

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие

Днепропетровск  
НГУ  
2013

УДК 620.22 (075)

ББК 30.3

М

Рекомендовано до друку редакційною радою Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол № 7 від 10.07.2013).

Рецензенти:

С.С. Гребьонкін, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри гірничої справи Антрацитівського факультету гірництва і транспорту Східно-українського Національного університету ім. Володимира Даля;

В.Д. Рябічев, д-р техн. наук, професор, професор кафедри гірничої справи Антрацитівського факультету гірництва і транспорту Східно-українського Національного університету ім. Володимира Даля;

В.І. Голінько, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет».

**Материаловедение:** учеб. пособие / В.И. Бузило, Н.П. Овчинников, М В.П. Сердюк, А.А. Долгий. – Д. : Национальный горный университет, 2013. – 255 с.

Содержание учебного пособия соответствует образовательно-профессиональной программе подготовки бакалавров направления 6.050301 Горное дело, в частности – программе дисциплины "Материаловедение".

Рассмотрены вопросы структуры и свойств, состав и строения основных металлических и неметаллических материалов, областей использования конструкционных и инструментальных материалов в горном деле.

УДК 620.22 (075)

ББК 30.3

© В.І. Бузило, М.П. Овчинніков,  
В.П. Сердюк, О.А. Долгий, 2013  
© Державний ВНЗ «Національний  
гірничий університет», 2013

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
ВВЕДЕНИЕ .....	8
1. Основные понятия .....	8
2. Значение и задачи дисциплины «Материаловедение» для подготовки специалистов в области горного дела .....	9
3. Общие требования, предъявляемые к материалам в зависимости от условий использования, применения или эксплуатации .....	9
4. Классификация материалов .....	11
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СТРОЕНИИ, СТРУКТУРЕ И СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛОВ .....	12
1.1. Агрегатные состояния веществ .....	12
1.2. Физические свойства материалов и их характеристики .....	17
1.2.1. Масса и плотность материалов .....	17
1.2.2. Пористость материалов .....	18
1.2.3. Температурные свойства материалов .....	19
1.2.4. Тепловые свойства материалов .....	20
1.2.5. Взаимодействие материалов с водой .....	22
1.2.6. Звуковые характеристики материалов .....	22
1.2.7. Механические свойства .....	23
1.2.8. Электрические свойства .....	26
1.2.9. Магнитные свойства .....	28
1.2.10. Технологические свойства .....	32
1.2.11. Потребительские свойства .....	33
1.2.12. Общие требования безопасности при использовании или применении веществ и материалов .....	38
2. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ .....	40
2.1. Железо и сплавы на его основе .....	41
2.1.1. Стали и сплавы .....	42
2.1.1.1. Структура сталей в равновесном состоянии .....	42
2.1.1.2. Влияние углерода и технологических примесей на свойства сталей и сплавов .....	44
2.1.1.3. Влияние термической, термомеханической и химико-термической обработок на свойства стали и сплавов .....	46
2.1.1.4. Влияние легирующих элементов на свойства стали и сплавов .....	51
2.1.1.5. Общая классификация сталей .....	53
2.1.1.6. Маркировка сталей по химическому составу .....	54
2.1.1.7. Конструкционные стали и сплавы .....	59
2.1.1.8. Инструментальные стали и сплавы .....	67
2.1.1.9. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами .....	69
2.1.1.10. Старение углеродистой стали .....	72
2.1.2. Чугуны .....	73

2.2. Титан и сплавы на его основе .....	80
2.3. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе .....	83
2.4. Цветные металлы и сплавы на их основе .....	85
2.4.1. Медь и сплавы на ее основе .....	86
2.4.1.1. Медь.....	86
2.4.1.2. Латуни .....	88
2.4.1.3. Бронзы .....	90
2.4.2. Алюминий и сплавы на его основе .....	94
2.4.3. Магний и сплавы на его основе .....	100
2.4.4. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы на оловянной, свинцовой и цинковой основах.....	102
2.4.5. Припои.....	105
2.5. Порошковые металлические материалы.....	106
2.5.1. Конструкционные металлические порошковые материалы.....	107
2.5.2. Инструментальные металлические порошковые материалы ...	109
2.6. Обработка металлов давлением.....	111
2.7. Сварка металлов .....	114
2.8. Защита металлов от коррозии .....	117
2.8.1. Виды коррозии .....	117
2.8.2. Защита металлов от коррозии.....	119
2.9. Металл для крепления горных выработок.....	120
3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	123
3.1. Природные каменные материалы.....	123
3.1.1. Общая характеристика.....	123
3.1.2. Магматические породы .....	123
3.1.2.1. Классификация магматических пород.....	123
3.1.2.2. Химический и минеральный составы магматических пород.....	124
3.1.2.3. Важнейшие виды магматических пород и их строительные свойства .....	126
3.1.3. Осадочные горные породы.....	128
3.1.3.1. Классификация осадочных горных пород.....	128
3.1.3.2. Химический и минеральный составы осадочных пород ...	129
3.1.4. Метаморфические породы .....	132
3.2. Основные каменные материалы, применяемые без обработки .....	133
3.3. Керамические материалы и изделия .....	134
3.3.1. Общие сведения.....	134
3.3.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий	135
3.3.3. Стеновые материалы.....	138
3.3.4. Керамические материалы и изделия различного назначения ..	139
3.3.5. Каменные материалы для крепления горных выработок .....	142
3.4. Неорганические вяжущие вещества.....	143
3.4.1. Общие сведения.....	143
3.4.2. Сырьевые материалы и основы технологии неорганических вяжущих веществ .....	145

3.4.3. Воздушные вяжущие вещества .....	146
3.4.3.1. Гипсовые вяжущие вещества.....	146
3.4.3.2. Известь строительная воздушная .....	147
3.4.4. Гидравлические вяжущие вещества.....	150
3.4.4.1. Портландцемент .....	150
3.4.4.2. Виды цементов .....	153
3.4.5 Бетоны .....	154
3.4.5.1. Общие сведения и основные свойства бетонов и бетонных смесей.....	154
3.4.5.2. Классификация бетонов .....	158
3.4.5.3. Основные требования к бетонам и проектирование состава бетона.....	159
3.4.5.4. Выбор цемента для бетона.....	164
3.4.5.5. Заполнители для бетона .....	165
3.4.5.6. Вода. Добавки к бетону .....	167
3.4.5.7. Тяжелый бетон .....	169
3.4.5.8. Легкие бетоны .....	174
3.4.5.9. Газо- и пенобетон.....	175
3.4.5.10. Железобетон .....	175
3.4.6. Строительные растворы .....	176
3.4.7. Вяжущие вещества и растворы, применяемые в горной промышленности.....	179
3.4.8. Бетон и железобетон для крепления горных выработок.....	182
3.4.9. Силикатные материалы и изделия.....	184
3.4.9.1. Сырье.....	185
3.4.9.2. Производство .....	185
3.4.10. Асбестоцементные материалы и изделия.....	186
Виды асбестоцементных изделий.....	187
3.4.11. Стекло и изделия из стекла .....	188
3.4.11.1. Сырье.....	189
3.4.11.2. Свойства .....	190
3.4.11.3. Разновидности стекла и стеклянных изделий, применяемые в строительстве .....	190
3.5. Материалы и изделия из древесины.....	193
3.5.1. Общие сведения.....	193
3.5.2. Свойства древесины.....	194
3.5.3. Пороки древесины.....	196
3.5.4. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания .....	198
3.5.4.1. Предохранение древесины от гниения и разрушения насекомыми.....	198
3.5.4.2. Защита древесины от возгорания .....	199
3.5.5. Основные породы древесины, применяемые в строительстве и горном деле .....	200
3.5.5.1. Хвойные породы .....	200

