначенные для изготовления подшипников. Эти сплавы обладают малым коэффициентом трения, пластичностью, микрокапиллярностью, а также неоднородной по твердости структурой. Такое сочетание свойств можно получить у двухфазных сплавов, у которых одна фаза – твердые кристаллы, а другая – мягкая основа. Мягкая основа сплава обеспечивает хорошую прирабатываемость подшипника к валу, твердые включения служат опорными точками для трущихся частей вала. Небольшая поверхность соприкосновения вала и вкладыша уменьшает трение, а имеющиеся просветы между валом и мягкой основой обеспечивают хорошую подачу смазки и ее равномерное распределение (рис. 30).

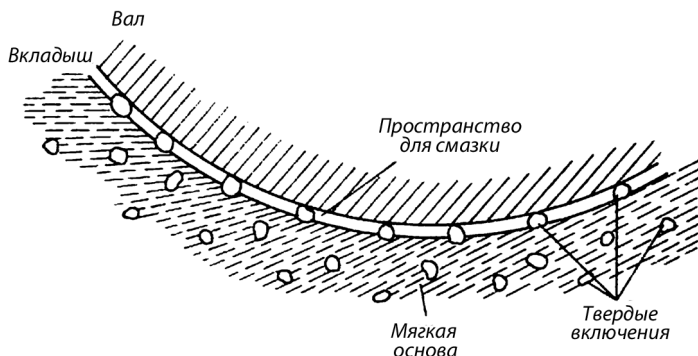


Рис. 30. Схема работы подшипника

Для вкладышей подшипников в качестве антифрикционных материалов применяют баббиты, бронзы, чугуны и металлокерамические материалы. Баббиты (по имени И.Б. Бэббита, американского

изобретателя) представляют собой сплавы из легкоплавких цветных металлов на основе олова, свинца, цинка, алюминия и предназначены для заливки подшипников. Баббиты имеют минимальный коэффициент трения и хорошо удерживают смазку.

Оловянные баббиты содержат олово и сурьму с небольшими добавками меди для предотвращения ликвации сплава и повышения механических свойств. В этих сплавах твердый раствор на основе олова является мягкой основой, а твердый раствор на основе интерметаллидного соединения олова и сурьмы и химического соединения меди с оловом (Cu_3Sn) выполняет роль твердых включений.

Наилучшим сочетанием антифрикционных и фрикционно-механических свойств, высокой коррозионной стойкостью обладают оловянные баббиты марок Б83 (10–12% сурьмы, 5,5–6,5% меди, остальное олово) и Б88 (7,3–7,8% сурьмы, 2,5–3,5% меди, 0,8–1,2% кальция, 0,15–0,25% никеля, остальное олово).

Ввиду большого содержания дорогостоящего олова они применяются для подшипников ответственного назначения (паровые турбины, опорные подшипники гребных валов, дизелей турбокомпрессоров).

Свинцовые баббиты. Самыми дешевыми являются свинцовые баббиты с кальцием и натрием БКА (1–1,15% кальция, 0,7–0,9% натрия) и БК2 (0,45% кальция, 0,4% натрия, 2% олова, 0,06% магния). В литом состоянии структура представляет собой твердый раствор натрия и кальция в свинце (мягкая основа) и дендриты химического соединения Pb_3Ca (твердые включения). Баббит БКА обладает плохой адгезией к стальному вкладышу и крепится в нем механическим путем. Баббит БК2 заливают на вкладыши тонким слоем. Оба эти баббита применяются для подшипников городского и железнодорожного транспорта, горнорудных машин.

Оловянисто-свинцовые баббиты отличаются низким содержанием олова. Наиболее распространенными марками являются Б16, БН, БС6.

Баббит Б16 наиболее простой по химическому составу (15–17% олова, 15–17% сурьмы, 1,5–2,0% меди, остальное свинец), отличается повышенной хрупкостью. Он применяется как заменитель Б83 в подшипниках ответственного назначения для спокойных условий работы без ударных нагрузок (подшипники электровозов, паровых турбин, гидротурбин и т. д.)

Баббит БН дополнительно легирован кадмием, мышьяком, никелем (9–11% олова, 13–15% сурьмы, 1,5–2,0% меди, 0,1–0,7% кадмия,

0,1–0,5% никеля, 0,5–0,9% мышьяка) и применяется для заливки вкладышей подшипников, подвергающихся ударным нагрузкам.

Баббит БС6 (5,5–6,5% олова, 5,5–6,5% сурьмы, 0,1–0,3% меди, остальное свинец) наиболее дешевый и применяется для подшипников металлообрабатывающих станков, автотракторных двигателей, работающих в условиях ударных нагрузок.

Цинковые баббиты. Основным легирующим компонентом антифрикционных сплавов на основе цинка является алюминий (9–12%). В этих баббитах мягкой основой служит эвтектика ($Zn + Al + CuZn_3$), а твердыми включениями – Al или химическое соединение $CuZn_3$.

Цинковые баббиты по пластичности, коэффициенту трения менее эффективны, чем оловянные баббиты, но почти равноценны свинцовым. Так, коэффициент трения оловянных баббитов равен 0,005, а цинковых – 0,009.

Алюминиевые баббиты. Антифрикционные сплавы на основе алюминия с добавками сурьмы, магния, свинца, никеля являются двухфазными высоколегированными системами, в которых мягкой основой является алюминий, а твердыми включениями – химические соединения типа $AlSb$ или Al_3Ni . Сплавы на основе алюминия обладают низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью, однако по технологичности уступают оловянным и свинцовым. Высокий коэффициент линейного расширения баббитов на основе алюминия требует больших зазоров в узлах подшипников трения – скольжения.

Алюминиевые сплавы применяют как заменители оловянных и свинцовых баббитов.

Антифрикционные бронзы. Наибольшее распространение получили оловянные бронзы с содержанием олова выше 8%. По структуре они представляют собой основную массу твердого раствора олова в меди (мягкая фаза) и твердые частицы соединения Cu_3Sn . Для экономии олово частично заменяется свинцом и цинком. Бронза марки БрОФ10-1 – прекрасный антифрикционный сплав, применяется для ответственных подшипников, так как допускает большие удельные давления. Широкое применение находят оловянно-свинцовые и свинцовые бронзы (например БрОС 8-12, БрС-30) для заливки подшипников двигателей внутреннего сгорания.

Антифрикционные чугуны отличаются низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью. Различают антифрикционный чугун серый – марок АЧС с пластичным графитом, ковкий – марок АЧК и высокопрочный – марок АЧВ. Пористость чугуна способству-

ет впитыванию масла, а графит служит смазочным материалом и существенно снижает коэффициент трения. Из антифрикционных чугунов изготавливают подшипники, втулки топливных насосов, направляющие клапанов, поршневые автомобильные кольца. При повышенных скоростях скольжения и высоких давлениях применяют чугуны марок АЧВ с плотной перлитной структурой и незначительными выделениями свободного графита (табл. 8).

Таблица 8

Химический состав антифрикционных чугунов

Марка чугуна	Содержание элементов, %					
	C	Mn	Si	P	S, не более	Прочие
АЧС-1	3,2–3,6	0,6–1,2	1,3–2,0	0,15–0,3	0,12	2,5–3,0
АЧК-1	2,3–3,0	0,6–1,2	0,5–1,0	0,2	0,08	–
АЧВ-1	2,8–3,5	0,5–1,2	1,8–2,7	0,2	0,1	–

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Латуни.

Бронзы.

Медноникелевые сплавы.

Мельхиор, нейзильбер, куниали.

Манганин.

Термоэлектродные сплавы.

Монель, хромель, алюмель (сплавы).

Нихромы, ферронихромы.

Нимоники.

Антифрикционные сплавы, антифрикционные чугуны.

Баббиты.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Как влияют примеси на свойства чистой меди?
2. Назовите области применения чистой меди.
3. Что такое латуни? Их состав, маркировка.
4. Что такое бронзы? Их состав, маркировка.
5. Назовите состав медноникелевого сплава мельхиор и его свойства.
6. Назовите состав нейзильбера, его свойства и область применения.
7. Состав медных сплавов куниали.
8. Назовите состав и области применения термоэлектродных медных сплавов.

9. Перечислите основные свойства никеля и область его применения.
10. Сплавы никеля и их краткая характеристика.
11. Какие требования предъявляются к структуре и свойствам антифрикционных сплавов?
12. Какие сплавы отвечают требованиям, предъявляемым к антифрикционным материалам?
13. Назовите состав, свойства и области применения алюминиевых баббитов.
14. Дайте качественную характеристику свойств алюминиевых и оловянных баббитов.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Назовите у перечисленных ниже металлов и сплавов наибольшую электропроводность:
 - а) медь;
 - б) серебро;
 - в) бронза;
 - г) золото.
2. Назовите у перечисленных ниже металлов и сплавов наибольшую плотность:
 - а) медь;
 - б) серебро;
 - в) латунь;
 - г) золото.
3. В состав сплава меди мельхиор входят следующие легирующие элементы:
 - а) никель;
 - б) кобальт;
 - в) железо;
 - г) марганец.
4. В состав сплава меди нейзильбер входят следующие легирующие элементы:
 - а) никель;
 - б) цинк;
 - в) железо;
 - г) хром.
5. Медный сплав кундали обладает следующими повышенными свойствами:
 - а) жидкотекучестью;
 - б) упругостью;

- в) пластичностью;
 - г) хрупкостью.
6. Среди перечисленных ниже металлов и сплавов назовите обладающие наибольшей прочностью:
- а) медь;
 - б) никель;
 - в) латунь;
 - г) бронза.
7. В состав сплава никеля монель входят следующие легирующие металлы:
- а) хром;
 - б) железо;
 - в) молибден;
 - г) марганец.
8. Антифрикционные свойства чугуна обеспечиваются за счет:
- а) наличия в структуре его графита;
 - б) наличия в структуре его цементита;
 - в) пористости его структуры;
 - г) повышенного содержания кремния.
9. В качестве антифрикционных материалов применяют:
- а) углеродистую сталь;
 - б) легированную сталь;
 - в) бронзы;
 - г) чугуны, металлокемические материалы.
10. Антифрикционные сплавы баббиты представляют собой сплавы на основе:
- а) железа;
 - б) алюминия;
 - в) никеля;
 - г) меди.

ГЛАВА 13. ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Сегодня тугоплавкие металлы и сплавы на их основе широко используются в качестве конструкционных материалов, работающих при высоких температурах. Студентам необходимо изучить свойства

таких металлов, как вольфрам, молибден, ниобий, тантал и сплавы на их основе. Это обогатит политехнический кругозор в области материаловедения. Познакомьтесь с редкими металлами, которые сегодня востребованы при разработке новейших технологий в космической промышленности, радиоэлектронике. Особое внимание обратите при изучении полупроводниковых материалов на их свойства и на области их применения.

13.1. РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

К редким относятся металлы, относительно недавно вошедшие в сферу промышленного применения. В отличие от таких металлов, как железо, алюминий, редкие не образуют крупных месторождений, а распылены по земной коре. Получить несколько сот граммов их – задача чрезвычайно трудная. Однако сегодня металлургии редких металлов уделяется особое внимание в связи с тем, что эти элементы весьма необходимы современной промышленности. К редким металлам можно отнести и такие, которые содержатся в природе в довольно больших количествах, но по ряду таких причин, как высокая степень рассеянности, сложность и дороговизна добычи, объем производства и применение их сравнительно невелико. Редкие металлы принято классифицировать на пять групп:

- легкие (литий, бериллий, церий);
- рассеянные (галлий, индий, таллий);
- редкоземельные (итрий, лантан, самарий);
- тугоплавкие (цирконий, вольфрам, молибден, ниобий, тантал, рений);
- радиоактивные (радий, уран, торий).

Эта классификация весьма условна, так как некоторые редкие металлы могут быть отнесены к разным группам, например, рений из тугоплавкой группы может быть отнесен и к рассеянному.

В то же время некоторые из этих металлов перестают быть редкими, такие, например, как молибден, ниобий, вольфрам.

Без редких металлов сегодня невозможна работа радиоприемников и телевизоров, лазеров, компьютеров, различных приборов по изучению космоса, земных и океанских глубин. С их помощью на новую ступень поднялись современные отрасли науки и техники – ядерная физика, физика твердого тела и др.

13.2. ЦИРКОНИЙ, БЕРИЛЛИЙ И СПЛАВЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Цирконий – металл темно-серого цвета, плотность $6,4 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1855°C , пластичность около 50%, коррозионностойкий и прочность порядка $18\text{--}20 \text{ кг/мм}^2$ (в химически чистом виде).

Наиболее чист в отношении примесей йодидный цирконий, в котором суммарное содержание примесей составляет 0,06–0,07%. В технически чистом виде цирконий значительно прочнее, но менее пластичен. Механические свойства технически чистого циркония составляют по прочности на растяжении $40\text{--}60 \text{ кг/мм}^2$ и пластичность 20–30%. Основными примесями в техническом цирконии являются гафний, кислород, азот, водород. Гафний является вредной примесью, и его содержание в техническом цирконии не должно превышать 2,5%. В чистом виде цирконий нашел применение в качестве легирующих элементов при выплавке стали. Фольга, проволока или порошок циркония используется также в электровакуумной технике в качестве поглотителя (геттера) газов, выделяемых металлическими деталями ламп при нагреве. Это свойство позволяет поддерживать постоянный вакуум.

В практике используются сплавы циркония с оловом, железом, никелем и хромом. Сплав циркаллой-2 имеет состав: 1,5% олова, 0,12% железа, 0,10% хрома или 0,05% никеля.

Цирконий и его сплавы как конструкционный материал получили распространение в атомной технике (атомные реакторы, атомные двигатели) для оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов).

Бериллий – легкий металл серебристого цвета, плотность – $1,85 \text{ г/см}^3$, температура плавления – 1284°C . Прочность бериллия зависит от технологии получения из него полуфабрикатов (спеченный, литейный, обрабатываемый давлением) и составляет от 28 до 65 кг/мм^2 , пластичность 2–3%. Однако его малая плотность обеспечивает ему более высокую удельную прочность, чем у алюминия и титана.

Бериллий имеет высокий модуль упругости $E = 2,98 \cdot 10^4 \text{ кг/мм}^2$, что в сочетании с малой плотностью обеспечивает большую скорость распространения звука (в 2,5 раза больше, чем в стали). В связи с этим бериллий используют в различных акустических приборах.

Сплавы бериллия уже сегодня нашли применение в ракетостроении и при изготовлении сверхзвуковых самолетов.

Наиболее часто применяют сплавы бериллий-алюминий, содержащий 38% алюминия, бериллий-кремний и бериллий-медь (5%).

Бериллиевые рессоры выдерживают до 20 млрд толчков против 800 тыс. у стальных рессор, они практически вечны.

Сплавы бериллия используются для изготовления оболочек урановых стержней (тепловыделяющие элементы ТВЭЛы) в атомных реакторах. В радиоэлектронике с помощью бериллиевых сплавов устраняется перегрев деталей. Бериллиевые бронзы (2,0–2,5% бериллия) – лучший материал для пружин, шестерен, подшипников, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах.

13.3. ТУГОПЛАВКИЕ МЕТАЛЛЫ (ВОЛЬФРАМ, МОЛИБДЕН, НИОБИЙ, ТАНТАЛ) И СПЛАВЫ НА ИХ ОСНОВЕ

В последние годы интерес к тугоплавким металлам заметно повысился.

В современных сверхзвуковых самолетах и космических кораблях, в ракетах отдельные детали работают при температурах 1500–2000 °С. Для таких деталей могут быть использованы только жаропрочные тугоплавкие металлы. Их легирование еще больше повышает жаропрочность. Поэтому на практике применяют не чистые тугоплавкие металлы, а сплавы на их основе. Перечисленные металлы сравнительно редкие, поэтому дорогие, наиболее применяемые, часто именуются «большой четверкой».

Вольфрам и его сплавы. Вольфрам – тяжелый тугоплавкий металл светло-серого цвета, плотность – 19,3 г/см³, температура плавления – 3420 °С, прочность на растяжение – более 50 кг/мм². Отрицательным качеством вольфрама является его хрупкость при комнатной температуре (относительное удлинение равно 0%). Вольфрам является наиболее тугоплавким металлом, весьма стойким в кислотах и щелочах. Из вольфрама получают листы, ленты, прессованные прутки, проволоку. Исходными заготовками для производства указанных полуфабрикатов служат спрессованные и спеченные из порошка вольфрама брикеты (штабики) или слитки, полученные плавкой в электронно-лучевых печах. Кроме чистого вольфрама, применяют такие сплавы на его основе, которые обладают более высокими свойствами, чем чистый вольфрам.

Наиболее распространены сплавы вольфрама с рением и молибденом. Рений повышает пластичность вольфрама при комнатной температуре от 0 до 10%, улучшает штампуемость и свариваемость. Кроме вольфраморениевого сплава применяют вольфрам-молибден, вольфрам-ниобий, вольфрам-цирконий и другие.

Металлический вольфрам широко применяется в электроламповой, электровакуумной, радиотехнической промышленности (нити накаливания, нагреватели и экраны высоковакуумных печей, катоды рентгеновских трубок, электронно-лучевых печей и плазменных двигателей). Сплавы вольфрама с рением и молибденом применяют для изготовления высокотемпературных термпар и электрических контактов.

Сплав вольфрама с окисью алюминия обеспечивает защиту от электромагнитных волн.

Твердые сплавы на основе карбида вольфрама с добавками кобальта, карбидов тантала, титана применяют для изготовления режущих инструментов, предназначенных для обработки высокопрочных материалов.

Все более широко используются в технике вольфрамовые покрытия на различных материалах, получаемые плазменным напылением, осаждением из газовой фазы и другими методами.

Вольфрамовые покрытия повышают рабочую температуру и ресурс работы изделия.