3.5.5.2. Лиственные породы .....	200
3.5.6. Материалы и изделия из древесины.....	201
3.5.6.1 Лесоматериалы общего назначения .....	201
3.5.6.2. Лесоматериалы применяемые в горной промышленности	203
3.6. Теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы и изделия .	206
3.6.1. Теплоизоляционные материалы и изделия.....	206
3.6.2. Звукоизоляционные материалы.....	211
3.6.3. Звукопоглощающие материалы и изделия .....	211
3.7. Битумные и дегтевые вяжущие и материалы на их основе .....	213
3.7.1. Битумные и дегтевые вяжущие .....	213
3.7.1.1. Битумы .....	214
3.7.1.2. Дегти.....	214
3.7.1.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы.....	215
3.7.1.4. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы.....	216
3.8. Материалы и изделия из пластмасс.....	219
3.8.1. Общие сведения.....	219
3.8.2. Основные компоненты пластмасс .....	221
3.8.2.1. Полимеры для строительных пластмасс .....	221
3.8.2.2. Полимеризационные полимеры .....	222
3.8.2.3. Поликонденсационные полимеры.....	223
3.8.2.4. Наполнители и пластификаторы .....	224
3.8.3. Полимерные материалы применяемые в горной промышленности .....	225
3.9. Резиновые материалы .....	227
3.9.1. Общие сведения.....	227
3.9.2. Состав резиновых материалов .....	230
3.9.3. Классификация резиновых материалов по назначению и области применения.....	231
3.10. Лакокрасочные материалы.....	233
3.10.1. Общие сведения.....	233
3.10.2. Пигменты и наполнители .....	233
3.10.3. Связующие вещества, растворители и разбавители.....	238
3.10.4. Красочные составы .....	240
3.11. Смазочные материалы .....	242
3.11.1. Общие сведения.....	242
3.11.2. Смазочные масла.....	243
3.11.3. Пластичные смазки .....	245
3.11.4. Твердые смазочные материалы .....	246
3.11.5. Смазочно-охлаждающие жидкости.....	247
3.11.6. Рабочие жидкости и смазочные материалы очистных машин горных предприятий .....	247
Список источников литературы .....	250
Предметный указатель.....	251

## ПРЕДИСЛОВИЕ

«Материаловедение» является одной из основных дисциплин, определяющих уровень подготовки бакалавров и магистров во всех средних и высших учебных заведениях. Значение этой дисциплины определяется широким диапазоном материалов, используемых в практической деятельности во всех отраслях народного хозяйства. Достаточные знания, полученные в области материаловедения, должны обеспечивать в производственных процессах рациональное и эффективное использование материалов при соблюдении требований экономики, экологии и безопасности труда.

Изучение курса «Материаловедение» должно обеспечить решение следующих задач при подготовке бакалавров в области горного дела:

– получить прочные знания об основных закономерностях, определяющих строение и свойства материалов, о методах их обработки, о поведении материалов в основных процессах эксплуатации или потребления;

– научить выполнять наиболее широко применяемые в технике методы испытания качества материалов;

– дать навыки самостоятельного пользования нормативной документацией (НД) и справочной литературой для выбора основных промышленных, а также новых перспективных материалов и эффективных методов их использования в зависимости от условий их применения.

Учебник поможет будущим инженерно-техническим работникам увязать свои теоретические знания с практической работой и облегчить понимание специальной литературы по материаловедению, а специалистам, имеющим практический опыт работы, – обновить теоретические знания.

Авторы не претендуют на исчерпывающую полноту изложения всех вопросов материаловедения, а стремятся последовательно, на современном научном уровне, в доступной форме изложить необходимый объем знаний, предусмотренных программой дисциплины «Материаловедение» и учебными планами горных специальностей, ВУЗов.

# ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение: сущность, теория, практика

## 1. Основные понятия

В практической деятельности нас окружают вещества.

**Вещество** – вид материи, совокупность дискретных (прерывных) образований (атомы, молекулы и то, что из них построено), обладающих массой покоя.

Существование веществ в инженерной практике можно охарактеризовать некоторым жизненным циклом, включающим в себя следующие стадии:

- постановка задачи использования;
- научно-исследовательская работа;
- проектно- и опытно-конструкторские работы;
- технологическая подготовка производства;
- изготовление;
- испытание;
- эксплуатация или потребление, хранение, транспортирование, восстановление или ремонт и др.

В зависимости от стадии своего жизненного цикла вещество рассматривается как сырье, материал или изделие.

**Сырье** – вещество, предназначенное для дальнейшей переработки.

**Материал** – вещество, предназначенное для изготовления чего-нибудь.

В производственных процессах материалы рассматривают в зависимости от их роли как основные и вспомогательные.

**Материалы основные** – материалы, которые непосредственно расходуются на изготовление продукции и составляют ее главное вещественное содержание.

На предприятиях горно-добывающей промышленности к основным материалам по существу относятся только материалы, затрачиваемые на производство запасных частей, металлических изделий, тары и т. д. Принципиальное отличие горного дела от других отраслей заключается в том, что основным материалом для него являются полезные ископаемые.

**Материалы вспомогательные** – материалы, применяемые для производства, но не входящие в состав продукции.

На горных предприятиях к вспомогательным относятся почти все потребляемые материалы (лесные материалы, взрывчатые вещества, смазочные масла, топлива и др.).

**Изделие (продукция)** – конечный результат человеческого труда (обработки, переработки, исследования и т.п.).

Основным объектом дальнейшего изучения будут являться материалы, используемые в горно-добывающей промышленности.



## **2. Значение и задачи дисциплины «Материаловедение» для подготовки специалистов в области горного дела**

*Материаловедение* – наука, изучающая в общей связи состав, строение, структуру и свойства материалов, а также закономерности их изменения под тепловым, химическим, механическим и другими воздействиями.

*Состав материала* – количественная характеристика содержания в нем компонентов.

Составы различают по природе компонентов. Так, рассматривают химический, минеральный и другие составы.

*Химический состав* – количественная характеристика содержания в нем химических элементов или их соединений (например, оксидов).

*Минеральный состав* – количественная характеристика содержания минералов в каменном материале.

*Минералом* называют природное тело, однородное по химическому составу и физическим свойствам. Минерал является продуктом физико-химических процессов, происходящих в земной коре.

*Горные породы* – это значительные по объему скопления минеральных агрегатов в земной коре, образовавшиеся под влиянием одинаковых условий, имеющих более или менее определенный состав и строение.

*Строение материала* – совокупность устойчивых связей вещества, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, то есть сохранение основных свойств.

*Структура материала* – форма, размеры и характер взаимного расположения образующих его компонентов.

*Свойство материала* – признак, составляющий его отличительную особенность.

Задачами изучения «Материаловедения» являются установление связей состава, строения и структуры материалов с их свойствами и на этой основе формирование и сохранение необходимых свойств.

Основная практическая задача материаловедения в области горного дела – выбор материала, обладающего заданным комплексом свойств, и его рациональное использование для повышения эффективности технологических процессов горного производства.

Содержание дисциплины базируется на знании общетехнических дисциплин: химии, физики, термодинамики, физической химии, а также большого числа специальных дисциплин, например, термической обработки.

## **3. Общие требования, предъявляемые к материалам в зависимости от условий использования, применения или эксплуатации**

Возможность использования материала определяется его составом, строением, структурой и, следовательно, свойствами. При этом требования, предъявляемые к материалам в промышленности в зависимости от условий их использования, эксплуатации или потребления, определяются понятием «качество материала».