Молибден и его сплавы. Молибден – тугоплавкий металл серебристо-серого цвета, температура плавления – 2620 °С, плотность – 10,2 г/см³, прочность – 50–70 кг/мм², пластичность 20–25%. Более высокими свойствами обладают молибденовые сплавы с легирующими добавками титана, циркония, ниобия, гафния, рения.

Основная часть продукции из молибдена и его сплавов потребляется электроламповой промышленностью и в электровакуумном производстве, для производства нагревателей и экранов высокотемпературных вакуумных печей. В последнее время возросло применение молибдена в ракетостроении.

Ниобий и его сплавы. Ниобий – светло-серый тугоплавкий металл, плотность – 8,57 г/см³, температура плавления – 2500 °С, прочность на растяжение – 35–45 кг/мм², относительное удлинение – 25–30%, обладает высокой коррозионной стойкостью в кислотах и щелочах. Выплавляют технический ниобий в электронно-лучевых и электродуговых вакуумных печах. В чистом виде ниобий применяется в качестве легирующих элементов для получения жаропрочных и жаростойких сталей. В промышленности используются ниобиевые сплавы с вольфрамом, молибденом, цирконием, ванадием, титаном, хромом. Высокую коррозионную стойкость имеют сплавы ниобия с танталом. Так, например, детали аппаратуры, работающей в среде азотной, серной кислот, изготовленные из нержавеющей стали, могут служить

1,5–2 месяца; детали, изготовленные из ниобиевого сплава, стоят в течение 2–3 лет.

В настоящее время ниобий и его сплавы применяют в различных областях науки и техники.

В авиационной технике для изготовления турбинных неохлаждаемых лопаток в реактивных двигателях, для обшивки крыльев сверхзвуковых самолетов, в атомных реакторах для защиты тепловыделяющихся элементов.

Тантал и его сплавы. Тантал – серо-стальной тугоплавкий металл, с температурой плавления $3014\text{ }^{\circ}\text{C}$ и плотностью $16,6\text{ г/см}^3$. Он очень редкий элемент, его содержание в земной коре в 8 раз меньше, чем ниобия. Хотя в природе они встречаются совместно. Тантал среди других металлов выделяется исключительной химической стойкостью, сравнимой с платиной. Тантал не растворим в кислотах, в том числе и в «царской водке» (смесь азотной и соляной кислот). В организме человека не корродирует и не раздражает живую ткань, поэтому он широко применяется в медицине. В хирургии служит для скрепления костей, нервов, стимуляторов сердечной деятельности.

Тантал высокой чистоты имеет прочность на разрыв $25\text{--}30\text{ кг/мм}^2$, относительное удлинение $30\text{--}35\%$. Тантал промышленной чистоты имеет прочность до 90 кг/мм^2 , пластичность $4,0\%$ в деформированном состоянии. Тантал используется также в химической, электровакуумной промышленности и как компонент для легирования сталей. Кроме чистого тантала нашли применение сплавы на его основе. Это сплавы с добавками ниобия, вольфрама, циркония, гафния и других элементов. В промышленности наиболее широкое применение получил сплав тантала с 10% вольфрама (прочность на растяжение порядка 96 кг/мм^2 , пластичность – 25%). Все сплавы тантала характеризуются высокой жаропрочностью и коррозионной стойкостью в агрессивных средах при температурах до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, выше этой температуры нуждаются в защитных покрытиях. Применяются сплавы тантала для изготовления сопел ракет, деталей реактивных двигателей, химической аппаратуры. Применение танталовых сплавов ограничено дефицитом этого металла.

13.4. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Все материалы, применяемые в технике, по своим электрическим свойствам делятся на три группы: проводники, полупроводники и диэлектрики. Различаются эти материалы по величине электросо-

противления, по характеру изменения его при нагреве и по типу проводимости. Проводники – удельное электросопротивление в пределах $10^{-6} \div 10^{-3}$ Ом · см, при нагреве увеличивается. Используются для постоянного и переменного тока. Полупроводники – удельное электросопротивление $10^{-3} \div 10^{+10}$ Ом · см, при нагреве уменьшается. Диэлектрики – удельное электросопротивление в пределах $10^{+10} \div 10^{+18}$ Ом · см, используются как изоляторы. Таким образом, полупроводниковые материалы – это вещества, которые по своей удельной электропроводности занимают промежуточное положение между проводниками (металлами) и изоляторами (диэлектриками). Несмотря на то, что электропроводность у полупроводниковых материалов значительно меньше, чем у металлов, подвижность носителей заряда их больше (т.е. электроны в полупроводниках могут двигаться более свободно, чем в металлах). Поэтому тепловыми, электрическими, световыми и механическими воздействиями можно управлять электропроводностью полупроводников. К полупроводниковым материалам относятся такие элементы, как германий, кремний, селен, теллур, галлий, некоторые сплавы металлов, минералы.

Полупроводники широко используют в электро-, радио-, свето- и теплотехнике, в автоматике, приборостроении. Полупроводниковая промышленность использует до 90% германия. Германий – редкий, рассеянный в природе элемент, содержание его в земной коре составляет порядка $7 \cdot 10^{-4}\%$, температура плавления – $958,5^\circ\text{C}$. Получают германий по особой технологии из отходов производства цинка. В последнее время возрос спрос на галлий, который имеет хорошие полупроводниковые свойства. Он нашел применение в плоских телевизорах, первый отечественный лазер также сделан на основе соединения галлия.

Полупроводниковые материалы имеют целый ряд преимуществ:

- стабильность свойств в различных условиях эксплуатации;
- легко управлять свойствами путем изменения состава, структуры;
- потребляют мало электроэнергии;
- имеют малые размеры и вес;
- полупроводниковые приборы делают возможным преобразование тепловой, световой и ядерной энергии в электрическую;
- процесс старения в полупроводниках не проявляется;
- большая надежность и долговечность;
- их производство не связано с ухудшением окружающей среды.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Редкие металлы.
Рассеянные металлы.
Редкоземельные металлы.
Радиоактивные металлы.
Йодидный цирконий.
ТВЭЛы.
Бериллиевые бронзы.
Металлы «большой четверки».
Вольфрамовые штабики.
Электронно-лучевая печь.
«Царская водка».
Полупроводниковые материалы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Понятие редких металлов и их классификация.
2. Назовите основные свойства циркония и бериллия.
3. Какие свойства бериллия обеспечивают ему применение в акустических приборах?
4. Назовите основные сплавы циркония и бериллия.
5. Какие металлы называются тугоплавкими?
6. Назовите области применения вольфрама.
7. Какой тугоплавкий металл имеет наибольшую плотность?
8. Что такое полупроводниковые материалы?
9. Какие преимущества имеют полупроводниковые материалы при их использовании?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Что представляют собой редкие металлы?
 - а) это металлы, которые распылены в земной коре в очень малых количествах;
 - б) это металлы, область применения которых сравнительно невелика;
 - в) металлы, которые не нашли сегодня применения в промышленности;
 - г) это металлы, технология добычи которых весьма сложная и дорогостоящая.
2. Среди названных металлов назовите редкие:
 - а) магний;

- б) свинец;
 - в) германий;
 - г) бериллий, литий.
3. Основные области применения редких металлов:
- а) сельхозмашиностроение;
 - б) радиоэлектроника;
 - в) полупроводниковая индустрия;
 - г) станкостроение.
4. Какой металл имеет более высокую удельную прочность?
- а) бериллий;
 - б) алюминий;
 - в) титан;
 - г) тантал.
5. Какой из перечисленных металлов имеет наибольшую температуру плавления?
- а) молибден;
 - б) ниобий;
 - в) цирконий;
 - г) тантал.
6. Электропроводность полупроводниковых материалов будет:
- а) больше, чем у металлов;
 - б) меньше, чем у металлов;
 - в) одинаковая;
 - г) средняя – между металлами и диэлектриками.
7. К полупроводниковым материалам относятся:
- а) кремний;
 - б) германий;
 - в) галлий;
 - г) медь;
 - д) алюминий.
8. Благодаря каким свойствам бериллий обеспечивает большую скорость распространения звука:
- а) малая плотность;
 - б) высокая пластичность;
 - в) высокая упругость;
 - г) хрупкость.
9. Тугоплавкий металл вольфрам обладает следующими свойствами:
- а) большая прочность;
 - б) большая пластичность;
 - в) большая плотность;
 - г) большая хрупкость.

10. Среди «большой четверки» тугоплавких металлов назовите наиболее коррозионностойкий:

- а) вольфрам;
- б) ниобий;
- в) тантал;
- г) молибден.

ГЛАВА 14. НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МЕТАЛЛЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Обратите внимание на то, что сегодня все больше в машиностроительных технологиях применяют новые конструкционные материалы – композиты, сплавы с памятью формы, аморфные металлические сплавы, порошковые сплавы и др.

Сегодня разрабатываются сплавы космических технологий системы «металл – газ». Применение таких материалов весьма перспективно в космической технике, авиа- и судостроении. Эти материалы могут работать при высоких температурах, в агрессивных средах, обладают высокой износостойкостью по сравнению с классическими металлическими сплавами.

Приступая к изучению этих материалов, обратите внимание на их состав, свойства, технологию изготовления, область применения, экономическую целесообразность. Использование этих материалов обеспечит научно-технический прогресс в различных отраслях промышленности.

14.1. ДВУХСЛОЙНЫЕ И МНОГОСЛОЙНЫЕ МЕТАЛЛЫ (БИМЕТАЛЛЫ)

Многие свойства металлов и сплавов, и в первую очередь механические, определяются всем сечением. Например, при растяжении одинаковую нагрузку несут поверхностные, а также внутренние слои металла. Но работоспособность деталей может определяться очень часто только лишь сопротивлением поверхностных слоев.

Для повышения сопротивляемости усталости, износу, коррозии и другим видам разрушения необходимо использовать либо легированные стали, либо проводить поверхностные упрочнения (поверхностная закалка, химико-термическая обработка).

Вместо этих видов поверхностного упрочнения применяют двух- и многослойные металлы, называемые *биметаллами*.

Биметаллы – это материалы, состоящие из двух разнородных, прочно соединенных между собой металлов или сплавов. Биметаллы бывают двух- и многослойные.

На рис. 31 приведены схемы монометалла и биметаллов.

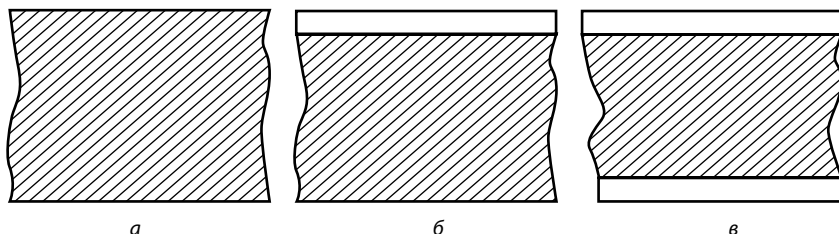


Рис. 31. Монометалл (а), двухслойный (б) и трехслойный (в) биметаллы

Применяются биметаллы с целью экономии дорогостоящих и дефицитных материалов или как материалы со специальными свойствами.

Биметаллы изготавливают с применением прессования, прокатки, волочения, литья, наплавки. В биметалле защищающий слой прочно соединяется по всей поверхности соприкосновения, и он представляет собой монокристаллическое целое. Примером биметаллов является углеродистая сталь, плакированная легированной коррозионностойкой сталью. Изготавливают также биметаллическую стальную проволоку с медным или алюминиевым покрытием.

Главное преимущество биметаллов – это его меньшая стоимость по сравнению с применением только планирующего металла.

Например, в химической промышленности при изготовлении шестерен вместо листов из нержавеющей стали толщиной до 40 мм применяют биметалл. Это позволяет сэкономить до 80% нержавеющей стали, что составляет 50–60% стоимости, если бы использовалась только нержавеющая сталь.

Проволоку сталь-медь и сталь-алюминий применяют в проводах воздушных линий электропередач, в железнодорожной сигнализации. Биметаллическая проволока сталь-алюминий прочна, пластична, отличается хорошей электропроводностью.

Применение биметаллов в химическом машиностроении, сельхозмашиностроении и других отраслях техники приводит к экономии дорогих материалов и повышению долговечности и надежности в работе машин и механизмов.

14.2. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА, СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ)

Успехи науки в области материаловедения привели к созданию нового класса материалов – так называемых композиционных, уровень свойств которых несравненно выше существующих традиционных сплавов. Композиционные материалы имеют высокие значения прочности, жаропрочности, жесткости, сопротивления, усталости при меньшей их плотности. Прообразом создания композиционных материалов явилось большое разнообразие биологических биматериалов, которые обладают высокими механическими свойствами. Например, обычное дерево, его кора и древесина имеют различные свойства, строение, назначение, но вместе с тем это единое целое. Другой пример: зуб человека, животных состоит из кровеносных сосудов и нервных окончаний, костной ткани и эмали. Так что обычный зуб есть не что иное, как прообраз композита. Сочетание различных металлов, сплавов и неметаллов в многослойном виде позволяет не только объединить полезные свойства отдельных составляющих, но и получить совершенно новые качества, которыми исходные материалы не обладают. Композиционные материалы представляют собой сочетание двух и более химически разнородных материалов с четкой границей раздела между ними. По структурным признакам композиты подразделяются на три основные группы: волокнистые, дисперсионные и слоистые. Их схемы представлены на рис. 32.

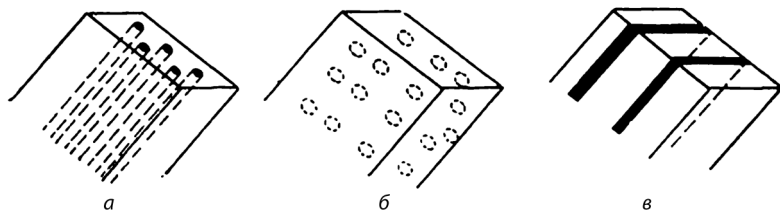


Рис. 32. Композиты: а – волокнистые, б – дисперсные, в – слоистые

Волокнистые конструкционные материалы состоят из волокон одного компонента, распределенных в другом компоненте (матрице).

Дисперсные конструкционные материалы, состоящие из частиц одного или более компонентов, распределенных в матрице, и образующие механическую смесь.

Слоистые композиционные материалы, состоящие из двух или более слоев различных компонентов. К ним можно отнести и биметаллы.

Волокнистые композиционные материалы по виду матрицы делят на металлические, полимерные и керамические; по виду волокон – на материалы, армированные проволокой, стеклянными, борными, углеродистыми, керамическими и другими волокнами; по размерам волокон – на материалы с непрерывными или короткими волокнами; по ориентировке волокон – на материалы с однонаправленными или ориентированными в двух и более направлениях волокнами.

Дисперсные композиционные материалы – это металлы и сплавы, которые содержат равномерно распределенные части окислов, карбидов, нитридов. При нагружении таких материалов матрица несет основную нагрузку, а дисперсные частицы действуют как препятствия, задерживающие движение дислокаций. В настоящее время в промышленных масштабах производят дисперсноупрочненные материалы на основе алюминия, никеля и вольфрама.

Степень дисперсного упрочнения зависит от размера, формы частиц, расстояния между ними и характера связи между частицами и матрицей. Такие материалы получают в основном методами порошковой металлургии, включающими изготовление тонких порошков или порошковых смесей и их последующее прессование, спекание.

Дисперсно-упрочненный алюминий, содержащий 6–23% Al_2O_3 (спеченная алюминиевая пудра САП), значительно превосходит деформируемые и литейные алюминиевые сплавы по прочности при температурах выше 300° С. САП – перспективный материал для авиации, судостроения, химического машиностроения. Его используют вместо нержавеющей сталей и титановых сплавов в конструкциях, работающих при 300–500 °С, что позволяет значительно уменьшить массу конструкции.

Наибольшей жаропрочностью в интервале 1000–1300 °С обладает никель, упрочненный 2–3% двуокиси тория или частицами двуокиси гафния.

Вольфрам, содержащий 1–2% окиси тория, используют для изготовления вакуумных приборов. При температурах выше 2200 °С он является единственным материалом, превосходящим по прочности нелегированный вольфрам.

Слоистые композиционные материалы состоят из двух и более слоев различных компонентов. К ним можно отнести и биметаллы. В отдельную группу можно выделить *полимерные композиционные материалы* (ПКМ). Особенностью ПКМ является то, что матрицу их

образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, пленок. Формирование ПКМ осуществляется прессованием, литьем, под давлением, напылением. В промышленности используются и смешанные ПКМ, куда входят как металлические, так и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Созданы ПКМ на основе полиэтилена, полипропилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон.

Классические композиционные материалы получают под большим давлением, сваркой, взрывом, диффузионной сваркой.

Свойства зависят от свойств матрицы, количества упрочнителя, направления его укладки и других факторов. Если за матрицу принять алюминий, а в качестве волокон – борные волокна, то свойства такого композита будут следующие:

- а) 100% алюминия, $\sigma_b = 7\text{--}14 \text{ кг/мм}^2$;
- б) 70% алюминия и 30% борных волокон, $\sigma_b = 70\text{--}90 \text{ кг/мм}^2$;
- в) 30% алюминия и 70% борных волокон, $\sigma_b = 160\text{--}180 \text{ кг/мм}^2$.

При рабочей температуре 1200 °С практическое применение находят дисперсно-упрочненные никелевые композиты, упрочненные частицами окиси гафния или окиси тория.

Основная область применения композитов – это автомобильная, авиационная, химическая, космическая промышленность. В металлургии композиты используют в качестве огнеупорных материалов.

14.3. МАТЕРИАЛЫ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

С развитием новой техники необходимы новые сплавы, обеспечивающие деталям специальные свойства, трудно достигаемые при изготовлении обычными технологиями (литье, обработка давлением, сварка). Такие сплавы получают методом порошковой металлургии, а образующие сплавы называют металлокерамическими. Суть этой технологии заключается в приготовлении металлических порошков, смешения, прессования, спекания и в отдельных случаях механической обработки.

Порошковая металлургия позволяет получать сплавы любого состава из металлических или смеси металлических и неметаллических порошков, которые при плавлении взаимно не растворяются. Например, железо и свинец, алюминий и никель, медь и графит. Методом порошковой металлургии можно получать сплавы с заранее за-

14.3. Материалы, изготавливаемые методами порошковой металлургии

данными свойствами. Использование этого метода обеспечивает значительное снижение потерь металла, дает возможность использовать металлические отходы, детали получаются повышенной точности, увеличивается их долговечность.

Однако экономически целесообразно применение порошковой металлургии только при больших масштабах производства деталей и небольшого их габарита и веса.

Существуют следующие основные способы получения металлических порошков:

- восстановление металлов из оксидов или солей;
- электролитическое осаждение;
- распыление струи расплавленного металла;
- термическая диссоциация;
- механическое дробление.

В порошковой металлургии используют порошки, имеющие размеры частиц в пределах 0,1 мкм – 0,5 мм. Порошки характеризуются не только размером частиц, но и их формой. Различают осколочную, плоскую, тарельчатую, дендритную и сферическую формы. Форма частиц определяется способом изготовления.

При методах восстановления и механическом дроблении получают частицы осколочной формы. При распылении и термической диссоциации – сферической. При изготовлении деталей важное значение имеют такие свойства порошков, как текучесть, прессуемость и спекаемость.

Текучесть – способность порошка заполнять форму. Она ухудшается с уменьшением размеров частиц порошка и повышением влажности. Количественной оценкой текучести является скорость вытекания порошка через отверстие диаметром 1,5–4,0 мм в секунду.

Прессуемость характеризуется способностью порошка уплотняться под действием внешней нагрузки и прочностью сцепления частиц после прессования. Она зависит от пластичности материала частиц, их размеров и формы и повышается с введением в его состав поверхностно-активных веществ.

Под *спекаемостью* понимают прочность сцепления частиц в результате термической обработки прессованных заготовок.

Основные металлокерамические сплавы. К ним относятся антифрикционные, фрикционные, пористые сплавы для фильтров, электротехнические твердые инструментальные сплавы.

Антифрикционные сплавы изготавливают на железной, медной (бронзовой) или алюминиевой основе с добавлением графита в диспер-

сионном состоянии. Такие сплавы характеризуются малым коэффициентом трения, пористостью в пределах 10–30% (поры заполняются смазочными материалами).

Фрикционные сплавы обладают высоким коэффициентом трения и одновременно износостойкости. Их используют в различных тормозных устройствах. Состав фрикционного сплава на железной основе содержит медь, свинец, графит, кремнезем, асбест, сернокислый барий. Асбест и кремнезем обеспечивают высокий коэффициент трения, графит предохраняет от истирания и износа, свинец от чрезмерного нагрева и обеспечивает плавное торможение, медь придает хорошую теплопроводность, сернокислый барий устраняет прилипаемость трущихся поверхностей.

Пористые сплавы для фильтров изготавливают из порошков бронзы, латуни, никеля, титана, никрома. Пористость таких сплавов составляет 40–60% и выше. Для сохранения пор при спекании вводят специальные добавки, которые улетучиваются под воздействием высоких температур. Фильтры используют для очистки жидкого горячего, масел, газов, воздуха.

Электротехнические сплавы используют для изготовления щеток электрических машин и различных контактов. Они должны обладать высокой электропроводностью и износостойкостью. В состав этих сплавов входит порошковая медь и мелкодисперсный порошок графита. Материалы для электрических контактов должны обладать хорошими электропроводностью, теплопроводностью, твердостью, износостойкостью. Эти свойства получают в сплаве на основе вольфрама и меди, молибдена и серебра. Жаропрочные и жаростойкие порошковые материалы состоят из порошков карбидов титана, никеля, хрома, молибдена, а также из окислов алюминия, церия, бериллия. Такие сплавы работают при температуре 900–1000 °С.

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) применяют тогда, когда путем литья и обработки давлением трудно получить соответствующий сплав. Изготавливают САС с особыми физическими свойствами. САС содержат большое количество легирующих элементов (например, САС1: 25–30% Si, 5–7% Ni, остальное Al). Из САС1 делают детали приборов, работающих в паре со сталью при температуре 20–200 °С, которые требуют сочетания низкого коэффициента линейного расширения и малой теплопроводности.

Все более широкое применение получают компактные материалы (1–3% пористости) из порошков углеродистой и легированной стали, бронз, латуней, сплавов алюминия и титана для изготовления

всевозможных шестерен, кулачков, кранов, корпусов подшипников, деталей автоматических передач и других деталей машин.

Свойства сталей, полученных из порошков после термической обработки, во многих случаях уступают свойствам сталей, полученных обычными металлургическими методами. Поэтому рекомендовать порошковую технологию для высоконагруженных стальных деталей нельзя. Вследствие более низких механических свойств, высокой стоимости исходного материала и энергоемкости процесса спекания порошковая конструкционная сталь может быть использована только для изготовления малонагружаемых изделий, главным образом простой формы.

Порошковая металлургия позволяет увеличить коэффициент использования металла и повысить производительность труда. Экономическая эффективность достигается благодаря сокращению или полному исключению механической обработки. Вследствие высокой стоимости пресс-форм изготовление деталей машин методами порошковой металлургии эффективно только в массовом производстве.

Применение порошковых материалов рекомендуется при изготовлении деталей простой симметричной формы (цилиндрические, конические, зубчатые), малых масс и размеров. Конструкция и форма детали должны позволять равномерно заполнять полость пресс-формы порошками, их уплотнение, распределение напряжений и температуры при прессовании и удалении изделия из пресс-формы.

14.4. СПЛАВЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

В 1963 г. был впервые получен сплав нитинол, состоящий из 50% никеля и 50% титана. Позже был уточнен химический состав нитинола (45% титана и 55% никеля). Этот сплав обладает высокой прочностью и пластичностью. Однако главное свойство этого сплава заключается в его способности к запоминанию формы и сверхупругость. Если этому сплаву придать нужную форму в виде какого-либо изделия, а затем повторно продеформировать при более низкой температуре, то при нагреве воспроизводится размер и форма изделия, приданные первоначальной деформацией (эффект памяти). Из этого сплава изготавливают бамперы и кузовные детали автомобилей, саморазвертывающиеся устройства для космических аппаратов, он применяется в автоматических реле противопожарных устройств. Ведутся работы над созданием нитиноловых тепловых двигателей для преобразования энергии с высоким КПД.

Широкое применение получил нитинол и в медицине, что связано не только с его памятью формы и коррозионной стойкостью, но и совместимостью с тканями организма. Широкому внедрению таких сплавов препятствуют сложности в получении точного химического состава, создании однородной структуры.

14.5. АМОРФНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ (МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ СТЕКЛО) И СПЛАВЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Теория кристаллизации жидкостей допускает возможность такого сильного переохлаждения расплавов, при котором число центров и скорость роста кристаллов становятся равными нулю, и жидкость, загустевая, превращается в стекло, не претерпевая кристаллизации. Все дело заключалось лишь в создании технологии быстрого охлаждения. Был применен способ, при котором летящая вниз капля жидкого металла расплющивается между двумя холодными медными плитами, попадая на быстро вращающийся диск-холодильник. На этом диске капля металла размазывается в виде тонкой пленки. При скорости охлаждения 10^5 – 10^6 град/с получают аморфный металлический сплав. Аморфные сплавы отличаются хорошим сочетанием физических, механических и технологических свойств.

При больших толщинах аморфизация не происходит, так как решающую роль начинает играть теплоотвод от средних слоев металла. Поэтому такие сплавы можно получать только в виде тонкой ленты, фольги, проволоки. Аморфные металлические сплавы обладают идеальной химической однородностью. Аморфный сплав железо-никель-хром совершенно не корродирует в растворе соляной кислоты. Из этих сплавов изготавливают лезвия режущих инструментов, ведутся поиски получения таких сплавов с большими толщинами.

Сплавы космической технологии. В невесомости плавку металла можно вести без тигля, так как расплав под действием поверхностного натяжения принимает форму шара, свободно повисающего в пространстве.

При помощи электрических и магнитных полей можно придать шару любую форму. Благодаря таким условиям, появился новый материал – сплав металла с газами. В невесомости газ хорошо растворяется в расплаве. Сплав, состоящий по весу на 87% из газа и 13% из

стали, плавают в воде, как пробковое дерево. Применение вспененных материалов в космической технике, в авиа- и судостроении весьма перспективно. Большие возможности открывает космическая металлургия в области получения сплавов исключительно высокой чистоты.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Плакирование.

Биметаллы.

Провод сталь-медь.

Композиционные материалы.

Дисперсные композиционные материалы.

Полимерные композиционные материалы.

Порошковая металлургия.

Текущность, прессуемость, спекаемость металлических порошков.

Антифрикционные металлокерамические сплавы.

Фрикционные металлокерамические сплавы.

Спеченные алюминиевые сплавы.

Нитинол, сплавы с памятью формы.

Аморфные металлические сплавы.

Сплавы космической технологии.

Компактные порошковые сплавы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Понятие двухслойных биметаллов.
2. С какой целью применяют биметаллы?
3. Назначение биметаллической проволоки состава сталь-алюминий.
4. Дайте определение композиционным материалам.
5. Какое строение имеют композиционные материалы?
6. Что явилось прообразом создания композиционных материалов?
7. Назовите состав смешанных полимерных композиционных материалов.
8. В чем преимущество и недостатки металлпорошковой технологии изготовления деталей?
9. Назовите основные виды металлокерамических сплавов.
10. В чем сущность сплавов с памятью формы?
11. Технология получения и основные свойства аморфных металлических сплавов.
12. В чем сущность получения сплавов космической технологии?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Технология получения биметаллов происходит с помощью:
 - а) термической обработки заковки;
 - б) обработки давлением-волочением;
 - в) химико-термической обработки;
 - г) прессования.
2. С какой целью применяют биметаллы?
 - а) в целях экономии конструкционных материалов;
 - б) для повышения надежности и долговечности изделий;
 - в) для улучшения структуры и свойств по всему сечению детали;
 - г) для повышения пластичности конструкционного материала.
3. Какое строение имеет композиционный материал?
 - а) крупнозернистое;
 - б) мелкозернистое;
 - в) волокнистое;
 - г) слоистое.
4. Композиционные материалы получают с помощью:
 - а) механической обработки;
 - б) обработки давлением;
 - в) обработкой давлением и сваркой;
 - г) механической обработкой и давлением.
5. Спексаемость металлических порошков предназначена для:
 - а) повышения пластичности;
 - б) повышения прочности;
 - в) понижения пластичности;
 - г) повышения ударной вязкости.
6. Фрикционные порошковые сплавы обладают:
 - а) высоким коэффициентом трения;
 - б) износостойкостью;
 - в) высокой пористостью;
 - г) высокой электропроводностью.
7. В состав фрикционных сплавов на железной основе входят медь, свинец, графит, кремнезем, асбест и др. Какие добавки обеспечивают высокий коэффициент трения?
 - а) медь;
 - б) кремнезем;
 - в) свинец;
 - г) асбест.

8. Сплав с памятью формы имеет главное свойство в его способности к запоминанию формы. Какими еще полезными свойствами обладает этот сплав?

- а) высокой коррозионной стойкостью;
- б) высокой упругостью;
- в) совместимостью с тканями организма человека;
- г) низкой коррозионной стойкостью.

9. Аморфные металлические сплавы получают с помощью:

- а) кристаллизации жидкого расплава в форме;
- б) обработки давлением;
- в) порошковой металлургии;
- г) специального охлаждения без зарождения центров кристаллизации и роста кристаллов.

10. Какую роль играет в фрикционных порошковых сплавах добавка меди?

- а) повышает износостойкость;
- б) повышает теплопроводность;
- в) устраняет прилипаемость трущихся поверхностей;
- г) повышает коэффициент трения.

ГЛАВА 15. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

15.1. ВИДЫ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Коррозией (лат. – разъедание) металлов и сплавов называют разрушение их под действием внешней среды. Коррозионное разрушение металла начинается с поверхности и постепенно распространяется вглубь. Ежегодно от коррозии гибнут сотни тысяч тонн металлов, воплощенных в машины, строительные конструкции. Особенно велик ущерб от коррозии металла на транспорте и в электрохозяйстве. Проблемами борьбы с коррозией заняты десятки научных институтов в разных странах мира.

По физико-химическому характеру различают коррозию двух видов: химическую и электрохимическую. Химической коррозией называется такой тип коррозии, когда металл взаимодействует со средой, не проводящей электрического тока. Примером химической

коррозии может служить взаимодействие металла с кислородом (особенно при высоких температурах), сероводородом, сернистым газом.

Электрохимическая коррозия происходит при взаимодействии металлов и сплавов с жидкостями-электролитами, проводящими электрический ток (вода, пар, водные растворы солей, щелочей, кислоты). Сюда относится также коррозия в атмосфере (атмосферная коррозия), так как воздух всегда содержит некоторое количество влаги, обволакивающей тонкой пленкой металлические изделия.

При химической коррозии металл, соприкасаясь с газами, вступает с ними в химическое взаимодействие, в результате чего на поверхности металла образуется пленка окислов в виде FeO , FeS .

Коррозия развивается во времени, и характер ее разрушения металла представлен на графике (рис. 33). Сначала при соприкосновении металла с газами окисная пленка (коррозия) растет интенсивно (отрезок $O - a$), затем с убывающей интенсивностью отрезок ($a - б$). Это указывает на то, что пленка оказывает защитное действие против коррозии.

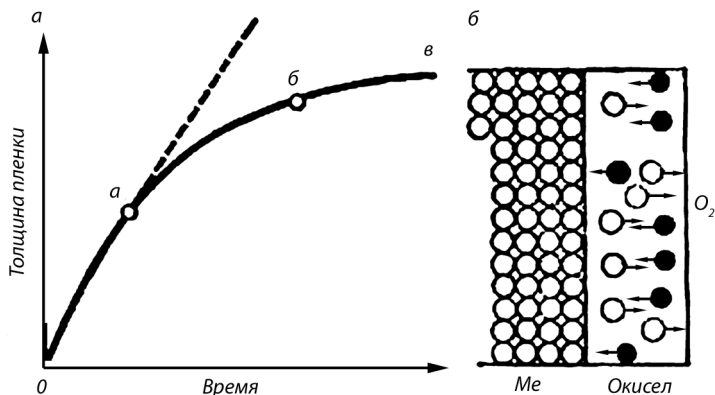


Рис. 33. График развития химической коррозии во времени (а) и схема взаимодействия газа с металлом при химической коррозии (б)

С течением времени коррозия затухает, но не прекращается (отрезок $б - в$). С повышением температуры до $800-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ скорость коррозии увеличивается в десятки раз.

Скорость разрушения металлов при электрохимической коррозии зависит от состава электролита, природы металла. Электролитом

в данном случае выступают электропроводные жидкости и различные среды, такие, как морская и речная вода, влажный воздух и т.д. В электролите положительно заряженные ионы металла переходят в раствор, в результате чего металл заряжается отрицательно, а электролит – положительно. На границе металл – электролит возникает разность потенциалов. Коррозионная стойкость различных материалов оценивается сравнением их потенциалов с потенциалом водорода, условно принятым за нуль. Учитывая это, металлы можно расположить в ряд в порядке убывания их электрохимического потенциала: золото, серебро, медь, висмут, олово, свинец, никель, кобальт и т.д. Следовательно, электрохимическая коррозия возникает, если в контакте с электролитом два различных по химической активности металла или сплава. Металл с более отрицательным потенциалом (анод) непрерывно растворяется, а с менее отрицательным (катод) не растворяется. Так как все металлические сплавы неоднородны по составу, а следовательно, и по их потенциалам.

15.2. ВИДЫ КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ

По характеру и месту распространения коррозия бывает поверхностная сплошная равномерная, поверхностная местная, поверхностная сплошная неравномерная, межкристаллитная, транскристаллитная и под напряжением (рис. 34).

При межкристаллитной коррозии металл или сплав разрушается по границам зерен, распространяясь вглубь и не вызывая заметных изменений на поверхности. Это один из опасных видов коррозии.

При транскристаллитной (или избирательной) коррозии разрушению подвергаются некоторые структурные составляющие металла, тогда как другие коррозионному разрушению не подвергаются, или разрушение происходит по определенным кристаллографическим направлениям, через отдельные кристаллы.

Коррозия под напряжением является одной из самых опасных, так как напряжения распределяются в металле неравномерно и вызывают неравномерную коррозию по границам зерен. Коррозия под напряжением (или коррозионное растрескивание), как правило, возникает только при условии одновременного взаимодействия определенных агрессивных сред и статических растягивающих напряжений.

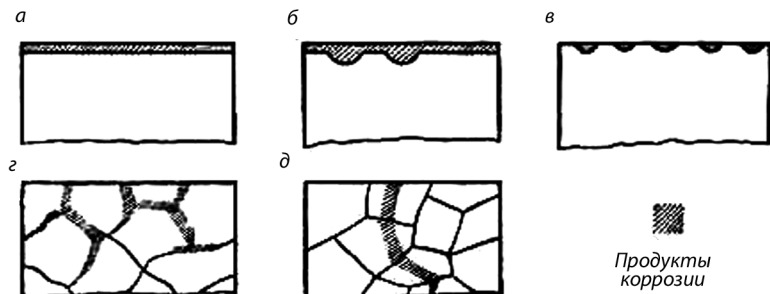


Рис. 34. Схемы различных видов коррозионного разрушения: *а* – поверхностная сплошная равномерная; *б* – поверхностная сплошная неравномерная; *в* – поверхностная местная; *г* – межкристаллитная; *д* – транскристаллитная

15.3. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ОТ КОРРОЗИИ

При выборе метода защиты необходимо установить причину и условия защиты, так как метод для одних деталей, хорошо предохраняющий в одних условиях, в других условиях неэффективен.