**Качество материала** – совокупность его свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с его назначением.

Во всех странах задача обеспечения качества, в том числе продукции, имеет важнейшее значение и рассматривается на государственном уровне. Существуют следующие виды обеспечения качества:

- научное;
- организационное;
- нормативно-техническое;
- метрологическое;
- информационное;
- правовое;
- материально-техническое.

Материаловедение дает возможность научного обеспечения качества веществ и материалов.

Стандартные образцы веществ и материалов – осязаемые объекты. Во многих случаях это прототипы либо образцы коммерческих материалов – цемента, стали, стекла с аттестованным составом. Иногда это природные вещества, например, горные породы, почва или ткани растений.

Изначально стандартные образцы веществ и материалов применялись для контроля качества в промышленности, особенно в отраслях, связанных с металлообработкой. В ряде случаев стандартные образцы веществ и материалов помогали заключению торговых сделок. Пример такого рода – продажа железной руды, количество которой исчисляется миллионами тонн, а цена прямо связана с содержанием железа. Отклонение концентрации железа в руде примерно на 0,1 % увеличивает или уменьшает стоимость груза крупного рудовоза на тысячи у.е.

Надежные измерения химического состава стандартных образцов веществ и материалов способствуют принятию важных решений для случаев:

- определения пригодных материалов и готовой продукции для производств, где химический состав продукции регламентирован;
- контроля состояния здоровья и профилактики болезней, например при профессиональных заболеваниях;
- выявления возможности нарушения закона, например, при анализе выхлопных газов автомобилей и сравнении результатов со стандартными образцами;
- установления совершения преступления при судебной экспертизе.

Для регистрации стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, типы которых признаны в качестве межгосударственного стандартного образца (МСО) стран СНГ, предназначен Реестр МСО. Он является источником официальной информации о результатах создания и признания типов МСО.

Создание стандартных образцов веществ и материалов – дело дорогостоящее и к тому же требует широких технических знаний и большого опыта. Разработка новых стандартных образцов веществ и материалов почти всецело оп-

ределяется рыночным спросом.

В мире 20 тыс. стандартных образцов веществ и материалов. Компьютерный банк данных «Кодекс образцовых веществ» (COMAR) содержит информацию о 12 тыс. стандартных образцов веществ и материалов из 20 стран. В базу данных включены: название и общее описание вещества, название и адрес изготовителя, форма вещества, аттестованные свойства, их значения и область применения. Центры кодирования COMAR действуют в 14 странах. Необходимую информацию можно получить на Web-сайте и в центральном секретариате COMAR.

#### 4. Классификация материалов

Классификация материалов применяемых в горнодобывающей промышленности и народном хозяйстве представлена на рис. 1.1.

Все материалы разделены на металлы, неметаллы и композиты.

**Металлы** делятся на черные, цветные и твердосплавные.

Черные – это металлы и сплавы на основе железа (чугуны, стали). Иногда к ним относят марганец, никель.

Цветные – все остальные металлы и сплавы на их основе.

К твердосплавным относят такие металлы как вольфрам, титан, тантал и др., а также сплавы на их основе.

**Неметаллы** подразделяются на *природные* и *искусственные*.

Природные – материалы, получаемые из магматических, осадочных и метаморфизированных горных пород, а также древесина.

Искусственные – материалы, получаемые путем определенной технологической переработки природных, а также пластические массы. Стекло, резина, лаки, краски, клей, герметики и т.д.

**Композиты** – искусственные материалы, полученные из двух и более компонентов. Это асбоцементные изделия, фибробетон, стеклопластики, бетонополимеры и др.

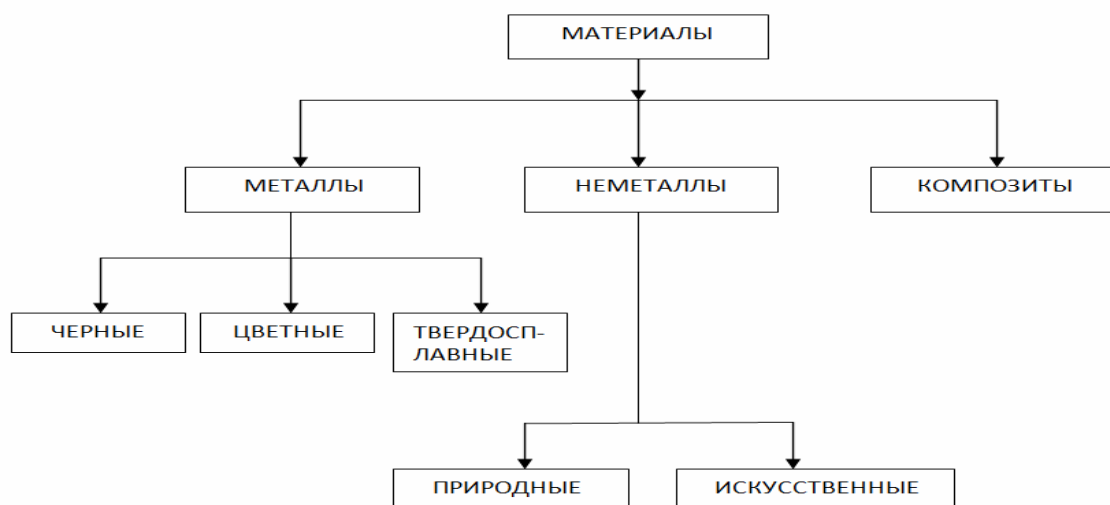


Рис. 1.1. Классификация материалов

# 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СТРОЕНИИ, СТРУКТУРЕ И СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛОВ

В главе представлены основные понятия о строении, структуре, и физических свойствах материалов применяемых как в горной промышленности так и в народном хозяйстве.

В соответствии с материалами главы студент должен:

- знать особенности агрегатных состояний веществ;
- классифицировать и уметь определять основные физические свойства материалов;
- отличать материалы по физико-механическим свойствам, составу и назначению;
- знать общие требования безопасности при использовании материалов.

## 1.1. Агрегатные состояния веществ

По происхождению (генезису) вещества и материалы рассматривают как природные и искусственные.

**Генезис** – происхождение, возникновение; в широком смысле – момент зарождения и последующий процесс развития, приведший к определенному состоянию, виду, явлению.

**Природные материалы** получают непосредственно из природного сырья путем механической обработки, но без изменения первоначального химического состава и структуры. Эти материалы сохраняют основные свойства исходного сырья. Например, природный песок, который перед употреблением только очищают от примесей и в отдельных случаях сортируют по размеру зерен.

**Искусственные материалы**, получаемые после специальной переработки природного или искусственного сырья, по физико-химическим свойствам значительно отличаются от исходного сырья. Так, из глины, легко размокающей в воде, получают после формования и обжига водостойкие керамические материалы (кирпич, облицовочные плитки).

По своему *агрегатному состоянию* все вещества и материалы существуют как твердые, жидкие и газообразные. Каждое агрегатное состояние характеризуется определенным строением вещества и соответственно определенными свойствами. Четвертым агрегатным состоянием часто считают плазму.

**Агрегатные состояния вещества** – состояния одного и того же вещества (вода, железо, сера и др.), переходы между которыми сопровождаются скачкообразным изменением ряда физических свойств (например, плотности).

Все вещества (за некоторым исключением) могут существовать в каждом из трех агрегатных состояниях. Реализация того или иного агрегатного состояния вещества зависит от физических условий, в которых оно находится, главным образом, от температуры и давления. Так, дистиллированная вода при нормальном давлении  $P = 101325$  Па и при температуре  $t = 0$  °С кристаллизуется в лед, а при 100 °С кипит и превращается в пар.