Все методы защиты металлов и сплавов от коррозии можно разделить на четыре группы:

- а) защита обработкой внешней среды;
- б) электрохимическая защита;
- в) защитные покрытия;
- г) легирование.

Защита обработкой внешней среды. Сущность этого метода состоит в удалении из окружающей среды наиболее активных реагентов, вызывающих коррозию, или добавлении в среду ингибиторов – специальных веществ, нейтрализующих вредное действие таких реагентов. Например, отжиг металла проводится в защитной атмосфере с уменьшением содержания кислорода. Для уменьшения коррозии металла в котельных установках и системах водоснабжения применяют обработку воды с целью удаления растворенного кислорода и солей.

Электрохимическая защита осуществляется с помощью протектора или подведенного извне постоянного тока. Защита протекторами применяется там, где детали находятся в токопроводящей среде (например, морская вода). В этом случае к изделию присоединяется

протектор (металл-защитник), являющийся анодом по отношению к тому металлу, из которого изготовлена деталь или конструкция. При образовании гальванических пар разрушается тот металл, который служит анодом, и таким образом, протектор, разрушаясь, сам будет защищать от разрушения изделие, являющееся катодом. После разрушения протектор заменяют другим. Так, например, с помощью цинкового протектора защищают от коррозии подводные части судов.

Одно из условий выбора протектора: это должен быть металл, имеющий более электроотрицательный потенциал по сравнению с металлом защищаемого изделия. Наиболее часто используют в качестве протекторов сплавы алюминия с магнием, алюминия с цинком, кадмия с цинком или чистые металлы – магний, цинк, алюминий, кадмий. Протектор из цинка наиболее эффективен при защите железистоуглеродистых и дюралюминиевых сплавов.

Отношение поверхности протектора к поверхности защищаемого изделия берется в пределах от $1/200$ до $1/1000$, а расстояние между протекторами должно составлять 3–5 м.

При защите металла от коррозии подведенным извне током должен быть источник постоянного тока и дополнительный электрод (пластинка), который служит анодом. Здесь также создается гальваническая пара, состоящая из защищаемого изделия (катод) и пластинки какого-либо металла (анод), находящихся в агрессивной среде (электролите). Схемы защиты магистрального трубопровода от коррозии с помощью протектора (рис. 35 а) и подведенным извне постоянным током и дополнительным электродом (пластиной) (рис. 35 б), приведены на рис. 35.

Защитные покрытия металлов и сплавов. Эту группу защитных покрытий металлов и сплавов от коррозии можно подразделить на следующие подгруппы:

- металлические;
- неметаллические;
- покрытия оксидными пленками.

Сущность металлических защитных покрытий состоит в том, что на поверхность детали наносят различными способами тонкий слой другого металла, более коррозионностойкого – цинк, свинец, олово, хром, никель, медь, серебро и их сплавы. Применяют следующие технологии нанесения металлических покрытий: горячий, электролитический, диффузионный, плакирование, распыление.

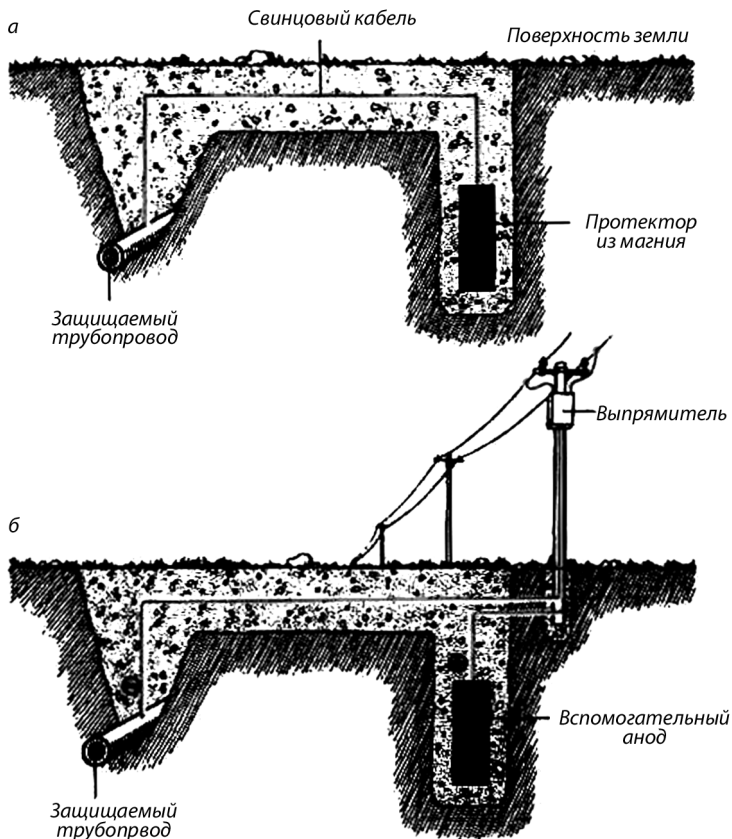


Рис. 35. Схема защиты трубопровода от коррозии с помощью протектора

Горячий способ предусматривает погружение защищаемого металла (изделия) в расплавленный металл олова (лужение), цинка (цинкование), свинца (свинцевание). Условием эффективного использования горячего метода покрытий является образование сплава между основным и покрываемым металлами. Лужение используют для покрытия оловом консервной жести; цинкование – для покрытия кровельного железа, проволоки, водопроводных труб; свинцевание – для покрытия химической аппаратуры.

Электролитический способ нанесения металлических покрытий состоит в осаждении металлов из водных растворов солей на поверхность изделия при помощи электрического тока, подведенного извне. Для нанесения покрытий применяют никель, серебро, медь, хром, цинк, олово и другие металлы. Этот способ является наиболее эффективным при защите деталей от коррозии. Для нанесения покрытия изделие помещают в ванну с раствором солей серебра, олова, хрома, никеля и др., служащих электролитом. Изделие соединяют с отрицательным полюсом источника постоянного тока, и оно служит катодом, анодом служит пластинка осаждаемого металла, которую подключают к положительному полюсу. При пропускании электрического тока на изделии кристаллизуется металл из растворов солей электролита. Такое покрытие имеют автомобильные бамперы с применением электролита никелевой соли, например, сернокислого никеля.

Диффузионная технология основана на поверхностном насыщении – диффузии в поверхностные слои изделия другого металла, более коррозионностойкого, при высокой температуре. В результате диффузии металла в поверхностный слой изделия образуется слой с повышенной коррозионной стойкостью при обычных и высоких температурах.

Плакирование – это технология получения биметаллов совместной горячей прокаткой двух металлов – основного и защитного. В качестве защитного металла применяют медь, латунь, никель, алюминий. При плакировании горячей прокаткой происходит диффузия одного металла в другой под влиянием давления и высокой температуры.

Покрытие методом распыления состоит в нанесении расплавленного и распыленного металла на поверхность изделий. Этот вид покрытия применяется для защиты от коррозии мостов, морских судов, водонапорных баков и др.

Процесс металлизации осуществляется при помощи аппарата – металлизатора, по внешнему виду напоминающего пистолет. Распыленный металл откладывается на покрываемой поверхности изделия почти остывшим, поэтому сплавления между металлами не происходит. Связь металла обусловлена только силой сцепления. Поэтому этот способ применяется там, где другие способы неприменимы.

Неметаллические защитные покрытия включают такие материалы, как краски, лаки, эмали, пластмассы, резину, синтетические смолы и др. Роль неметаллических покрытий как средств защиты от коррозии сводится к изоляции металла от внешней среды.

Самыми распространенными неметаллическими покрытиями являются краски, лаки, эмали. Покрытия пластмассами, резиной применяются главным образом в химической промышленности как кислотоупорную защиту.

Защитные покрытия оксидными пленками относят к химическим покрытиям: на поверхности металлических изделий искусственно создают защитные оксидные пленки. Защитные действия таких пленок основаны на механическом препятствии ионам электролита или атомам внешней среды взаимодействовать с металлом изделия. Оксидная пленка должна равномерно покрывать всю поверхность изделия, быть плотной и беспористой.

Защита металлов от коррозии методом легирования. Этот вид защиты основан на легировании основного металла другими элементами, образующими на поверхности устойчивые окисные пленки, которые и защищают металл от коррозии. Для стали такими элементами являются хром, никель, титан.

15.4. КОРРОЗИОННО-СТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Это материалы, отличающиеся повышенной коррозионной стойкостью. Они подразделяются на металлические, неметаллические, композиционные.

К металлическим относятся стали, чугуны, сплавы на основе никеля, меди (бронзы, латуни), алюминия, титана, циркония, тантала, ниобия и др.

На практике повышение коррозионной стойкости технических сплавов добиваются легированием хромом, никелем, молибденом, медью. Такие стали называются соответственно хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые, хромоникельмолибденомедистые. Коррозионно-стойкие чугуны – хромоникелевый, высококремнистый, кремнисто-молибденовый.

К неметаллическим относятся алюмосиликаты, кальциевые силикаты, силикатные и кварцевые стекла, стекловолоконистые материалы (стеклянная ткань, стеклянная вата), слюда и асбест.

К композиционным на основе металлов относятся никель, титан, алюминий, упрочненные нитевидными кристаллами окиси алюминия, бора, углерода, кремния, бериллия. К композиционным коррозионно-стойким относятся материалы на основе неметаллических материалов (пластмасс).

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Химическая коррозия.
Электрохимическая коррозия.
Атмосферная коррозия.
Межкристаллитное коррозионное разрушение.
Транскристаллитное коррозионное разрушение.
Электрохимическая защита от коррозии.
Ингибиторы.
Протектор.
Электролитический способ покрытия.
Плакирование.
Процесс металлизации.
Оксидные пленки.
Стеклянная вата.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Понятие коррозии металлов.
2. Виды коррозии металлов и их характеристика.
3. Что является причиной коррозии металлов?
4. Охарактеризуйте виды коррозионных разрушений металлов.
5. Назовите четыре группы методов защиты металлов от коррозии.
6. Какая роль ингибиторов в борьбе с коррозией металлов?
7. В чем сущность протекторной защиты металлов от коррозии?
8. Дайте сравнительную оценку защита от коррозии с помощью протектора и с помощью подведенного извне источника постоянного тока.
9. В чем сущность защиты металлов от коррозии оксидными пленками?
10. Назовите металлические коррозионно-стойкие материалы.
11. Назовите основные неметаллические защитные покрытия.
12. Назовите неметаллические коррозионно-стойкие материалы.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Химическая коррозия происходит при взаимодействии металла с:
 - а) водяным паром;
 - б) водой;
 - в) кислородом;
 - г) азотом.

2. Электрохимическая коррозия происходит при взаимодействии металла с:
 - а) углекислым газом;
 - б) сероводородом;
 - в) с водным раствором соды;
 - г) атмосферным воздухом.
3. Коррозия металлов происходит вследствие:
 - а) больших напряжений;
 - б) низкой твердости;
 - в) контактов с внешней средой;
 - г) минусовых температур при работе.
4. Что такое коррозия металлов?
 - а) разъедание металлов под воздействием внешней среды;
 - б) эрозия – это синоним коррозии;
 - в) разрушение поверхностного слоя металла вследствие механического воздействия;
 - г) разрушение поверхностного слоя металла вследствие воздействия электрических разрядов.
5. В чем сущность защиты металлов от коррозии обработкой внешней среды?
 - а) создать высокую температуру;
 - б) создать низкую температуру;
 - в) ввести во внешнюю среду ингибиторы;
 - г) создать защитную среду.
6. Протекторная защита металла обычно применяется при работе:
 - а) деталей в загазованной среде;
 - б) металлических конструкций в агрессивных средах;
 - в) магистральных трубопроводов;
 - г) деталей и конструкций в инертной среде.
7. Защита металла от коррозии лужением происходит с помощью:
 - а) распыления;
 - б) плакирования;
 - в) погружения в распыленный металл;
 - г) диффузионного насыщения поверхностного слоя.
8. Плакирование производится с помощью:
 - а) прокатки;
 - б) волочения;
 - в) окунания;
 - г) диффузионного насыщения поверхностного слоя.

9. Среди перечисленных ниже методов защиты металлов от коррозии назовите самые распространенные:

- а) защита обработкой внешней среды;
- б) электрохимическая защита;
- в) защитные покрытия;
- г) легирование.

10. Какие из перечисленных ниже методов защиты металлов от коррозии являются наиболее эффективными?

- а) защита обработкой внешней среды;
- б) электрохимическая защита;
- в) защитные покрытия;
- г) легирование.

ЧАСТЬ II

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение пластических масс будет связано с соответствующими разделами курса органической химии. Необходимо знать строение и свойства полимеров, их классификацию.

Иметь четкое представление о термопластичных и термореактивных полимерах, их свойствах. Термореактивные полимеры под действием температуры и давления вначале размягчаются, а при охлаждении переходят в твердое состояние и при повторном нагреве не размягчаются.

Получив сведения о полимерах, изучите состав, свойства пластмасс, основные их виды, краткую характеристику и области применения. Проанализируйте физико-механические свойства пластмасс в сравнении со сталями.

При изучении древесных материалов обратите внимание на строение, физико-механические свойства, виды древесных материалов, способы химической обработки.

Изучая стекло, прежде всего обратите внимание на химический состав, физико-химические свойства, виды технических стекол и стеклоизделий, области их применения.

Целесообразно ознакомиться с перспективным материалом – керамикой, ее составом, свойствами. Заключительным этапом в изучении неметаллических материалов должны быть рассмотрены в комплексе составы резины, асбестовых, текстильных, бумажных материалов, клеев и лакокрасочных материалов. Обратите внимание на их состав, свойства, области применения.

ГЛАВА 16. ПЛАСТИЧЕСКИЕ МАССЫ

16.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

Пластмассами называют материалы, основным компонентом которых является синтетический или природный полимер, а другими

компонентами служат вспомогательные вещества. Полимеры – высокомолекулярные соединения, состоящие из огромного количества молекул вещества (звеньев), называемых мономерами. Обладая способностью при определенных условиях последовательно соединяться друг с другом, мономеры образуют длинные цепи с линейной (а), разветвленной (б) и сетчатой (сшитой) (в) структурами связи, в результате чего получают макромолекулы полимера. Схема структур макромолекул полимеров представлена на рис. 36.

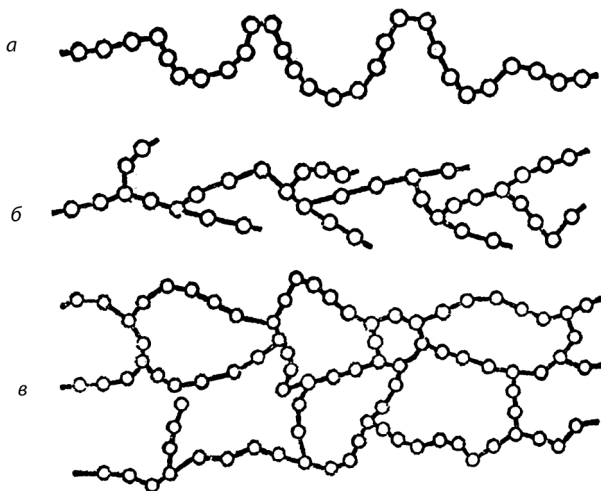


Рис. 36. Схема структур макромолекул полимеров

Так, этилен $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ является полимером и используется для получения макромолекулы полиэтилена, а другими компонентами могут быть вспомогательные вещества. Суммарная формула полиэтилена – $[-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -]_n$. Индекс n в формуле полиэтилена обозначает число элементарных звеньев (мономеров), входящих в состав макромолекулы. Это число (индекс) характеризует степень полимеризации, т.е. степень химического сложения мономеров в полимер за счет раскрытия двойных связей. Все синтетические полимеры разделяют на полимеризационные и поликонденсационные.

При реакции полимеризации большое количество одинаковых молекул простых веществ (мономеров) соединяются в одну сложную молекулу (полимер) без выделения побочных продуктов и без изменения первоначального состава. Полимеризацией получают полиэти-

лен, поливинилхлорид, полипропилен, полиметилметакрилат (орг-стекло) и др.

При реакции поликонденсации из нескольких простых соединений образуется полимер, состав которого отличается от состава исходных продуктов, и при этом выделяются побочные вещества (вода, аммиак, уголекислота и др.). Поликонденсацией получают фенолоформальдегидные, карбамидные, полиамидные и другие синтетические полимеры.

Синтетические полимеры получают при переработке каменного угля, природного и промышленного газа, нефти и других видов сырья. К природным полимерам или смолам относят каучук, целлюлозу, канифоль, природные битумы. Полимеры с линейной и разветвленной структурами макромолекул относятся к термопластичным (термопластам), полимеры с сетчатой структурой – к термореактивным (реактопластам). Полимеры при обычной температуре могут находиться в одном из трех физических состояний: стеклообразном, высокоэластическом или вязкотекучем.

Примером стеклообразного состояния полимера может служить полистирол, высокоэластического состояния – каучук, вязкотекучего – полиизобутилен. В машиностроении полимеры используются, как правило, в стеклообразном и высокоэластическом состояниях. Переработка полимеров в изделия осуществляется в вязкотекучем и, реже, в высокоэластическом состояниях.

16.2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПЛАСТМАССАХ

Пластмассами называют материалы, полученные на основе природных или синтетических полимеров. Полимеры являются связующими веществами, определяющими основные свойства пластмасс. По составу различают простые и сложные пластмассы. К простым относятся пластмассы, состоящие только из полимера, а к сложным – содержащие, кроме полимера, различные добавки, такие как наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители, смазывающие вещества, антипирены и др. Введение добавок производится с целью воздействия на межмолекулярные силы полимеров, придания им специальных свойств.

Наполнители вводятся в количестве 40–70% (по массе) для улучшения механических свойств, уменьшения усадки, снижения стоимости пластмассы. В качестве наполнителей применяют порошкообразные (мел, древесная мука, тальк, кварцевая мука, графит, сажа);

волокнистые (асбестовые, древесные, стеклянные, хлопчатобумажные волокна) и слоистые (древесный шпон, бумага, стеклоткань) материалы.

Пластификаторы улучшают пластические свойства пластмасс, улучшают их формируемость. В качестве пластификаторов используют камфору, олеиновую кислоту, эфиры.

Стабилизаторы повышают долговечность деталей из пластмасс, которые под действием кислорода, температуры подвергаются старению, вызывающего уменьшение их эластичности и повышение хрупкости.

Отвердители вводят для сокращения времени отверждения пластмасс и ускорения процесса изготовления деталей.

Красители придают пластмассам определенный цвет. В качестве красителей используют нигрозин, охра, сурик и др.

Смазывающие вещества применяют для предупреждения прилипания деталей к стенкам формы в процессе их формования.

Антипирены используют для уменьшения горючести пластмасс. В зависимости от свойств полимеров при нагревании и охлаждении их пластмассы подразделяются на термопластичные и термореактивные. К термопластичным пластмассам относятся пластмассы с линейной или разветвленной структурой полимеров. Свойства таких пластмасс обратимо изменяются при многократном нагревании и охлаждении.

Для термореактивных пластмасс характерно сетчатое строение полимеров, и свойства таких пластмасс необратимы при изменении температуры после нагревания и охлаждения (не размягчаются при повторном нагревании). Они отличаются от термопластичных большей прочностью, теплостойкостью и твердостью.

16.3. СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

16.3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Плотность пластмасс зависит от типа и количества связующего вещества и наполнителя, а также технологии изготовления. Наиболее легкими пластиками являются полиэтилен, полистирол, а самый тяжелый – фторопласт-4 с плотностью $2,2 \text{ г/см}^3$. Плотность пластмасс обычно равна $1,1\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$, а у пористых – $0,01\text{--}0,2 \text{ г/см}^3$. Таким образом, пластмассы по этому свойству имеют значительное преимущество по сравнению с металлическими сплавами.

Коэффициент линейного расширения пластмасс в несколько раз больше, чем у металлов. Введение наполнителей его снижает.

Коэффициент теплопроводности пластмасс в несколько раз меньше, чем у металлов. Введение наполнителей может увеличить теплопроводность.

Теплостойкость пластмасс зависит от типа и количества полимера и наполнителя и составляет 35–300 °С. Некоторые из пластиков могут выдерживать перегрев до 600 °С и более.

Под действием окружающей среды пластмассы медленно стареют. *Старение* развивается при одновременном или раздельном действии нагрева, окисления, механических напряжений. Интенсивность старения определяется условиями эксплуатации и структурой. Пластмассы, стойкие в одних условиях, в других быстро разрушаются. Термопластичные пластмассы стареют быстрее, чем термореактивные.

Пластмассы выдерживают и низкие (минусовые) температуры без разрушения, хотя их механические свойства при этом существенно уменьшаются. Наименее морозостойким является поливинилхлорид.

При водо- и влагопоглощении возникают внутренние напряжения, приводящие к короблению или растрескиванию. Наиболее водостойкими являются полиэтилен и полистирол.

Пластмассы, кроме полиэтилена и полиизобутилена, масло- и бензостойки и могут работать в этих средах.

Некоторые пластмассы бесцветны, прозрачны, способны пропускать лучи света с широким диапазоном волн, в том числе и ультрафиолетовые, и значительно превосходят в этом отношении силикатные стекла. Так, например, органическое стекло пропускает примерно 73% ультрафиолетовых лучей, а силикатное всего 1–5%. Этот вид пластмассы незаменим в оптической промышленности, в остеклении самолетов.

Большинство пластмасс и изделия из них имеют твердую блестящую поверхность. Изделия из пластмасс не нуждаются в лакировке или в окрашивании, так как в процессе производства путем добавления различных пигментов можно получать любые цвета и оттенки изделий, в том числе и многоцветные имитации натуральных камней, кожи, ценных пород дерева.

16.3.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Пластмассы характеризуются вязкоупругим поведением полимеров под нагрузкой. Поэтому механические свойства оценивают по результатам испытаний на растяжение, сжатие, удар и др. Все виды

пластмасс имеют низкие модули упругости, которые в 100–1000 раз меньше, чем у металлов.

Основными положительными особенностями пластмасс являются высокая устойчивость к агрессивным средам и атмосферным условиям, низкий удельный вес изделий, высокие диэлектрические и теплоизоляционные свойства.

По физико-механическим свойствам при обычной температуре пластмассы можно подразделить на конструкционные, фрикционные, антифрикционные, электроизоляционные, тепло- и звукоизоляционные, декоративные и др.

16.4. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПЛАСТМАСС И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

В настоящее время нефтехимическая промышленность является сырьевой базой для производства синтетических полимеров, количество видов которых с каждым годом увеличивается. Производство пластмасс, широко используемых в качестве конструкционных материалов, определяется весьма обширной номенклатурой. Эти пластмассы по отношению к тепловому воздействию делятся на две большие группы: термопластичные и термореактивные.

Термопластичные пластмассы (термопласты). К ним относятся следующие наиболее применяемые виды: полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, органическое стекло, капрон, фторопласт-4, полиформальдегид, поликарбонат и др.

Полиэтилен. Термопластичный материал белого цвета, твердый, обладающий высокой химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами.

Области применения: трубы и арматура, емкости, пленочные материалы, изоляции высокочастотных кабелей; из волокон изготавливают канаты, спецодежду; несилловые конструкционные детали в машиностроении и радиотехнике.

Полипропилен. По сравнению с полиэтиленом полипропилен характеризуется повышенной прочностью и теплостойкостью (160 °С против 120 °С для полиэтилена). Его недостаток – пониженная морозостойкость (–15 °С) по сравнению с полиэтиленом (–70 °С). По диэлектрическим и химическим свойствам он близок к полиэтилену. Его используют для электроизоляции, изготовления труб, различных конструкционных деталей (рулевые колеса автомобилей).

Полистирол. Это продукт полимеризации стирола, обладает высокой прочностью, водостойкостью, химической стойкостью, бесцве-

тен. Недостатки полистирола – хрупкость, небольшая морозо- и светостойкость. Из полистирола изготавливают вентиляционные решетки, изоляционный материал для электроизмерительных приборов, для деталей электронной техники.

При введении в полистирол порофоров и последующем вспенивании получают пенополистирол, характеризующийся хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами, малой плотностью, химической стойкостью и водостойкостью.

Поливинилхлорид (винипласт). Этот вид пластмасс получают полимеризацией винилхлорида. Обладает высокой химической стойкостью к действию коррозионных сред. Теплостойкость поливинилхлорида не выше 70 °С. При отрицательных температурах он становится хрупким. Легко подвергается механической обработке и сварке, хорошо склеивается специальными клеями. Винипласт используют для производства труб, листов, емкостей для химической и пищевой промышленности, гальванических ванн, вентилях, фланцев и др.

Органическое стекло характеризуется хорошей светопрозрачностью, пропускает 99% видимых и 75% ультрафиолетовых лучей. Органическое стекло носит название полиметилметакрилат, является продуктом полимеризации органического эфира в виде листов или пластин различной толщины от 0,5 до 50 мм и более. Его применяют для остекления транспортных средств, изготавливают низкочастотные изоляторы, трубы, пылезащитные линзы и другие детали.

Капрон – это пластик на основе полиамидных смол, прочный, упругий, с низким коэффициентом трения, с очень высокой стойкостью к щелочам, бензину, спирту, гигроскопичен, но в то же время вода для него является пластификатором и придает ему эластичность. Капрон применяется для изготовления искусственного волокна, подшипников скольжения, зубчатых колес, втулок.

Фторопласт-4. Это один из видов пластмасс, обладающий высокой химической стойкостью ко всем кислотам и щелочам, совершенно не поглощает воду, может работать в диапазоне температур от –200 до +260 °С, является самым лучшим диэлектриком на любых частотах электрического тока, имеет самый низкий коэффициент трения. Его используют в качестве электроизоляционного и антифрикционного материала и для несилевых деталей, работающих в агрессивных жидкостях. Хорошо зарекомендовали себя фторопластовые сепараторы подшипников качения, позволяющих увеличить продолжительность работы узлов трения в 2–4 раза в местах, труднодоступных для смазки.

Полиформальдегид является наиболее жестким термопластом, имеет хорошие антифрикционные свойства, химически стойкий, выдерживает высокие температуры. Его используют для изготовления подшипников скольжения, шестерен при повышенных нагрузках.

Поликарбонат отличается высокой теплостойкостью, морозостойкостью, малой ползучестью, низким водопоглощением. Для деталей из поликарбоната характерна малая и равномерная усадка, что позволяет получать изделия высокого класса точности. Материал обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Из него изготавливают корпусные детали электроизоляционного назначения.

Термореактивные пластмассы (реактопласты) на основе термореактивных полимеров отличаются от термопластов практически полным отсутствием хладотекучести под нагрузкой, повышенной теплостойкостью, нерастворимостью, постоянством физико-механических свойств в температурном режиме их эксплуатации. Термореактивные пластмассы в своем составе наряду со связующими смолами имеют различные наполнители: порошковые, волокнистые или слоистые. В зависимости от характера наполнителя термореактивные пластмассы подразделяются, в основном, на пресс-порошки, волокнистые, слоистые, газонаполненные.

Пресс-порошки представляют собой композиционный материал на основе фенолформальдегидной смолы с любым порошковым наполнителем. В качестве наполнителя в изделиях общетехнического назначения применяют древесную муку. Для получения высокой термостойкости применяют асбестовую муку. Повышение водостойкости и диэлектрических свойств достигается кварцевой мукой. Для снижения хрупкости изделий на основе фенолформальдегидной смолы ее смешивают с синтетическим каучуком. Из пресс-порошков изготавливают корпуса и крышки приборов, предназначенных для работы при повышенных температурах, детали электротехнического назначения (розетки, патроны, штепсели и др.).

Волокниты. Фенолформальдегидные смолы являются также основой волокнитов. В качестве наполнителей применяются хлопковые очесы, асбестовое и стеклянное волокно. Волокниты имеют высокую ударную вязкость по сравнению с пресс-порошками, работают при температурах 100–120 °С. Асбоволокниты отличаются теплостойкостью до 200 °С, хорошими фрикционными свойствами, имеют высокие электроизоляционные свойства.

Стекловолокниты получают с использованием стеклянных волокон, а также с наполнителем в виде стеклянной ленты, которая обеспечивает материалу повышенные механические свойства и термостойкость.

Слоистые пластмассы. В качестве наполнителя применяются текстильная, асбестовая, стеклянная ткани, бумага. Слоистые пластмассы обладают высокой прочностью. К слоистым относятся гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, асботекстолит.

Гетинакс – слоистый прессованный материал, состоящий из двух и более слоев бумаги, пропитанных смолами. Обладает высокими диэлектрическими свойствами. Гетинакс выпускается под маркой А, Б, В, Г. Марки А и Б отличаются повышенными диэлектрическими свойствами, марки В и Г – повышенной механической прочностью. Гетинакс применяется для изготовления изоляционных деталей для телевизионной и радиотелефонной аппаратуры, декоративных материалов для отделочных работ.

Текстолит – слоистый прессованный материал из хлопчатобумажной ткани, пропитанной смолой. Применяется для изготовления деталей, работающих под нагрузкой (шестерни, втулки), в качестве антифрикционного материала для изготовления подшипников скольжения, а также для деталей электрооборудования (электрощитки, панели).

Асботекстолит изготавливают горячим прессованием на основе асбестовой ткани, пропитанной смолой. Для повышения механической прочности и теплопроводности асбестовая ткань может армироваться медной проволокой. Асботекстолит устойчив к резким колебаниям температуры и влажности, отличается высокими фрикционными, электроизоляционными и теплоизоляционными свойствами. Из асботекстолита изготавливают фрикционные накладки для тормозных колодок и дисков сцепления.

Стеклотекстолит – слоистый прессованный материал, состоит из стеклянной ткани и смолы. Обладает высокими прочностными диэлектрическими свойствами, термо- и водостоек. Выпускается в виде листов и плит толщиной от 0,5 до 30 мм. Печатные платы, нашедшие широкое применение в радиотехнических и в электронных приборах, изготавливаются на основе стеклотекстолитов. В автомобилестроении из стеклопластиков изготавливают кузова и другие высоконагруженные детали.

Газонаполненные пластмассы состоят из мельчайших ячеек или пор, отделенных друг от друга тонкой пленкой полимера. Материалы, состоящие из замкнутых, не сообщающихся ячеек, называются пе-

16.5. Особенности применения пластмасс в машиностроении

нопластами, а материалы, в которых преобладают сообщающиеся между собой поры, – поропластами.

Пенопласты обладают высокой звукоизоляцией, а поропласты обеспечивают высокие тепло- и электроизоляционные свойства.

Пено- и поропласты получают насыщением расплавленной смолы вспенивателями, при этом происходит вспенивание полимера.

Эпоксидная смола из вязкожидкого состояния переходит в твердое неплавкое и нерастворимое состояние при введении в нее отвердителей. Эпоксидная смола имеет плотность 1,15–1,20 т/м³, предел прочности при растяжении составляет 700–900 кг/см², прочность клеевого шва при разрыве 450–650 кг/см². Такая смола не подвергается химическому воздействию смазочных материалов, имеет хорошую адгезию с металлами, стеклом, деревом. В промышленности используется для изготовления стеклопластов, в качестве заливочного, пропиточного, клеевого, герметизирующего составов, а также для изготовления разнообразных изделий. Составы эпоксидной смолы имеют хорошую жидкотекучесть, способность отверждаться при комнатной температуре, что позволяет изготавливать из них изделия сложной конфигурации методом литья без использования дорогих пресс-форм, различных штампов для холодной вытяжки, приспособлений для механической обработки и всевозможных машиностроительных деталей. Для изготовления деталей наиболее часто применяют эпоксидные смолы следующего состава (в вес. ч.):

Эпоксидная смола	100
Пластификаторы (дибутилфтолат)	10–20
Отвердитель (полиэтиленполиамин)	7–10
Наполнитель (металлический порошок алюминия, железа)	50–100

Эпоксидный состав заливают в гипсовую форму, изготовленную по деревянной модели, и покрывают ее разделительным слоем – трансформаторным маслом с техническим вазелином. Продолжительность отверждения эпоксидного состава в гипсовых формах при температуре 18–20 °С составляет 1–5 ч.

16.5. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТМАСС В МАШИНОСТРОЕНИИ

При конструировании деталей из пластмасс следует учитывать, что их свойства будут определять надежность и долговечность рабо-

ты. Необходимо учитывать и то, что со временем пластмассы стареют, и их исходные свойства становятся весьма условными. При длительном нагружении пластмассы склонны к ползучести. Поэтому такие понятия, как предел текучести, предел прочности, являются для пластмасс весьма условными. В этом случае нельзя планировать прочностные свойства, не учитывая времени, в течение которого деталь должна работать. Вот почему, проектируя детали из пластмасс, необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1. Силовые нагрузки должны действовать на наиболее прочные сечения и по возможности кратковременно.
2. В конструкциях не допускается значительная разностенность (не более 1:3 при литье и 1:6 при прессовании).
3. При изготовлении деталей из пластмасс необходимо учитывать их ограниченную жесткость, для повышения которой следует предусмотреть ребра жесткости или арматуру.
4. Проектировать из пластмассы можно только такие детали, которые будут работать в оптимальном для данной пластмассы температурном режиме с учетом возможного влияния нагружения на термические характеристики
5. Пластмассы не могут быть использованы для изготовления деталей, которые работают с большой нагрузкой и от которых требуется повышенная точность.

Сегодня область использования пластмасс в качестве конструкционного материала весьма обширна. Это автомобилестроение, самолетостроение, станкостроение, сельхозмашиностроение и многие другие отрасли.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Синтетические и природные полимеры.

Термопласты и реактопласты.

Мономеры.

Стабилизаторы.

Антипирены.

Пластификаторы.

Отвердители.

Сетчатое строение полимеров.

Старение пластмасс.

Органическое стекло.

Волокниты.
Гетинакс.
Текстолит.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что представляют собой синтетические и природные полимеры?
2. Назовите примерный состав пластмасс.
3. Назовите основные физические свойства пластмасс.
4. От чего зависит плотность пластмасс?
5. Что такое термопластичные и термореактивные пластмассы?
6. Дайте сравнительную характеристику физических свойств пластмасс и металлов.
7. Дайте сравнительную характеристику механических свойств пластмасс и металлов.
8. Назовите виды термопластичных пластмасс.
9. Назовите виды термореактивных пластмасс.
10. Классификация пластмасс по применению.
11. В чем состоят особенности применения пластмасс в машиностроении?
12. Приведите конкретные области применения пластмасс в качестве конструкционного материала.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Какова структура макромолекул термопластичных полимеров?
 - а) линейная;
 - б) разветвленная;
 - в) сетчатая (сшитая);
 - г) линейная и сетчатая.
2. Какова структура макромолекул термореактивных полимеров?
 - а) линейная;
 - б) разветвленная;
 - в) сетчатая;
 - г) линейная и сетчатая.
3. Коэффициент линейного расширения пластмасс в сравнении с металлами будет:
 - а) больше;
 - б) меньше;
 - в) примерно одинаковый.