Изменение агрегатных состояний сопровождается подводом или выделением энергии, что отвечает переходам соответственно к агрегатным состояниям с более высокой или более низкой температурой.

**Твердое состояние вещества** – агрегатное состояние вещества, характеризующееся стабильностью формы. Вещества в твердом состоянии называют **твердыми веществами**.

Твердые вещества по химическому составу рассматривают как одно- (простые) и двух- (и более) *компонентные сплавы*, а в зависимости от внутреннего строения все твердые вещества разделяют на *кристаллические* и *аморфные*.

**Компонент** – составная часть, элемент, в данном случае химический.

**Кристаллические вещества** – это вещества в твердом состоянии, для которых характерно *кристаллическое* строение, т.е. периодическое трехмерное расположение атомов (молекул).

Кристаллические вещества могут существовать в виде *кристаллов*, а также поликристаллических (*поликристаллов*), *камневидных* и *разрыхленных агрегатов*.

**Кристаллы** – состояние твердых веществ, приобретающих при равновесных условиях образования естественную форму правильных многогранников, отражающую симметрию атомного строения и обладающих анизотропией физических свойств. Крупные одиночные кристаллы называются **монокристаллами**.

**Анизотропия** – различие значений свойств (деформационных, электрических, магнитных, тепловых, оптических и др.) в материале по разным направлениям.

**Поликристаллы** – агрегаты из большого числа отдельных беспорядочно ориентированных мелких кристаллов (кристаллитов), связанных между собой силами сцепления, которые обычно слабее внутрикристаллических. Большинство твердых материалов являются поликристаллами. Таковы, например, технические металлы и сплавы, многие материалы из горных пород.

**Камневидные агрегаты** – это агрегаты из большого числа отдельных беспорядочно ориентированных мелких кристаллов, связь между которыми осуществляется вяжущим (цементирующим) веществом.

Поликристаллы и камневидные агрегаты в целом изотропны по физическим свойствам.

**Разрыхленные (раздельно-зернистые, дисперсные) агрегаты** – механическая смесь частиц (кусков, зерен), не связанных между собой. Примером разрыхленных агрегатов являются песок, гравий, цемент.

Разрыхленные агрегаты образуются в результате разрушения (разрыхления, дробления, измельчения) поликристаллических или камневидных агрегатов. Разрыхление, дробление и измельчение характеризуют стадии разрушения по крупности получаемых агрегатов. При этом измельчение (диспергирование) твердого тела по существу представляет собой поверхностное явление, так как выражается в создании новой поверхности раздела. При достаточно большой суммарной поверхности в измельченных материалах процессы растворения, коррозии, испарения, конденсации, кристаллизации определяются величиной и свойствами этой поверхности.

**Дисперсность** – характеристика размера частиц (степени измельчения) какого-либо тела в дисперсных агрегатах. Мера дисперсности – отношение общей поверхности всех частиц к их суммарному объему.

При размерах частиц 1...100 нм (ультрадисперсное состояние) обнаруживаются все особенности поверхностных состояний, так как в данном случае теряется понятие объема. Ультра дисперсное состояние является неравновесным. Дисперсные частицы могут образовывать хлопья и сrostки, на их поверхности часто происходят химические превращения. Так, диспергирование применяют, например, при подготовке материалов для изготовления изделий по порошковой технологии, в производстве минеральных вяжущих веществ, пигментов, наполнителей полимерных материалов и др.

**Аморфные вещества** – это вещества в твердом состоянии, строение которых обуславливает изотропию физических свойств и отсутствие точки плавления (переход из твердого состояния в жидкое, происходит постепенно).

В природе аморфное строение вещества менее распространено, чем кристаллическое. Аморфное строение характерно, например, для опала, обсидиана, янтаря, смолы, битума и полимеров.

Кристаллическое строение вещества может быть переведено в аморфное строение различными видами физического и химического воздействий. Из раствора кристаллического вещества можно получить высушенный гель, из расплава – стекло, из пара – аморфный осадок и т.п. Так, с аморфным строением искусственно получен ряд металлов (металлическое стекло), а также полупроводники (аморфные полупроводники).

Особым видом состояния твердых веществ с аморфным строением является *стеклообразное состояние*.

**Стеклообразное состояние вещества** – агрегатное состояние вещества с аморфным строением, формирующееся при затвердевании переохлажденного расплава и обладающее, в результате постепенного увеличения вязкости, механическими свойствами твердых тел. Переход из стеклообразного состояния в расплав и из расплава в стеклообразное состояние характеризуется температурным интервалом. Обратимость этого перехода является особенностью, которая отличает стеклообразное состояние от других аморфных.

В стеклообразном состоянии может находиться значительное число простых веществ (S, Se, As, P); оксидов ( $B_2O_5$ ,  $SiO_2$ ,  $GeO_2$ ); водных растворов  $H_2O_2$ ,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ ; халькогенидов ряда элементов (As, Ge, P); некоторых галогенидов и карбонатов. Многие из этих веществ составляют основу сложных по составу неорганических стекол.

**Жидкое состояние вещества (жидкость)** – агрегатное состояние вещества, обладающее свойством течь и принимать форму сосуда, в котором оно находится.

Жидкостям присущи некоторые черты твердых (они сохраняют свой объем, образуют поверхность, обладают определенной прочностью на разрыв) и газообразных (принимают форму сосуда, в котором находятся; могут непрерывно переходить в газ) веществ; в то же время они обладают рядом только им присущих особенностей, из которых наиболее характерная – текучесть.

Жидкости можно классифицировать по *химическому составу* и *физической природе*.

По химическому составу различают *однокомпонентные жидкости* – **чистые жидкости** и *двух- или многокомпонентные жидкие смеси* – **растворы**.

Практически все жидкости, встречающиеся в природе, представляют собой растворы.

**Растворимость** – способность вещества в смеси с одним или несколькими другими веществами образовывать однородные системы – растворы.

Растворимость одного компонента в другом происходит в некоторых пределах изменения концентраций. Твердые вещества растворяются в жидкостях только до определенной концентрации, зависящей от температуры и называемой концентрацией насыщения. Жидкости также могут смешиваться между собой, но не все жидкости растворимы друг в друге и не смешиваются друг с другом неограниченно.

Растворы по концентрации растворенного вещества подразделяются на *насыщенные, ненасыщенные и перенасыщенные*. В зависимости от величины частиц растворенного компонента различают *истинные растворы и дисперсные системы*.

**Истинный раствор** – однородные смеси двух или большего числа веществ (компонентов), которые равномерно распределены в растворе в виде отдельных атомов, ионов или молекул. Частицы растворенного вещества перемешиваются с молекулами растворителя самопроизвольно в результате диффузии. Истинные растворы всегда прозрачны и устойчивы в течение длительного времени.

**Растворители** – неорганические (главным образом, вода) или органические (бензол, хлороформ, ацетон, спирты и др.) соединения, а также смеси (например, бензин), способные растворять различные вещества. Основные требования к растворителям – химическая инертность по отношению к растворяемому веществу, доступность и дешевизна.

**Дисперсные системы** – это смеси, состоящие из множества мелких частиц (дисперсная фаза, растворенное вещество) какого-либо вещества, находящихся в однородной среде другого вещества (дисперсионная среда, растворитель). Дисперсные системы характеризуются сильно развитой поверхностью раздела между частицами.