4. Коэффициент теплопроводности пластмасс в сравнении с металлами будет:
 - а) больше;
 - б) меньше;
 - в) примерно одинаковый.
5. При точении пластмасс в качестве охлаждающей среды целесообразно применять:
 - а) воду;
 - б) машинное масло;
 - в) эмульсию;
 - г) сжатый воздух.
6. С чем связано старение деталей из пластмасс?
 - а) с технологией их изготовления;
 - б) с размером и весом деталей;
 - в) с составом деталей;
 - г) с условиями эксплуатации.
7. Назовите состав пластмассы гетинакс:
 - а) из бумаги, пропитанной смолами;
 - б) из ткани, пропитанной смолами;
 - в) из бумаги, тканей, пропитанных смолами;
 - г) из асбестовой ткани, пропитанной смолами.
8. Текстолит – слоистый прессованный материал – состоит из:
 - а) бумаги, пропитанной смолами;
 - б) ткани, пропитанной смолами;
 - в) бумаги, тканей, пропитанных смолами;
 - г) стеклянной ткани и смолы.
9. Как термопластичные пластмассы при многократном нагревании и охлаждении меняют свое первоначальное состояние?
 - а) размягчаются и затвердевают многократно;
 - б) размягчаются и затвердевают необратимо;
 - в) размягчаются и затвердевают через раз;
 - г) не размягчаются и не затвердевают.
10. Органическое стекло характеризуется следующими основными свойствами:
 - а) жаропрочностью;
 - б) светопрозрачностью;
 - в) упругостью;
 - г) высокой пластичностью.

ГЛАВА 17. ДРЕВЕСНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДРЕВЕСНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Древесина находит широкое применение во многих отраслях народного хозяйства. Из нее вырабатывают бумагу, картон, скипидар, метиловый и этиловый спирты, пластмассы, синтетический каучук и многое другое. Древесина является основным материалом для плотницких, столярных, художественно-отделочных работ. Сегодня древесина утратила роль основного строительного материала, но сохраняет ведущую роль в производстве мебели. Дерево – излюбленный материал художников. Из него создаются скульптура, токарные резные изделия и мозаика. Широкое применение имеет древесина в учебном процессе по курсу «Технология». Древесина – природный материал растительного происхождения. Она состоит из 45–55% целлюлозы ($C_6H_{10}O_5$), 20–30% лигнина, остальное – углеводороды и другие компоненты.

Достоинствами древесины как конструкционного материала являются плотность, высокая удельная прочность, хорошая сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам, высокая стойкость к растворам солей, масел, кислот.

Древесина обладает хорошими технологическими свойствами: легко обрабатывается, допускает возможность соединения деталей деревянных конструкций клеем, гвоздями, шурупами.

Недостатками древесины являются гигроскопичность, которая изменяет размеры, форму и прочность деталей, имеет склонность к загниванию и отсутствие огнестойкости.

Сегодня находят применение следующие породы дерева: береза, сосна, ель, ясень, орех, липа, бук, акация, красное дерево, лимонное и др.

17.2. СТРОЕНИЕ ДЕРЕВА

В растущем дереве условно можно выделить три части: корни, ствол, крону. Ствол представляет основную часть дерева, которая используется в качестве древесных конструкционных материалов.

Так как древесина является волокнистым материалом, то изучение ее строения проводят по трем разрезам: *торцевому* (перпендикулярному волокнам), *радиальному*, проходящему вдоль волокон ствола по диаметру или радиусу, и *тангенциальному*, идущему вдоль ствола под некоторым углом. Разрезы ствола древесины представлены на рис. 37.

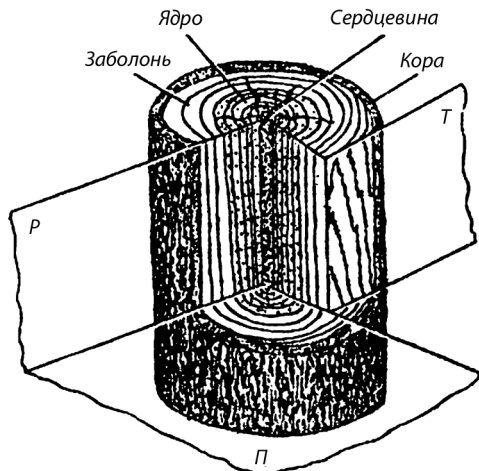


Рис. 37. Разрезы ствола древесины: Р – радиальный; Т – тангенциальный; Π – поперечный (торцевой)

На поперечном разрезе видны *годовые кольца*, которые состоят из волокон. Кроме продольных волокон, составляющих основную массу древесины, имеются поперечные волокна, называемые *сердцевидными лучами*. *Сердцевина* расположена в центре ствола в виде темного пятнышка диаметром 5–10 мм. Центральная часть поперечного разреза составляет *ядро*, а периферическая зона, ограничивающая ядро, – *заболонь*.

Кора – наружный слой ствола дерева, предохраняющий его от резких колебаний температуры, испарения влаги и от механических повреждений.

Камбий – тонкий, неразличимый глазом слой между заболонью и лубом, состоит из живых клеток, обуславливающих прирост древесины и коры.

Луб расположен между камбием и корой. В растущем дереве проводит питательные вещества от кроны вниз ствола.

17.3. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

Пороками древесины называют нарушения нормального строения древесины, ухудшающие ее свойства. К ним относятся сучки, грибковые поражения, пороки формы ствола, химические окраски, трещины, повреждения насекомыми, инородные включения и различные деформации.

Сучки – наиболее распространенный порок, которые вызывают резкое изменение направлений волокон, из-за чего прочность древесины при растяжении и изгибе резко падает.

Трещины бывают внутренние, радиальные, кольцевые по годичному слою, наружные продольные на стволе. Трещины также снижают прочность на 5–10%.

Косослой характеризуется спиральным расположением волокон в отношении основного ствола.

Грибные поражения древесины выражаются в изменении ее окраски и нарушении целостности. Грибок развивается в воздушной влажной среде при высоких температурах до 40 °С. При грибковом поражении древесина разрушается, превращаясь в труху и гниль. Для предотвращения древесины от гниения ее подвергают сушке на воздухе и в специальных камерах.

17.4. ПРЕДОХРАНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ

Древесные материалы могут подвергаться ряду неблагоприятных влияний, из-за которых происходит преждевременное их разрушение.

Наиболее часто разрушение древесины происходит от загнивания и от огня. Для предохранения древесины от загнивания применяется ряд способов, из которых наиболее распространенным является *промазка и пропитка антисептиками*, а для защиты от огня ее промазывают или пропитывают особыми химическими веществами – *антипиренами*.

Антисептиками называют такие химические вещества, которые оказывают ядовитое действие на грибы, являющиеся главной причиной гниения древесных материалов. Антисептики должны удовлетворять следующим условиям:

- обладать высокими антисептическими свойствами в отношении грибов;

- легко проникать в толщу древесины;
- быть стойкими, не испаряться и не выщелачиваться влагой;
- не оказывать вредного действия на само дерево и окружающую среду, т.е. не быть ядовитыми для человека, животных;
- быть дешевым.

Все применяемые антисептики можно разделить на три группы:

- 1) употребляемые в жидком виде для пропитки и для промазывания;
- 2) эмульсионные;
- 3) газообразные.

К первой группе относятся хлористый цинк $ZnCl_2$, медный купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, фтористый натрий NaF .

Антисептики *второй группы* представляют собой масла, получаемые при перегонке нефти, угля. *Газообразные* антисептики применяются для борьбы с домовыми грибами, для умерщвления спор в древесине на складах. Наиболее часто применяются в качестве газообразных антисептиков *сернистый ангидрид* SO_2 и *формальдегид* CH_2O , получаемый из формалина путем его испарения. Пропитка антисептиками значительно (в 2–3 раза) увеличивает срок службы древесных материалов.

Предохранение древесины от огня. Под влиянием высокой температуры древесина разлагается и выделяет воспламеняющиеся газы (водород, окись углерода, метан, этан). При наличии воздуха и огня древесина начинает гореть.

Для предохранения дерева от огня применяется ряд способов обработки его особыми химическими веществами, которые носят название антипиренов или огнезащитных. В практике применяется 2 способа обработки: *окраска и пропитка*.

При окраске древесина покрывается толстым слоем краски, приготовленной из веществ, которые сами по себе не горят, долго не разрушаются от огня и являются плохими проводниками тепла. Под действием огня образуются газообразные продукты, которые, прорывая краску, гасят пламя.

Древесина пропитывается также огнезащитными веществами, способными при нагревании плавиться и выделять кристаллизационную воду, покрывать дерево огнезащитной пленкой. Составы для пропитки – сернокислый алюминий, фтористый натрий, бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), вода. Однако идеальной защиты от огня *не существует*.

17.5. СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Древесина как конструкционный материал характеризуется определенным комплексом физико-механических свойств.

17.5.1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

К физическим свойствам древесины относятся следующие: цвет, запах, текстура, влажность, гигроскопичность, усушка, разбухание, теплопроводность, электропроводность, звукопроводность.

Цвет древесины. Древесины тропических (теплых стран) окрашены в темные цвета. Деревья умеренного климата имеют более светлую окраску. Из наших пород наиболее интенсивной окраской отличаются дуб, орех, шелковица, тисс. Цвет древесины у одной и той же породы изменяется в зависимости от возраста и условий роста.

Запах древесины зависит от смол, эфирных масел, дубильных веществ, находящихся в древесине. У хвойных пород преобладает запах скипидара.

Текстура древесины. Наиболее красивый рисунок у древесины получается при радиальном и тангенциальном разрезах. Красивую структуру имеют ясень, орех, каштан, клен, сосна и др., т.е. текстура зависит от породы дерева.

Влажность древесины. Различают мокрую древесину, долгое время находившуюся в воде. Ее влажность выше влажности свежесрубленного дерева. При продолжительном нахождении на воздухе мокрая древесина достигает *воздушно-сухого состояния* 15% и изменяется в зависимости от температуры и влажности воздуха. При температуре 100–105 °С древесина теряет почти всю воду и принимает абсолютно сухое состояние. Нормальная влажность древесины составляет около 15%. В зависимости от влаги древесина способна усыхать, разбухать, коробиться.

В производственных условиях влажность древесины определяют весовым методом по формуле:

$$W = [(m - m_0) / m_0] \cdot 100\%,$$

где m – масса образца до сушки, m_0 – масса того же образца, высушенного до абсолютного сухого состояния при температуре 103 ± 2 °С.

Гигроскопичность древесины – это свойство поглощать из воздуха водяные пары. Вместо термина «гигроскопичность» очень часто употребляют термин *адсорбция*. Поглощение древесиной влаги зависит от температуры воздуха и относительной его влажности.

Усушка древесины – это способность древесины при высыхании сокращать свои размеры. Она зависит от породы, возраста и объемного веса. Мягкие породы усыхают меньше, чем твердые. Молодая древесина усыхает сильнее, чем старая.

В среднем усушка в направлении длины волокон составляет 0,10%, в радиальном направлении – 3–5%, а в тангенциальном – 6–10%.

Разбухание древесины – это свойство сухой древесины при поглощении влаги увеличивать свои линейные и объемные размеры.

Теплопроводность древесины. Древесина, благодаря своей порозности, обладает сравнительно небольшой теплопроводностью. Однако она зависит от объемного веса и влажности. Так, при увеличении влажности древесины ели с 5 до 15% коэффициент теплопроводности увеличивается на 10%. Теплопроводность древесины обычно больше в направлении длины волокон, чем поперек.

Электропроводность древесины. Употребление дерева (сухого) в качестве изоляционного материала основано на его весьма малой электропроводности и зависит от влажности, породы дерева.

Звукопроводность дерева довольно высока и зависит от породы дерева и направления волокон. Быстрее всего звук проходит в направлении волокон, медленнее – в радиальном и еще медленнее – в тангенциальном.

17.5.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Механические свойства древесины в значительной степени характеризуют ее как конструкционный материал. Наиболее значимыми свойствами являются твердость, прочность вдоль и поперек волокон. Механические свойства зависят от породы, влажности и температуры сушки. Прочность древесины при растяжении, сжатии и изгибе неодинакова в различных направлениях (вдоль и поперек волокон). Прочность при растяжении вдоль волокон на порядок и более превышает прочность поперек волокон. Примерно в 8 раз меньше и прочность на сжатие поперек волокон, чем вдоль. По степени твердости все породы делятся на очень твердые (акация, граб, самшит); твердые (береза, бук, ясень, вяз) и мягкие (сосна, ель, пихта, липа, осина).

Твердость древесины определяет ее обрабатываемость и износостойкость. Торцевая твердость значительно выше радиальной. Твердость древесины зависит от ее влажности, с увеличением влажности она уменьшается.

17.6. ВИДЫ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Древесину, используемую в качестве исходного материала для изготовления деревянных изделий и деталей, разделяют на круглую и пиленую.

Круглая, в свою очередь, подразделяется на бревна и кругляк.

К бревнам относят круглый лес, диаметром в верхнем отрубе 140 мм и более с градацией диаметра через 20 мм. Круглый лес диаметром менее 140 мм в верхнем отрубе относят к кругляку, который разделяют на подтоварник (диаметром 80–130 мм) и жерди (диаметром 30–70). Короткий и толстый отрезок ствола дерева у корня называют кряжем. Промежуточное положение между круглой и пиленой древесиной занимают пластины, полученные продольной распиловкой бревен пополам. Пиленая древесина подразделяется на брусья, бруски и доски.

Брусья чистообрезные прямоугольного или квадратного сечения получают из бревен, опиленных с четырех сторон. Высота и ширина сечений брусьев установлена в пределах от 100 до 200 мм. При опилке у брусьев только двух сторон получают лаги.

Бруски получают продольной распиловкой брусьев (40х40, 40х50, 50х50 мм).

Доски в зависимости от формы поперечного сечения бывают чистообрезные, полуобрезные, необрезные, горбыль. Размеры досок стандартизованы, они имеют ширину 80–250 мм, а по толщине их делят на тонкие (13, 16, 22, 25, 32 мм) и толстые (40, 50, 60 мм).

Шпон (стружка) представляет собой тонкие листы древесины, получаемые строганием или пилением на специальных станках. Шпон используется как полуфабрикат для изготовления слоистых древесных материалов.

Фанерой называется листовой материал, полученный путем склеивания нескольких листов шпона под давлением.

Прессованная и гнутая древесина получается в специальных стальных формах. Предварительно заготовки древесины распаривают водяным паром при 100–105 °С, либо нагревают горячими газами. Затем заготовки помещают в металлические формы и производят прессование или гнутье. Для фиксации полученной формы древесину снова нагревают до 100–120 °С под давлением при влажности 5–8%. Древесностружечные плиты изготавливают горячим прессованием древесной стружки со связующим веществом. ДСП выпускают необлицованными и облицованными шпоном, синтетическим пластиком.

Древесноволокнистые плиты ДВП получают прессованием волокон древесины с добавлением связующих. При этом используют крупномерные отходы лесопиления и деревообработки. Это сырье измельчают до волокнистого состояния путем последовательного размалывания в специальных рубильных машинах. Древесные частицы при такой степени измельчения приобретают большую пластичность. Поэтому прочностные свойства ДВП в настоящее время достигаются и без применения связующих. Добавки можно вводить с целью придания ДВП огнестойкости, гидрофобных, декоративных и других свойств.

17.7. ОБРАБОТКА И ОТДЕЛКА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Она включает в себя следующие основные технологические процессы: разметка, пиление, резание, строгание, долбление, фрезерование, сверление.

Механическая обработка древесины может производиться с нарушением волокон (пиление, строгание, фрезерование) и без нарушения волокон (гнутье, прессование). Большей частью обработка древесины производится с нарушением волокон, причем основным способом этого вида обработки является резание. Различают резание: 1) со стружкообразованием (пиление, фрезерование, сверление); 2) без отделения стружки (срезание шпона, раскрой фанеры на ножницах); 3) раскалывание древесины (колка, изготовление колотой драни, щепы). По отношению к направлению волокон различают два случая резания: вдоль и поперек волокон. При обработке древесины используются различные инструменты и оборудование.

17.7.1. ОТДЕЛКА ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Все виды отделки могут быть разделены на следующие основные группы: прозрачная, непрозрачная, имитационная и специальная. При прозрачной отделке поверхность древесины покрывают бесцветными отделочными материалами, сохраняющими текстуру (лакирование, воскование, покрытие пленками).

При непрозрачной отделке (краски, эмали) цвет и текстура древесины закрываются.

Имитационной отделкой улучшают внешний вид изделий, изготовленных из древесины, текстура которых не отличается красивым рисунком (глубокое крашение, напрессовка текстурной бумаги, отделка пластиками).

Специальная отделка заключается в нанесении на поверхность деревянных изделий отделочного слоя из расплавленного или порошкообразного металла (металлизация), расплавленных смол, а также выполнение различных декоративных работ на древесине (резьба, инкрустация, выжигание).

Подготовка материалов из древесины к отделке включает также столярную и отделочную подготовку.

Столярная подготовка предусматривает заделку сучков, трещин, удаление грязи и зачистку поверхности изделия шлифованием.

Отделочная подготовка включает в себя следующие операции: поднятие и удаление ворса, обессмоливание, отбеливание, грунтование, порозаполнение, шпатлевание, фанерование.

Соединение и формование древесных материалов производится при помощи клея, гвоздей, шурупов.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Торцевой, радиальный и тангенциальный разрезы древесины.

Годичные кольца.

Сердцевидные лучи.

Ядро, сердцевина.

Заболонь.

Камбий и луб.

Косослой древесины.

Антисептики и антипирены.

Торцевая и радиальная твердость.

Шпон, гнутая древесина.

Имитационная отделка древесины.

Специальная отделка деревянных изделий.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Назовите основные физико-механические свойства древесины.
2. Назовите наиболее распространенные пороки древесины.
3. Назначение антисептиков и антипиренов.
4. Назовите основные разрезы ствола древесины.
5. Виды древесных материалов и технология их получения.
6. В чем сущность имитационной и специальной отделки древесных материалов?
7. В чем заключается столярная и отделочная подготовка древесных материалов?

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Среди множества ценных свойств древесных материалов они обладают и существенными недостатками. Назовите отрицательные свойства:
 - а) гигроскопичность;
 - б) теплопроводность;
 - в) неоднородность строения;
 - г) звукопроводность.
2. Нормальной влажностью древесины, пригодной для изготовления различных изделий, является:
 - а) 0%;
 - б) 10%;
 - в) 15%;
 - г) 20%.
3. Механические свойства древесины зависят от следующих факторов:
 - а) породы дерева;
 - б) влажности;
 - в) времени рубки дерева (его заготовки);
 - г) вида сушки древесины (искусственной и естественно-воздушной).
4. Прочность на сжатие древесины поперек волокон по сравнению вдоль волокон будет:
 - а) больше;
 - б) меньше;
 - в) одинаковая.
5. Прочность на растяжение древесины вдоль волокон по сравнению с поперечной будет:
 - а) больше;
 - б) меньше;
 - в) одинаковая.
6. Торцевая твердость по сравнению с радиальной будет:
 - а) большей;
 - б) меньшей;
 - в) одинаковой.
7. Антисептики для древесных материалов могут применяться в следующих состояниях:
 - а) твердом;
 - б) газообразном;
 - в) жидком.

8. В практике антипирены применяются с помощью окраски и пропитки древесины. Чем гасится пламя при пропитке?
- а) газообразными продуктами;
 - б) водяной пленкой;
 - в) газообразными продуктами и водой.
9. Что используется наиболее часто в качестве антипиренов?
- а) сернистый ангидрид SO_2 ;
 - б) хлористый цинк ZnCl_2 ;
 - в) жидкое стекло;
 - г) асбестовая краска.
10. Древесина, используемая в качестве исходного материала для изготовления изделий, подразделяется на круглую и пиленную. К круглой относят бревна, кругляк, жерди, характеризующиеся размером диаметра в верхнем отрубе. Какой размер кругляка?
- а) свыше 140 мм;
 - б) 30–70 мм;
 - в) 80–130 мм.

ГЛАВА 18. СТЕКЛО, КЕРАМИКА

18.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТЕКЛЕ

Стекло – один из самых распространенных материалов, широко используемых в народном хозяйстве и в быту. Стекло и изделия на его основе применяют во всех областях современной науки и техники. Широко применяется стекло в современном строительстве. Опыт применения стекла для остекления автомобилей и самолетов положил начало производству безопасного стекла – упрочненного закалкой и многослойного с прокладками пластичной пленки. Стекланные трубы широко внедрены на предприятиях пищевой и химической промышленности.

Из стекла вырабатывают эластичные прочные нити, которые затем используют для изготовления тканей, высококачественных теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов. В комбинации с пластмассами получают сверхпрочный, легкий материал – стеклопластик. Из него изготавливают различные строительные детали, трубы, кузова автомобилей.

Получены стекла с избирательным светопропусканием для всех диапазонов длин волн – от ультрафиолетовой до инфракрасной. Разработаны технологии получения стекла большой плотности для защиты от гамма-излучений, нейтронов, рентгеновских лучей, радиоактивных излучений. Освоен выпуск стекол самых разнообразных цветов, для этого в стекломассу вводят окислы ряда металлов. Окись кобальта окрашивает стекло в синий цвет, соединения марганца – в фиолетовый, медь – в сине-зеленый и т.д.

Стекло представляет собой сплав, состоящий из кремнезема и окислов металлов. Кремнезем (SiO_2) является основой стекла и его содержание составляет порядка 80%. Самое распространенное оконное (строительное) стекло состоит из кремнезема, окисей натрия, кальция и небольшого количества окиси алюминия и магния, попадающих из сырьевых материалов. Кроме силикатного производят боратное – на основе оксида бора B_2O_3 , боросиликатное – на основе B_2O_3 и SiO_2 , фосфатное – на основе фосфорного ангидрида P_2O_5 .

18.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТЕКЛА

Область применения стекол определяется их свойствами, которые зависят от их химического состава. Для листовых строительных стекол важны прочность на сжатие и растяжение, термические свойства, химическая стойкость, плотность, твердость, хрупкость и др.

Прочность на разрыв составляет 3–9 кг/мм², а на сжатие 40–60 кг/мм². Таким образом, стекло работает на растяжение значительно хуже, чем на сжатие. Прочность стекла повышают добавки оксидов кальция, бора, цинка и других оксидов. Однако стекло разрушается при незначительных ударах, разлетаясь на острые осколки неправильной формы.

Стекло газо- и водонепроницаемо, химически стойко в агрессивных средах (за исключением плавиковой и фосфорной кислот).

Плотность зависит от химического состава и изменяется в пределах 2,5–8,0 г/см³.

Твердость стекла по условной шкале Мооса колеблется в пределах от 5 до 6,7 ед. Для сравнения твердость корунда (Al_2O_3) равна 9, алмаза – 10 (максимальная). Следовательно, стекло относится к твердым материалам.

Термостойкость – это способность стекла противостоять, не разрушаясь, резким изменениям температур. Она, как правило, является низкой. Наиболее термически устойчивы кварцевые и боросиликатные стекла.

Оптические свойства характеризуются показателями светопропускания (прозрачности), светопреломлением, отражением и рассеиванием. Коэффициент пропускания света стеклами достигает 0,9.

Теплопроводность стекла низкая, а *звукоизолирующая* способность высокая. Стекло толщиной 1 см по звукоизоляции соответствует кирпичной стене толщиной – 12 см.

Механические свойства стекла можно существенно повысить различными методами упрочнения поверхностного слоя термической, химической или термохимической обработкой.

Термический метод упрочнения заключается в закалке стекла с температурой нагрева 600–650 °С, выдержке при этой температуре и затем быстром охлаждении с обеих сторон сжатым воздухом. При такой обработке стойкость стекла к статическим нагрузкам возрастает в 5–6 раз, прочность на удар – в 6–7 раз, а термическая стойкость – в 2–3 раза.

Химический метод упрочнения заключается в удалении дефектного поверхностного слоя стекла методом химического травления, как правило, плавиковой кислотой. Этот метод приводит к повышению прочности и термостойкости.

Термохимическое упрочнение заключается в закалке стекла в нагретых кремнийорганических жидкостях. Прочность такого стекла значительно повышается за счет образования на его поверхности полимерных пленок.

18.3. ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И СТЕКЛОИЗДЕЛИЙ

В промышленности находят применение различные виды стекол и стеклоизделий.

Кварцевое стекло состоит практически из чистого кремнезема (99,5% SiO_2). Оно обладает высокой термической и химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами. Из него изготавливают химически стойкую посуду, изоляторы, электровакуумные изделия, работающие при повышенных температурах, оптические приборы.

Листовое оконное стекло производится трех марок: полированное, неполоированное улучшенное и неполоированное. Оконное стекло выпускают толщиной от 2 до 6 мм.

Витринное стекло производится двух марок: полированное и неполоированное с толщиной 6,5–12 мм, применяется для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий.

Стекло листовое узорчатое имеет на одной или обеих сторонах рельефный рисунок, полученный прокаткой. Применяется для декоративного остекления.

Армированное бесцветное и цветное листовое стекло. Для армирования применяется сварная или крученая сетка из стальной проволоки со светлой поверхностью или с защитным алюминиевым покрытием. Армированное стекло отличается повышенной прочностью, светопропускание значительно меньше – 65% против 90% в обычном стекле.

Закаленное стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми не режущими краями.

Многослойное стекло (триплекс) состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной поливинилбутирольной пленкой. При ударе оно не дает осколков и является безопасным. Такое стекло получают в автоклаве при температуре 100 °С с избыточным давлением 18 атмосфер.

Для получения высокопрочных стекол производят склеивание закаленных листов.

Пеностекло представляет собой искусственный материал, подобный пемзе. Процесс производства пеностекла заключается во вспучивании размоленного стекла, смешанного с небольшим количеством (1–3%) древесного угля, известняка, мела при температуре 700–900 °С. Плотность пеностекла – 100–700 кг/м³, оно применяется в конструкциях как теплоизолирующий и звукопоглощающий материал в виде блоков и в гранулированном виде.

Стекловолоконное применяется в производстве композиционных материалов в виде волокон, нитей, тканей, холста, стекловаты. Непрерывное стекловолокно получают из расплава методами механического вытягивания из фильер плавильных ванн и намотки, а также расчленением (раздувом) струи стекломассы потоком перегретого пара или сжатого воздуха.

Стекловолокно отличается высокими прочностными свойствами, стойкостью к агрессивным средам и высокой теплостойкостью.

Стеклокристаллические материалы (ситаллы). От стекла ситаллы отличаются минералогическим составом и микрокристаллическим строением. Получают такой материал двойной термической обработкой твердого стекла при температуре 500–700 °С и при 900–1100 °С. Они обладают высокой стойкостью к термическим воздействиям, антифрикционными, химическими и диэлектрическими свойствами. Из ситаллов изготавливают трубы для теплообменников,

подшипники, работающие без смазки при температуре около 500 °С, поршни, цилиндры двигателей.

18.4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КЕРАМИКЕ

Керамикой называются материалы, полученные спеканием порошков минеральных веществ. Спекание происходит при нагреве изделий, отформованных из порошков. Исходными материалами для получения керамики служат глины, полевой шпат, тальк, окислы бария, титана, циркония, ниобия, а также карбиды, силициды, нитриды, бориды. При обжиге исходные вещества взаимодействуют друг с другом, образуя кристаллическую и аморфную фазы керамики. В керамике при технологическом процессе ее получения всегда остаются микропоры.

Кристаллическая фаза представляет собой кристаллы размером 20–30 мкм и выше. В зависимости от исходного состава они могут быть окислами, твердыми растворами или соединениями окислов. Аморфная фаза представляет собой стекло, которое по химическому составу отличается от кристаллов. Исходные материалы для получения керамики имеют практически неограниченную сырьевую базу. Основное преимущество керамики заключается в ее более высокой жаропрочности по сравнению с металлами. Она почти неподвержена старению и не дает остаточных деформаций под действием механических нагрузок. К недостаткам следует отнести ее хрупкость и большую усадку до 25% при обжиге, и это затрудняет получать точные размеры изделий. Спеченная керамика очень твердая, режется с трудом и только абразивами.

Керамика обладает хорошими электрическими свойствами, химической стойкостью, водостойкостью. В ближайшее время керамика найдет применение в двигателестроении, атомной энергетике, металлургии, в химической, электротехнической промышленности и других отраслях. Можно привести конкретные области применения и преимущества этих материалов:

- нагреватели для электропечей (обеспечивают рабочую температуру выше 2 000 °С);
- штамповочный инструмент (повышение износостойкости в 5–10 раз);
- безвольфрамовые твердые сплавы (100% экономии вольфрама);
- огнеупоры для футеровки плавильных печей;

- детали для двигателей (повышение КПД двигателя и снижение расхода топлива до 30%);
- жаропрочные детали для газовых турбин (снижает расход топлива до 20%, значительно уменьшает вес турбины);
- неограниченные возможности получения режущего инструмента, для изготовления подшипников, фильер для волочения проволоки, для перекачки жидкого металла и т.д.

Сегодня получение тугоплавких керамических материалов производится прямым восстановлением, плазмохимическим синтезом и СВС (методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза). СВС основан на том, что при взаимодействии исходных веществ в процессе экзотермической реакции образуются высокие температуры, резко ускоряющиеся диффузионные процессы. Методом СВС получено около трехсот новых материалов: карбид тантала с температурой плавления 4000 °С, нитрид кремния и многие другие.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Стеклопластик.

Строительное стекло.

Боратное стекло.

Боросиликатное стекло.

Фосфатное стекло.

Оптические свойства стекла.

Термохимическое упрочнение стекла.

Закаленное стекло.

Многослойное стекло (триплекс).

Пеностекло.

Стеклоянное волокно.

Ситаллы.

Керамика.

Плазмохимический синтез.

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Назовите состав строительного стекла.
2. Основные области применения стекла.
3. Чем характеризуются оптические свойства стекла?
4. Назовите основные методы упрочнения стекла.

5. Что характеризует условная шкала Мооса?
6. Назовите основные физические и механические свойства стекла.
7. Какими добавками обеспечивается цвет стекла?
8. Что представляет собой многослойное стекло (триплекс)?
9. Назовите состав пеностекла и область его применения.
10. Назовите состав керамики, в чем ее отличие от металлокерамики?
11. Назовите основные технологии получения тугоплавких керамических материалов.
12. Основные преимуществ и области применения керамических материалов.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Стекло получают следующими технологиями:
 - а) давлением;
 - б) плавлением;
 - в) механической обработкой;
 - г) варкой.
2. Основным компонентом сырья для получения стекла является:
 - а) мел;
 - б) сода;
 - в) кремнезем;
 - г) натриевая селитра.
3. Структура стекла:
 - а) аморфная;
 - б) кристаллическая;
 - в) волокнистая.
4. Стекло можно упрочнять с помощью:
 - а) химико-термической обработки;
 - б) термической обработки;
 - в) термомеханической обработки;
 - г) армирования.
5. Какие окислы металлов придают стеклу синий цвет?
 - а) меди;
 - б) свинца;
 - в) кобальта;
 - г) титана.
6. Какой окисел металла присутствует при производстве хрусталя?
 - а) меди;
 - б) свинца;

- в) кобальта;
 - г) титана.
7. Кварцевое стекло отличается следующими свойствами:
- а) высокой износостойкостью;
 - б) высокой термической стойкостью;
 - в) высокой химической стойкостью;
 - г) высокими диэлектрическими свойствами.
8. Основу кварцевого стекла составляет кремнезем. Укажите количественное его содержание.
- а) 80%;
 - б) 90%;
 - в) 99,5%;
 - г) 100%.
9. Теплопроводность стекла по сравнению с металлами следующая:
- а) высокая;
 - б) низкая;
 - в) одинаковая.
10. В состав керамики входят следующие составляющие:
- а) глина;
 - б) окислы титана;
 - в) нитриды металлов;
 - г) железо.

ГЛАВА 19. РЕЗИНА, КЛЕИ И ДРУГИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

19.1. РЕЗИНА И РЕЗИНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В современном машиностроении используется большое количество резиновых деталей. Резина как конструкционный материал обладает рядом важных технических свойств. Среди них такие, как высокая эластичность (удлинение) при растяжении – может достигать 700–800%, хорошая вибростойкость (поглощение колебаний), повышенная химическая стойкость против щелочей, кислот, сопротивляемость разрыву, износу, газо- и водонепроницаемость и др. Соответственно этим свойствам резина применяется для изготовления различных деталей (сальники, манжеты, амортизаторы, электроизоляцион-

ные материалы, приводные ремни, транспортные ленты, шины для автомобилей и самолетов и т.д.).

Резина – это сложная смесь различных компонентов. Свойства резиновых изделий определяются их различным соотношением компонентов.

К составляющим резиновых смесей относятся каучук, вулканизирующие вещества, ускорители вулканизации, активаторы ускорителя, наполнители, противостарители, смягчители и красители.

Основой резиновых смесей служит натуральный или искусственный каучук. Натуральный каучук получают из млечного сока каучконосных растений, он дефицитен, стоимость его высока и применение его ограничено. Синтетический каучук по свойствам близок к натуральному, получают его из нефтепродуктов, природного газа, ацетилена, древесины. Производство синтетического каучука впервые в мире разработано русским химиком С. В. Лебедевым.

Каучук подвергают вулканизации – горячей или холодной обработке для придания материалу требуемой прочности, упругости и других свойств. В качестве вулканизирующего вещества в каучук вводят 2–3% серы. Так как вулканизация – сложный процесс, то для его ускорения вводят 0,5–1,5% ускорителей вулканизации (окись магния, окись цинка). В качестве активаторов ускорителя применяют белила цинковые и магнезию.

В качестве наполнителей в каучук добавляют сажу, каолин, мел, тальк, корд, ткани.

В качестве противостарителей в состав резиновой смеси вводят вазелин, парафин, в качестве смягчителей резины – стеариновую и олеиновую кислоты, канифоль, сосновую смолу.

В зависимости от назначения и требуемых эксплуатационных свойств резины делят на две большие группы: общего назначения и специальные (морозо- и теплостойкие, вакуумные, стойкие к радиации, маслостойкие и др.).

Изготовление резиновых изделий складывается из изготовления резиновых смесей (сырой резины), изготовления полуфабрикатов из сырой резины, вулканизации и отделки изделий.

Для приготовления сырой резины каучук разрезают на мелкие части и вместе с другими составляющими пропускают через специальные смесители. Полученная сырая резина представляет однородную пластичную массу, которой легко придается желаемая форма путем прессования, литья под давлением, выдавливания в червячном прессе.

Для вулканизации полуфабрикаты нагревают до 140 °С, в результате чего сера вступает в соединение с каучуком, и полуфабрикат теряет пластичность и приобретает эластичность.

Для получения прорезиненных тканей применяют хлопчатобумажные, синтетические, льняные ткани или шелк. Прорезинивание проводят пропитыванием и промазыванием резиновыми смесями ткани на клеепропиточных машинах резиновым клеем. Пропитанную ткань сушат в специальных камерах, а затем направляют на вулканизацию. Для увеличения прочности резиновые изделия армируют: вводят в стенки упрочняющий материал – стальную проволоку, стеклянную или капроновую ткань. Армированная резина применяется для изготовления шлангов, транспортных лент.