Дисперсные системы называются по-разному в зависимости от агрегатного состояния растворенного вещества и растворителя. Так, если в твердом растворителе агрегатное состояние растворенного вещества твердое, жидкое или газообразное, то такие системы соответственно называются золем, гелем (пастой) или пемзой. Для жидкого растворителя аналогичные агрегатные состояния растворенного вещества называются суспензией, эмульсией, пеной. Для газообразного растворителя смеси с растворенным веществом в твердом или жидком состояниях называются аэрозолями.

По величине частиц (*дисперсности*) различают грубодисперсные и тонкодисперсные (*коллоидные*) системы.

В грубодисперсных системах размеры частиц достаточно велики (их мож-

но видеть под микроскопом); состояние грубодисперсной системы нестабильно: происходит разделение частиц в основном под действием силы тяжести.

**Коллоидными системами** называются тонкодисперсные смеси молекул растворителя (дисперсионная среда) с частицами растворенного вещества размером  $10^{-8} \dots 10^{-6}$  мм.

Коллоидные системы занимают промежуточное положение между истинными растворами и дисперсными системами. Для коллоидных систем в отличие от дисперсных характерно интенсивное броуновское движение частиц дисперсной фазы. Коллоидные системы способны к набуханию, при этом они увеличиваются в объеме.

По физической природе все жидкости делятся на *нормальные жидкости* и *жидкие кристаллы*.

**Нормальные жидкости** (чистые и растворы) макроскопически однородны и изотропны при отсутствии внешнего воздействия. Их свойства (теплопроводность, вязкость, самодиффузия и др.) при нагревании или уменьшении плотности, как правило, меняются в сторону сближения со свойствами газов. Вблизи же температуры кристаллизации большинство свойств нормальных жидкостей (плотность, сжимаемость, теплоемкость, электропроводность и др.) близки к таким же свойствам соответствующих твердых веществ.

**Жидкие кристаллы** – особое состояние жидкости с упорядоченным молекулярным строением, характеризующееся анизотропией ряда физических свойств, характерной для твердых кристаллов. Число химических соединений, для которых найдены жидкие кристаллы, составляет несколько тысяч. Жидкие кристаллы образуются также при нагревании некоторых твердых веществ до начала их плавления. Жидкие кристаллы обладают анизотропией упругости, электропроводности, магнитной восприимчивости и диэлектрической проницаемости, оптической анизотропией и др.

Анизотропию создает ориентационный порядок в расположении молекул. Ориентационная упорядоченность в жидком кристалле зависит от состояния поверхности и легко изменяется под действием давления, механических нагрузок, электрических и механических полей, нагрева.

Практическое применение находят электрооптические свойства жидких кристаллов. Они применяются в буквенно-цифровых индикаторах (электронные часы, калькуляторы и др.), в различного рода управляемых экранах и оптических электронных приборах.

**Газообразное состояние вещества (газ)** – агрегатное состояние вещества, в котором его частицы не связаны или весьма слабо связаны силами взаимодействия и движутся свободно, равномерно заполняя в отсутствие внешних полей весь предоставленный им объем. В газообразное состояние можно перевести любое вещество надлежащим подбором давления и температуры. Прямое превращение вещества из твердого состояния в газообразное называется сублимацией (*возгонкой*).

**Плазма** – частично или полностью ионизированный газ, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов практически равны. Иони-



зация газа может быть вызвана температурным воздействием, электромагнитным излучением или бомбардировкой заряженными частицами. Низкотемпературная плазма ( $T = 10^6 \dots 10^8$  К) используется в газоразрядных приборах (газовых лазерах, ионных приборах и т.д.), а также в технике (плазменных двигателях).

## 1.2. Физические свойства материалов и их характеристики

**Физические свойства** – внутренние, присущие данному материалу или веществу особенности, обуславливающие их различие или общность с другими веществами или материалами и проявляющиеся как ответная реакция на воздействие внешних физических полей или сред.

Свойства материала всегда оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем испытаний. Для получения сопоставимых данных, которыми можно воспользоваться при выборе и оценке материалов в инженерной практике, испытания обязательно проводят единообразно и в соответствии с требованиями государственных стандартов.

Физические свойства, определенные стандартными методами с указанием состава, строения и структуры, представляют собой стандартные справочные данные веществ и материалов. Порядок разработки и аттестации стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов установлен в правилах по межгосударственной стандартизации.

### 1.2.1. Масса и плотность материалов

**Масса вещества** рассматривается как мера его количества. Таким образом, для однородной системы масса характеризует число структурных элементов (атомов, ионов, молекул и др.), содержащихся в термодинамической системе, и ее строение. Для неоднородных веществ аддитивность массы позволяет ввести понятие «*плотность*».

**Плотность** – мера количества вещества в единице объема  $\text{кг}/\text{м}^3$ :

$$\rho = m/V.$$

Плотность, определенная для однородных веществ, может рассматриваться как *теоретическая* или *истинная*. Плотностью, близкой к теоретической, обладают, как правило, металлы, жидкости, некоторые полимеры и др. Для неоднородных веществ используют понятие «*объемная плотность*».

**Объемная или средняя плотность** – величина, определяемая отношением массы неоднородного вещества ко всему занимаемому им объему, включая имеющиеся в нем поры и пустоты.

Объемную плотность  $\rho_{cp}$  вычисляют по формуле

$$\rho_{cp} = m/V_e,$$

где  $V_e$  – объем вещества в естественном состоянии.

Для инженерных расчетов используются понятия «*относительная плотность*» и «*насыпная плотность*».

**Относительная плотность** представляет собой отношение плотности вещества  $\rho$  к плотности эталонного вещества  $\rho_{эт}$  при определенных внешних условиях:

$$\rho_{от} = \rho / \rho_{эт}$$

Плотность твердых и жидких материалов обычно сравнивают с плотностью воды при температуре 4° С (1000 кг/м<sup>3</sup>).

**Насыпная плотность**  $\rho_n$  – масса единицы объема свободно насыпанных дисперсных материалов (например, цемент, песок, минеральная вата и др.)

В таблице 1.1. представлены средние и истинные плотности некоторых материалов сплавов, строительных материалов (древесины, пластических масс, резины).

Таблица 1.1

**Плотности некоторых материалов**

Материалы	$\rho_{ист},$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{ср},$ г/см <sup>3</sup>	Материалы	$\rho_{ист},$ г/см <sup>3</sup>	$\rho_{ср},$ г/см <sup>3</sup>
Алюминий	2,7	2,69	Винипласт	1,5...1,6	1,38...1,45
Вольфрам	19,1	19	Капрон	1,3...1,4	1,1...1,2
Графит	2,2...2,3	1,9...2,3	Пенопласт	–	0,2...0,4
Железо	7,8...7,9	7,8	Стеклопластик	–	1,65...1,78
Золото	19,35	19,30	Бетон	2,5...2,6	2,4...2,6
Медь	8,93	8,90	Гранит, базальт	2,7...3,0	2,7
Свинец	11,34	11,34			
Серебро	10,7	10,5	Песчаники	2,6...2,7	2,4
Бронза	–	7,9...9,1	Кирпич красный (керами- ческий)	2,6...2,7	1,6...1,9
Латунь	–	8,2...8,8			
Дуб	1,55...1,6	0,6...0,8	Кирпич силикатный	2,6...2,7	1
Лиственница	1,55...1,6	0,67			
Ель	1,5...1,6	0,44...0,6	Песок	2,5...2,6	1,5...1,7
Сосна	1,53...1,6	0,4...0,6	Шифер	–	1,6...1,8
Стекло	2,65	2,65	Бумага	–	0,7...1
Резина	–	1,2			

### 1.2.2. Пористость материалов

**Пористость** – степень заполнения объема материала порами. По значению пористость может выражаться в долях единицы и в процентах и определяется по формуле:

$$P = 1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho_{ист}} \text{ или } P = \left( 1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho_{ист}} \right) \cdot 100\%$$

Экспериментально пористость определяется замещением порового пространства в материале объемом жидкого гелия, который имеет высокую проникающую способность, а также водой или керосином.