19.2. АСБЕСТОВЫЕ, ТЕКСТИЛЬНЫЕ И БУМАЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Асбестом называют группу минералов волокнистого строения (серпантин и амфибол), представляющие собой тончайшие волокна. В асбесте содержится 42% SiO_2 , 41% MgO , окиси алюминия, железа, марганца, вода. Плотность асбеста в среднем составляет 2,2 г/см³. По специальной технологии асбестовые материалы расщепляют на эластичные и прочные волокна. Асбестовые волокна характеризуются высокой прочностью, термостойкостью, эластичностью, малой энерго- и теплопроводностью, кислото- и щелочеупорностью. Эффективное использование асбеста как конструкционного материала может быть при температурах до 400 °С. Получаемые асбестовые волокна являются исходным сырьем для производства ряда асбестовых материалов – нитей, шнуров, тканей, лент, листов. В промышленности применяют асбестовые листовые материалы – паронит, электронит, картон, бумагу.

Паронит применяют в виде прокладок для паропроводов, гидравлических установок. Асбестовый картон толщиной 2–10 мм используют в качестве огнезащитного термо- и электроизоляционного материала.

Текстильные материалы представляют собой волокнистые материалы природного или искусственного происхождения, используемые для производства полуфабрикатов и изделий, применяемых в промышленности. К природным волокнистым материалам относят волокна хлопка, льна, джута, шерсти, шелка. К искусственным во-

локнам относят вискозные, ацетатные, стеклянные, капроновые и др. Природные и искусственные волокна являются исходным материалом для производства пряжи, ниток, веревок, канатов, тканей, ремней, лент.

Бумажным материалом называют волокнистый материал, состоящий в основном из специально обработанных волокон. Основой бумажных материалов являются растительные волокнистые материалы – древесная целлюлоза, древесная масса, макулатура, солома.

Бумажный материал разделяют на *бумагу и картон*. К бумаге относят продукцию массой до 250 г/м^2 , к картону – свыше 250 г/м^2 .

Фибра – материал, получаемый из специальной бумаги, обработанный концентрированным раствором хлористого цинка. Фибру применяют для изготовления деталей в машиностроении, электромашиностроении и приборостроении.

Войлок технический изготавливают из низких сортов шерсти с добавлением растительных волокон и клеястера и применяют для сальников, прокладок, фильтров.

19.3. КЛЕИ: СОСТАВ, СВОЙСТВА, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Клеевые материалы являются коллоидальными, вязкими растворами, обладающие склеивающей способностью прочно соединять различные материалы (металлы, пластмассы, древесину, резину).

К преимуществам клеевых соединений можно отнести простоту самой технологии склеивания, возможность механизации и автоматизации процессов склеивания, экономичность и др.

Основным недостатком клеевых соединений является их ограниченная теплостойкость до $400\text{--}500^\circ\text{C}$. Вместе с тем, применение синтетических клеев на основе кремнистоорганических и неорганических полимеров позволило повысить их кратковременную теплостойкость до 1000°C .

Клеящие материалы состоят из пленкообразующих веществ, составляющих основу клея, а также из растворителей, придающих клею вязкость; пластификаторов, повышающих эластичность пленки; отвердителей, способствующих отверждению пленки; катализаторов, ускоряющих перевод пленкообразующих веществ в термостабильное состояние; наполнителей, повышающих прочность склеивания и экономящих клеящие материалы.

В качестве пленкообразующих веществ используют синтетические смолы, каучуки, белковые (казеиновые) соединения. В качестве растворителей применяются спирты, ацетон, бензин; пластификаторами выступают термопластичные смолы; наполнителями являются кварцевые порошки, молотый фарфор, окись алюминия.

Основными свойствами клеев являются вязкость и усадка клеевой пленки, рабочая жизнеспособность, водостойкость, теплостойкость, прочность сцепления. Рабочая жизнеспособность клеевого состава – это длительность сохранения нормальной вязкости и прочности соединения. Водостойкость определяется изменением предела прочности клеевого шва после выдержки его в воде в течение 24 ч при температуре 20 °С.

Прочность сцепления определяется при длительно действующих постоянных и переменных вибрационных нагрузках.

В зависимости от применения различают клеи конструкционного назначения, воспринимающих нагрузки, и неконструкционного (для соединения ненагруженных материалов и деталей).

В соответствии с природой связующего состава клеи подразделяются на белковые (казеиновые), смоляные и каучуковые (резиновые). В зависимости от возможностей применения клеи подразделяются на универсальные и специальные (только для тканей, бумаги, резины). Клеи на смоляной основе могут быть термопластичными (обратимыми) и термореактивными (необратимыми). По состоянию клеи бывают жидкими, порошкообразными, пленочными.

Наибольшее применение находят следующие виды клеев: *мездровый*, полученный развариванием подкожного слоя шкур животных; *костный*, полученный из костей, рогов, копыт животных.

Казеиновый клей приготавливают из обезжиренного молока, основная составляющая – сухой казеин с различными добавками.

Поливинилацетатные клеи (ПВА) применяются для склеивания кожи, бумаги, древесины, тканей, стекла, металлов.

Эпоксидные клеи способны образовывать весьма прочные клеевые соединения между различными материалами.

Каучуковые (резиновые) клеи представляют собой растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях. Из резиновых клеев наибольшее распространение получили клеи 88 и 88Н для склеивания резины с резиной, металлом, стеклом.

Клеи на основе кремнийорганических соединений наиболее теплостойкие, устойчивы к маслу, бензину. Этими клеями соединяют легированные стали, графит, стекло, абсорбластики.

19.4. ЛАКИ, КРАСКИ, ЭМАЛИ: ИХ СОСТАВ И СВОЙСТВА

В машиностроении широкое распространение получили неметаллические лакокрасочные покрытия. Лакокрасочные материалы (ЛКМ) – это жидкие композиции на различной основе, образующие после нанесения и высыхания пленку, прочно сцепляющуюся с окрашиваемой поверхностью. Лакокрасочные покрытия предназначены для защиты металлических и неметаллических деталей и изделий от коррозионного разрушения и придания им декоративного вида. В приборостроении (ЛКМ) используются в качестве электроизоляционных композиций для пропитки катушек, обмоток, пластин и других деталей.

По составу лакокрасочные материалы подразделяются на:

- лаки, растворы пленкообразующего вещества (смола) в органических растворителях;
- эмали, представляют собой суспензии пигментов или их смеси с наполнителями в лаках;
- краски масляные на основе растительных масел с пигментами и краски на синтетической основе;

По назначению ЛКМ подразделяются на:

- атмосферостойкие;
- водостойкие;
- специальные;
- маслобензостойкие;
- химически стойкие;
- электроизоляционные.

Основными компонентами ЛКМ являются:

- пленкообразующие вещества (растительные масла, синтетические смолы);
- растворители (бензин, ацетон, скипидар, спирты);
- пластификаторы – увеличивают пластичность и гибкость пленок (касторовое масло, дибутилфталат);
- сиккативы – ускоряют высыхания пленки (соли свинца, марганца, цинка, кальция);
- отвердители – также ускоряют затвердевание пленки (синтетические смолы);
- антистарители – уменьшают влияние кислорода воздуха на покрытия;
- пигменты – цветные тонкоизмельченные порошки окислов или солей металлов, придающие соответствующий цвет и повышающие механические свойства пленки;

- наполнители – используют с целью экономии пленкообразующих веществ и для повышения прочности пленки. В качестве наполнителей используют мел, гипс, каолин, тальк;
- грунты и шпатлевки предназначены для обеспечения прочного сцепления покрытий, выравнивания и устранения дефектов и неровностей окрашиваемой поверхности.

Основные свойства ЛКМ. Вязкость жидких ЛКМ должна соответствовать методам их нанесения на окрашиваемые поверхности (кистью, распылением, окунанием или в электростатическом поле). Вязкость определяется при помощи вискозиметра ВЗ-1 и выражается временем истечения в секундах 50 мл испытуемого материала через сопло вискозиметра при комнатной температуре.

Укрывистость (или кроющая способность) заключается в нанесении покрытия, делающего невидимым цвет закрашиваемой поверхности. Для этого используют стеклянную пластину $20 \times 20 \text{ см}^2$, расчерченную подобно шахматной доске на белые и черные квадраты. Таким образом определяют количественные ЛКМ в $\text{кг}/\text{м}^2$, требующегося для полного закрашивания черных и белых квадратов.

Время высыхания. Различают время высыхания «от пыли» и время полного высыхания. Высыхание «от пыли» означает, что покрытие полностью не отвердело, однако устранило липкость.

К основным свойствам ЛКМ следует отнести внешний вид пленки, ее толщину, эластичность, твердость, прочность сцепления, термостойкость, водо-, бензо- и маслостойкость, атмосферостойкость.

Сушка лакокрасочных покрытий может быть естественная и искусственная. Естественная сушка применяется для быстросохнущих ЛКМ (нитроэмали, нитролаки, нитрокраски), процесс высыхания которых состоит в испарении легко улетучивающихся растворителей. Масляные краски и эмали требуют значительного времени для высыхания, и их подвергают искусственной сушке в сушильных камерах, инфракрасным излучением при температурах $150\text{--}200^\circ\text{C}$.

Отделка окрашенной поверхности состоит из лакировки и полировки. Лакировка служит для придания лакокрасочному покрытию повышенных защитных свойств, а также зеркального блеска поверхности изделия.

Полирование предназначается для создания особо ровной и блестящей (зеркальной) поверхности путем ее обработки шлифовочными и полировочными пастами.

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ

Эластичность резины.
Вулканизирующие вещества.
Натуральный и искусственный (синтетический) каучук.
Вулканизация.
Сырая резина.
Армированная резина.
Асбест, асбестовые волокна.
Асбестовые материалы – паронит и электронит.
Фибра.
Войлок технический.
Рабочая жизнеспособность клея.
Клеи неконструкционного назначения.
Мездровый клей.
Казеиновый и эпоксидный клеи.
Компоненты лакокрасочных материалов – сиккативы.
Антистарители красок.
Вискозиметр.
Время высыхания «от пыли».
Отделка окрашенной поверхности.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Состав резиновой смеси и назначение каждого из компонентов.
2. Сырая резина и методы ее переработки.
3. Для чего производится вулканизация?
4. Назовите основные свойства резиновых материалов.
5. Приведите примеры применения резины в различных отраслях промышленности.
6. Назовите состав асбеста и его основные свойства.
7. Асбестовые материалы – паронит, электронит и области их применения.
8. Приведите пример промышленного применения текстильных материалов.
9. По каким параметрам разделяют бумажные материалы на непосредственно бумагу и картон?
10. Как получают конструкционный материал фибру?
11. Дайте определение клеевым материалам.
12. Назовите состав и свойства клеевых материалов.
13. Наиболее применяемые виды клеев.

14. Как подразделяются по составу и назначению лакокрасочные материалы?
15. Назовите основные свойства лакокрасочных материалов.

ТЕСТОВЫЙ КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

1. Сырьем для получения синтетического каучука являются:
 - а) натуральный каучук;
 - б) продукты нефтепереработки;
 - в) продукты переработки древесины;
 - г) каолин (глина), тальк, мел.
2. Состав сырой резины:
 - а) синтетический каучук;
 - б) сажа;
 - в) этиловый спирт;
 - г) лакокрасочные материалы.
3. В качестве вулканизирующих веществ в каучук вводят:
 - а) серу;
 - б) сажу;
 - в) тальк;
 - г) окись магния.
4. Каучук подвергают вулканизации для:
 - а) повышения прочности;
 - б) повышения пластичности;
 - в) повышения эластичности;
 - г) понижения эластичности.
5. Асбестовый листовый материал – паронит применяется в виде прокладок для:
 - а) вакуумных установок;
 - б) для паропроводов;
 - в) для гидравлических установок с высокой температурой.
6. Основой бумажных материалов являются:
 - а) древесная целлюлоза;
 - б) синтетические ткани;
 - в) солома;
 - г) бумажная макулатура.
7. Фибра – бумажный материал, обработанный:
 - а) машинным маслом;
 - б) хлористым натрием;
 - в) раствором хлористого цинка;

г) слабоконцентрированным раствором соляной кислоты.

8. Какой клей из перечисленных ниже обладает наибольшей теплоустойкостью?

а) мездровый;

б) казеиновый;

в) резиновый;

г) на основе кремнийорганических соединений.

9. Основными компонентами лакокрасочных материалов являются:

а) растительные масла и синтетические смолы;

б) грунтовки;

в) мел, гипс;

г) шпатлевки.

10. Сиккативы в лакокрасочных материалах предназначены для:

а) увеличения пластичности и гибкости пленок;

б) уменьшения влияния кислорода воздуха на покрытия;

в) ускорения высыхания;

г) обеспечения прочного сцепления покрытий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В БУДУЩЕМ)

Одним из важнейших направлений повышения долговечности и надежности работы машин и механизмов является поиск таких конструкционных материалов, которые будут значительно превосходить свойствами нынешние. К числу наиболее распространенных материалов, которые человек использует для обеспечения своих жизненных потребностей, относятся металлы. Сегодня известны 80 металлов из 104 элементов периодической таблицы Менделеева. На их основе известно свыше 2 500 сплавов, на основе железа их около 1 200. Таким образом, металлы и сегодня и в ближайшем будущем остаются каркасом всей материальной культуры человечества. Теоретическая прочность кристаллических тел (идеальных кристаллов) составляет около 1 000 кг/мм², но в реальных сплавах из-за наличия мельчайших дефектов прочность на порядок меньше. И в этом случае такая проблема, как повышение надежности машин, решалась тривиальным увеличением толщины стенок деталей, что приводило к повышению материалоемкости всей конструкции и снижению других эксплуатационных характеристик.

Этот путь не удовлетворяет сегодняшним требованиям, и существующие или классические конструкционные материалы исчерпали себя. Необходимы новые материалы с заранее заданными свойствами. Сегодня к ним можно отнести композиты, конструкционную керамику, сплавы высокой чистоты, алюминиевые сплавы, легированные литием, космические сплавы, специальные пластмассы и ряд других сплавов и материалов.

Металловеды доказали, что кристаллы без дислокаций (дефектов) можно получить только в виде волокон, пленок, иглол с очень тонким сечением. Максимальной удельной прочностью, как оказалось, обладают не тончайшие стальные проволоочки, а волокна углерода. Уже сейчас существуют волокна, которые в 5 раз легче стали и в 3 раза ее прочнее. Волокна делают из карбида кремния, окиси алюминия, стекла, бора.

Сейчас в материаловедении возникло новое направление, заключающееся в том, чтобы придать материалам совершенно не свойственные им качества. Например, предпринимаются попытки получить металлические сплавы, у которых свойства меняются в зависимости от условий нагружения.

В производстве стали на смену обычному сегодня, но дорогостоящему, придет прямой процесс получения стали из руды (бездоменный). Основную роль будут играть полностью автоматизированные сталеплавильные заводы с линиями непрерывной разливки стали и ее прокатки. Освоение космоса открывает перед металлургами и металловедами технологические возможности получения новых материалов, в том числе и чрезвычайно дефицитных полупроводников для электронной промышленности.

Достижения атомной физики позволяют получать сплавы в процессе ядерных превращений со свойствами, аналогичными легированным сталям.

Чтобы добиться нужных свойств сплавов, металлурги и металловеды сегодня рассчитывают на компьютерах их состав и микроструктуру.

Ограниченность земных ресурсов уже сейчас заставляет человечество обратиться к огромным запасам металлов в Мировом океане (добыча руд со дна морей), а также получение некоторых металлов из морской воды.

Найдут применение совершенно новые металлургические процессы. К ним, в частности, относится бактериальная металлургия, которая уже сегодня достигла определенных успехов. Разработан способ получения меди из сульфидных руд с помощью бактерий, усваивающих серу. Не исключено, что когда-нибудь начнут ремонтировать детали машин методом бактериальной сварки.

В научно-исследовательских институтах разработаны планы практического освоения внеземной металлургии и металлообработки. Создание международных космических станций дает практическое основание утверждать, что это не утопия, а реальная технология завтрашнего дня. Сегодня поиск новых материалов идет как никогда быстро, и есть все основания думать, что эти материалы послужат основой технического прогресса и роста экономического благосостояния людей.

Однако классические материалы еще длительное время будут основой промышленного производства и экономики нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алан, С.И. Технология конструкционных материалов / С.И. Алан [и др.]. М.: Просвещение, 1986.
2. Беккерт, М. Мир металла / М. Беккерт. М.: Мир, 1980.
3. Гуляев, А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. М.: Metallurgy, 1986.
4. Жадан, В.Т. Технология металлов и конструкционных материалов / В.Т. Жадан [и др.]. М.: Высшая школа, 1970.
5. Копыл, А.Н. Материаловедение / А.Н. Копыл, П.Г. Винник. Ростов н/Д: РГПУ, 2002.
6. Лейкин, А.Е. Материаловедение / А.Е. Лейкин, Б.И. Родин. М.: Высшая школа, 1971.
7. Мозберг, Р.К. Материаловедение / Р.К. Мозберг. М.: Высшая школа, 1991.
8. Основы материаловедения / под ред. С.С. Сидорина. М.: Машиностроение, 1976.
9. Технология металлов и конструкционные материалы / под ред. Б.А. Кузьмина. М.: Машиностроение, 1989.
10. Технология конструкционных материалов / под ред. А.М. Дальского. М.: Машиностроение, 1985.
11. Чумаченко, Ю.Т. Материаловедение для автомехаников / Ю.Т. Чумаченко [и др.]. Ростов н/Д: Феникс, 2002.
12. Энциклопедия неорганических материалов: в 2 т. Киев, 1977.

Научное издание

**Винник Павел Григорьевич
Морозова Ольга Николаевна
Копыл Алексей Николаевич**

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие

Редактор
Корректор
Компьютерная верстка

*А.П. Никаноров
Н.Д. Никанорова
О.Ф. Жуковой*

Лицензия ЛР № 65-43 от 22.11.99

Сдано в набор 10.10.2007. Подписано в печать 17.11.2007.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookC.
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 9,21.
Тираж 300 экз. Заказ 326.

ИПО ПИ ЮФУ:
344082, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 33.