Поры представляют собой ячейки, не заполненные структурным материалом. По величине они могут быть от миллионных долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Крупные поры, например, между зернами сыпучих материалов, в пустотелых кирпичах, панелях из железобетона называют пустотами. Поры обычно заполнены воздухом или водой.

Пористость материалов колеблется в широких пределах 0,2...1,8% – у гра-

нита и мрамора; до 75...85% теплоизоляционных материалах и свыше 90% у пенопластов и минеральной ваты.

От величины пористости и ее характера зависят важнейшие свойства материалов: плотность, прочность, долговечность, теплопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость и др. Сведения о пористости материала позволяют определять целесообразные области его применения. В таблице 1.2. приведены сведения о пористости некоторых материалов в воздушно-сухом состоянии.

Таблица 1.2

### Пористости некоторых материалов

Наименование материала	Пористость, %
Бетон: тяжелый	до 10
легкий	61,5
Кирпич: обыкновенный	32
силикатный	5...10
Природный камень: гранит	1,4
Стекло оконное	0
Пенопласт	98
Сосновые доски	67

### 1.2.3. Температурные свойства материалов

**Температура** – физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия системы.

Температурный диапазон физических явлений исключительно широк: практически от абсолютного нуля температур до  $10^{11}$  К и выше.

Температура тела независимо от его массы и химического состава характеризует энергию, с которой движутся молекулы. Переход вещества в агрегатное состояние, отвечающее более высокой температуре, требует подвода энергии, а переход в агрегатное состояние, отвечающее более низкой температуре, сопровождается выделением энергии.

В твердых телах характер плавления определяется их строением. Так, в кристаллических веществах плавление (кристаллизация) происходит при определенной, зависящей от внешнего давления *температуре плавления*  $T_{пл}$ . При этом в процессе плавления (кристаллизации) температура тела не меняется.

Температуры плавления сплавов обычно ниже температуры плавления самого легкоплавкого компонента, а температура затвердевания раствора понижается с увеличением концентрации растворенного вещества, и это понижение пропорционально числу растворенных молекул.

Материалы с преимущественно аморфным строением, такие, как стекло и высокомолекулярные полимеры, характеризуются не точкой, а периодом размягчения для которого самой низкой температурой является температура размягчения  $T_p$ . Другой характеристической температурой для аморфных материалов является температура стеклования  $T_{ст}$ .

**Температура стеклования**  $T_{ст}$  – температура обратимого равновесного фазового перехода вещества в стеклообразное состояние из переохлажденного расплава при постоянном внешнем давлении.

Интенсивный переход жидкости в пар (парообразование) вследствие образования и роста в жидкости пузырьков пара (пузырьковое кипение) или пленки пара на поверхности (пленочное кипение) называется кипением и происходит при определенной температуре кипения  $T_{кип}$ .

**Температура кипения**  $T_{кип}$  – температура равновесного перехода жидкости в пар при постоянном внешнем давлении.

Температура кипения повышается с увеличением внешнего давления и концентрации растворенного вещества.

Для жидких высокополимерных материалов, в частности, для идентификации и оценки свойств масел, смазочных материалов и др., характерными являются *температуры разложения, воспламенения и возгорания*.

**Температура разложения** – минимальная температура окружающего образца воздуха, при которой из образца в результате разложения выделяется заметное количество газа.

**Температура воспламенения** – минимальная температура окружающего образца воздуха, при которой выделяется достаточное количество горючих газов, способных воспламениться от внесенного пламени.

**Температура возгорания** – минимальная температура окружающего образца воздуха, при которой в отсутствие внешнего источника зажигания возникает самовозгорание.

Одной из основных физических характеристик материи, определяющей ее инертные и гравитационные свойства, является *масса*.

#### 1.2.4. Тепловые свойства материалов.

**Теплопроводность** – способность материала передавать через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях. Теплопроводность характеризуется коэффициентом теплопроводности.

**Коэффициент теплопроводности**  $\lambda$  – отношение произведения количества теплоты  $Q$ , проходящей через пластинку материала, на толщину пластинки  $h$  к площади пластинки  $S$ , умноженной на разность температур на ее сторонах  $(T_1 - T_2)$ , Вт/(м·К)

$$\lambda = Q \cdot h / S \cdot (T_1 - T_2).$$

Теплопроводность материала зависит от его строения, структуры, пористости и характера пор, от влажности и температуры, при которой происходит передача теплоты. Теплопроводность однородного материала зависит от плотности (с уменьшением плотности уменьшается теплопроводность).

Теплопроводность характеризует теплофизические свойства материалов, определяя их принадлежность по назначению к *теплоизоляционным, конструкционно-теплоизоляционным и конструкционным* материалам.

Теплопроводность очень важна для конструкционно-теплоизоляционных и теплоизоляционных материалов, используемых в качестве стен и перекрытий

отапливаемых зданий, для изоляции холодильников и различных тепловых агрегатов (котлов, теплосетей и т.п.). Теплоизоляционные материалы, в свою очередь, делятся на классы по теплопроводности, Вт/(м·К): А – *низкой теплопроводности* (до 0,058); Б – *средней* (0,058...0,116) и В – *повышенной* (0,116...0,15).

В табл. 1.3. представлены значения теплопроводности для некоторых материалов.

Таблица 1.3

**Теплопроводность некоторых материалов**

Материалы	Коэф.теплопроводности $\lambda$ , Вт/м·°С	Материалы	Коэф.теплопроводности $\lambda$ , Вт/м·°С
Алюминий	230	Ель	0,15
Железо	80	Сосна	0,23
Золото	317	Пенопласт	0,04...0,05
Медь	401	Полистирол	0,082
Свинец	35	Стеклопластик	0,3
Серебро	430	Бетон на гравии	1,7
Бронза	135	Гранит, базальт	3,5
Дюралюминий	160	Кирпич красный	0,81...0,87
Латунь	110	Кирпич силикатный	1,0...1,3
Сталь	52	Шифер	0,35
Стекло	1,15	Резина	0,15

Поглощение тепла веществами и материалами обычно сопровождается *тепловым расширением*.

**Тепловое расширение** – способность материала к изменению формы и размеров при его нагревании. Твердые тела расширяются при нагревании во всех направлениях (стержни и проволоки расширяются в основном в длину).

**Коэффициент линейного расширения твердых тел  $\alpha$**  – величина изменения линейного размера материала при изменении температуры на 1°С, К<sup>-1</sup>:

$$\alpha = \Delta l / (l_1 \Delta T).$$

Коэффициент линейного расширения слабо зависит от температуры.

Объемное расширение твердых тел можно рассматривать как линейное расширение в трех направлениях.

Жидкости расширяются во всех направлениях, причем сильнее твердых тел.

Коэффициент объемного расширения жидкости  $\beta$  равен отношению относительного объемного расширения  $\Delta V / V_1$  к разности температур  $\Delta T$ , К<sup>-1</sup>:

$$\beta = \Delta V / (V_1 \cdot \Delta T).$$

Исключение среди жидкостей представляет вода, коэффициент объемного расширения которой сильно зависит от температуры, а в интервале 0...4°С принимает отрицательное значение.

Газы расширяются при нагревании значительно сильнее, чем твердые и жидкие тела, причем при повышении температуры произведение давления на объем ( $pV$ ) также возрастает.

### 1.2.5. Взаимодействие материалов с водой

В твердых веществах и материалах взаимодействие с водой может основываться на *капиллярных явлениях*, то есть физических явлениях, обусловленных поверхностным натяжением на границе раздела несмешивающихся фаз.

*Гигроскопичность* – свойство материала поглощать влагу из окружающей среды (обычно пара воды из воздуха). Материалы, энергично поглощающие молекулы воды, называют гидрофильными, а отталкивающие эти молекулы – гидрофобными.

*Гидрофильность* – способность вещества (материала) смачиваться водой. К гидрофильным материалам относятся, например, глины, силикаты.

*Гидрофобность* – неспособность вещества (материала) смачиваться водой. К гидрофобным материалам относятся, например, многие металлы, жиры, воски, некоторые полимеры.

*Водопоглощение (водонасыщение)* – свойство материала при непосредственном соприкосновении с водой впитывать и удерживать ее в своих порах. Водопоглощение зависит от наличия в материале открытой пористости и водорастворимых веществ.

Водопоглощение определяют относительно объема или массы материала. Так, водопоглощение по объему  $W_0$  – степень заполнения объема материала водой, доли ед.:

$$W_0 = (V_g - V_c)V_e,$$

где  $V_g$  и  $V_c$  – объемы образцов материала, соответственно насыщенного водой и в сухом состоянии,  $\text{см}^3$ ;  $V_e$  – объем вещества в естественном состоянии,  $\text{см}^3$ .

Обычно водопоглощение по объему меньше пористости данного материала, так как вода не проникает в очень мелкие поры, а в очень крупных порах – не удерживается.

Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битум) равно нулю. Пористые материалы длительное время не могут находиться в абсолютно сухом или водонасыщенном состояниях, они приобретают определенную влажность, что зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха.

### 1.2.6. Звуковые характеристики материалов.

*Звукопоглощение* – свойство материала поглощать звук. Оно зависит от пористости материала, его толщины, состояния поверхности, а также от частоты звукового тона, измеряемого количеством колебаний в секунду. Звукопоглощение материала оценивается коэффициентом звукопоглощения.

*Коэффициент звукопоглощения* – отношение количества поглощенной звуковой энергии к общему количеству звуковой энергии, падающей на материал в единицу времени. Звукопоглощающими материалами принято называть такие, коэффициент звукопоглощения которых на средних частотах более 0,2. Коэффициент звукопоглощения зависит от пористости материала. Чем больше открытых пор (типа стаканчиков) тем коэффициент звукопоглощения выше.

*Звукопроницаемость* – способность материала пропускать через свою толщу звуковую энергию. Свойство материала, обратное звукопроницаемости, называется звукоизоляцией.

Материалы, применяемые в строительных конструкциях жилых, общественных и производственных зданий для защиты от шума подразделяют на следующие группы: *звукопоглощающие; звукоизоляционные.*

Звукопоглощающие материалы и изделия подразделяются на:

- *изделия полной заводской готовности с жесткой структурой* (плиты облицовочные на основе минеральной ваты и крахмального связующего, плиты из ячеистых бетонов; листы гипсовые обшивочные, плиты гипсовые литые);
- *изделия полной заводской готовности с полужесткой структурой* (плиты акустические на основе минеральной ваты и синтетического связующего);
- *материалы, применяемые в звукопоглощающих конструкциях* в качестве составного элемента.

Материалы, применяемые в качестве составного элемента в звукопоглощающих конструкциях, подразделяются на:

- *пористые поглотители* (плиты на основе минеральной ваты и синтетического, битумного или крахмального связующих материалов; маты из стеклянного волокна или минеральной ваты прошивные; вата минеральная или стеклянная);
- *защитные перфорированные покрытия* (алюминиевые покрытия, акустические асбоцементные и гипсовые перфорированные плиты);
- *защитные оболочки* (полиэтилентерефталатная пленка, стеклоткань).

Звукоизоляционные прокладочные материалы и изделия подразделяются на:

- *материалы пористо-волокнистые* (плиты на основе минеральной ваты и синтетического, битумного или крахмального связующих материалов; маты из стеклянного волокна или минеральной ваты прошивные; вата минеральная или стеклянная, плиты древесно-волокнистые);
- *материалы пористо-губчатые* (плиты пенополиуретановые, пенополивинилхлоридные и на основе фенолформальдегидных смол);
- *засыпки* (вспученные перлит и вермикулит, порошок совелитовый и асбестомагнезиальный и др.).

### **1.2.7. Механические свойства**

*Механические свойства* проявляются как способность материала сопротивляться всем видам внешних механических воздействий.

Механические воздействия характеризуют по *направлению, длительности и области действия*. По направлению механические воздействия можно рассматривать как *линейные* (растяжение и сжатие) и *угловые* (изгиб и кручение). По длительности их разделяют на *статические* и *динамические воздействия*. По области действия – на *объемные* и *поверхностные воздействия*.

Механические свойства определяют изменение формы, размеров и сплошности веществ и материалов при механических воздействиях, а следовательно, и результат практически любого механического воздействия на вещества и материалы, возникающего при их производстве и эксплуатации (использовании).

К основным механическим свойствам веществ и материалов относятся *уп-*

*ругость, жесткость, эластичность, пластичность, прочность, хрупкость, вязкость и твердость.*

**Упругость** – свойство материалов самопроизвольно восстанавливать свою форму и объем (твердые вещества) или только объем (жидкости и газы) при прекращении внешних воздействий. Упругость обусловлена взаимодействием между атомами (молекулами) вещества и их тепловым движением.

**Модуль упругости** (*модуль Юнга*) характеризует меру жесткости материалов, т.е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении к нему внешних сил. Модуль упругости  $E$  связывает упругую относительную деформацию  $\varepsilon$  и одноосное напряжение  $\sigma$  соотношением, выражающим закон Гука:

$$\varepsilon = \sigma / E .$$

Существует прямая зависимость модуля упругости от вида и энергии химических связей, действующих между атомами и молекулами, данного материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей характеризуется и большим модулем упругости.

В качестве меры способности материалов или изделия изменять размеры и форму при заданном типе нагрузки используются понятия *эластичность* и *жесткость*.

**Эластичность** – способность материала или изделия претерпевать значительные изменения размеров и формы без разрушения при сравнительно небольшой действующей силе.

**Жесткость** – способность материала или изделия к меньшему изменению размеров и формы при заданном типе нагрузки: чем больше жесткость, тем меньше изменения.

**Пластичность** – способность твердых материалов сохранять измененными форму и объем без микроскопических нарушений сплошности после снятия механических нагрузок, которые вызвали эти изменения. Пластическая деформация связана с разрывом некоторых межатомных связей и образованием новых.

Пластичность проявляется в деталях конструкций и сооружений, заготовках при обработке давлением (прокатке, штамповке и др.), в пластах земной коры. Пластичность определяет возможность технологических операций обработки материалов давлением. Учет пластичности позволяет определять запасы прочности, деформируемости и устойчивости, расширяет возможности создания конструкций минимального веса.

**Механическая прочность** твердых веществ – свойство сопротивляться разрушению (разделению на части), а также необратимому изменению формы при механических воздействиях. Прочность твердых веществ обусловлена, в конечном счете, силами взаимодействия между составляющими их структурными единицами (атомами, ионами и др.)

**Хрупкость** – свойство твердых веществ разрушаться при механических воздействиях без существенных предварительных изменений формы и объема.

Хрупкость материалов следует рассматривать в связи с условиями их использования. Например, достаточно упругий материал – мрамор, хрупко раз-



рушающийся при растяжении, в условиях несимметричного трехосного сжатия ведет себя как пластичный материал.

**Вязкость (внутреннее трение)** – способность материалов сопротивляться действию внешних сил, вызывающему:

– в твердых веществах – распространение уже имеющейся острой трещины (разрушение);

– в жидкостях и газах – течение.

Внутреннее трение в твердых телах, проявляется как способность необратимо поглощать энергию, полученную телом в результате внешнего воздействия, например, превращать в теплоту, сообщаемую механическую энергию.

Вязкость жидкостей зависит от химического состава и строения молекул (макромолекул) и возрастает с увеличением молекулярной массы. Возникновение в дисперсных системах или растворах полимеров пространственных структур, образующихся при сцеплении частиц или макромолекул, вызывает резкое повышение вязкости.

Вязкость газов не зависит от их плотности (давления). Для очень разреженных газов понятие вязкости теряет смысл.

**Твердость** – свойство материалов оказывать сопротивление в поверхностном слое контактному воздействию (вдавливанию или царапанию). Особенность этого свойства заключается в том, что оно реализуется только в небольшом объеме вещества. Твердость – сложное свойство материала, отражающее одновременно его прочность и пластичность.

При оценке механических свойств материалов их различают по группам, характеризующим условия испытаний:

1 – *стандартные механические свойства*, определяемые стандартными испытаниями стандартных (гладких) образцов вне зависимости от конструктивных особенностей и характера службы изделия;

2 – *критерии конструктивной прочности* (работоспособности в условиях эксплуатации) материала, определяемые стандартными испытаниями гладких или с острыми трещинами образцов;

3 – *критерии конструкционной прочности* изделия в целом, определяемые при стендовых, натурных и эксплуатационных испытаниях.

**Предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_e$**  – величина напряжения, соответствующего наибольшей нагрузке, приводящей к разрушению образца. Значение предела прочности, вообще говоря, зависит от характера и параметров деформации, а также от температуры, давления, наличия химически агрессивной среды. Однако для практики важно, что существует почти постоянное предельное значение напряжения  $\sigma_e$ , выше которого образец разрушается практически мгновенно.

Величина механических характеристик существенно зависит от таких внешних и внутренних факторов, как химический состав материала, вид предшествующих воздействий (например, деформация), состояние поверхности, температура, наличие химически агрессивной среды и др. Так, при повышении температуры прочностные характеристики сильно снижаются, и предел текуче-

сти при температуре плавления стремится к нулю; чем ниже температура плавления сплава, тем при более низких температурах наступает резкое падение прочности. Понижение температуры обуславливает переход от вязкого разрушения к хрупкому.

### 1.2.8. Электрические свойства

**Электрические свойства** – совокупность свойств, характеризующих способность веществ и материалов проводить электрический ток в электрическом поле.

К электрическим свойствам, наиболее широко используемым для исследования материалов (особенно металлических) и оценки возможности их практического применения, в первую очередь, относится удельная электропроводность  $\gamma$  и обратная ей величина – удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , а также температурный коэффициент удельного электросопротивления  $\alpha_{\rho_0}$

**Электропроводность (электрическая проводимость)** – способность материала пропускать электрический ток под воздействием электрического поля, а также физическая величина, количественно характеризующая эту способность.

Электропроводность определяется наличием подвижных носителей заряда. Механизмы переноса заряда при различных агрегатных состояниях вещества сильно различаются. Однако величина переносимого заряда всегда равна целому числу элементарных электрических зарядов.

**Электрическое сопротивление (электросопротивление)** – свойство материала, определяющее силу его противодействия электрическому току при заданном напряжении электрического поля.

Удельное электрическое сопротивление  $\rho_0$  – характеристика, применяемая для оценки электросопротивления, Ом·мм<sup>2</sup>/м (в единицах СИ Ом·м).

$$\rho_0 = R \cdot S / l,$$

где  $R$ ,  $S$  и  $l$  – соответственно электрическое сопротивление, площадь и длина проводника электрического тока.

В табл. 1.4. представлены значения удельных электрических сопротивлений для некоторых металлов и сплавов.

Все материалы, применяемые в технике, по своим электрическим свойствам делят на три группы: *проводники*, *полупроводники* и *диэлектрики*. Различаются эти материалы по величине электросопротивления, по характеру его температурного изменения и по типу проводимости. Резкой границы между диэлектриками и полупроводниками провести нельзя. По величине удельного электросопротивления принято следующее деление:

- проводники –  $10^{-5} \dots 10^{-8}$  Ом·м и менее;
- полупроводники –  $10^{-6} \dots 10^7$  Ом·м;
- диэлектрики –  $10^7 \dots 10^{18}$  Ом·м.

**Удельные электрические сопротивления  
для некоторых металлов и сплавов**

Металл, сплав	$\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	Металл, сплав	$\rho$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м
Серебро	0,016	Платина	0,107
Медь	0,0172	Свинец	0,205
Золото	0,023	Титан	0,55...0,78
Алюминий	0,0271	Сталь	0,14
Молибден	0,054	Константан	0,5
Вольфрам	0,055	Манганин	0,43...0,51
Цинк	0,059	Нихром	1,05...1,4
Никель	0,087	Хромель	1,3...1,5
Железо	0,098	Латунь	0,07...0,08

Электрическое сопротивление у диэлектриков и полупроводников с повышением температуры уменьшается, а у проводников – растет. У некоторых металлов при внешних воздействиях (например, при уменьшении температуры) сопротивление скачком уменьшается практически до нуля (явление *сверхпроводимости*).

Характер изменения электрических свойств различных материалов при внешних воздействиях можно объяснить, если рассмотреть, что является в них носителем зарядов.

Проводники по типу носителей зарядов делятся на электронные (металлы и сплавы), ионные (электролиты) и смешанные, где имеет место движение как свободных электронов, так и ионов (например, плазма). Чистые металлы обладают малым удельным электросопротивлением ( $\rho_0 = 0,015...0,105$  Ом·мм<sup>2</sup>/м). Исключением является ртуть, у которой удельное электросопротивление составляет  $0,943...0,952$  Ом·мм<sup>2</sup>/м. Сплавы имеют более высокие значения удельного электросопротивления ( $\rho_0 = 0,30...1,8$  Ом·мм<sup>2</sup>/м). К группе сплавов с повышенным удельным электросопротивлением относятся жаро- и коррозионно-стойкие сплавы, которые применяются в электронагревательных приборах и реостатах.

Для полупроводников носителями зарядов являются электроны проводимости (электронная проводимость n-типа) и дырки (дырочная проводимость p-типа). Электронами проводимости являются электроны, способные перемещаться по кристаллу. *Дырка* – электронная вакансия в кристалле полупроводника, обладающая подвижностью. Дырки – положительно заряженный носитель тока в полупроводнике.

В чистом полупроводнике, проводимость которого обусловлена тепловым возбуждением, одинаковое число электронов и дырок движется в противоположных направлениях (собственная проводимость). Собственная проводимость возрастает при повышении температуры.

Электроны проводимости в полупроводниковых материалах могут образовываться под действием света (*внутренний фотоэффект*). При достаточно большой энергии светового потока проводимость полупроводниковых материалов

возрастает. Техническое применение: фотосопротивления.

Проводимость полупроводника можно увеличить добавлением атомов других элементов (легированием), при этом возникает примесная проводимость. Примесная проводимость может быть обусловлена электронами или дырками. При этом в одном и том же образце полупроводникового материала один участок может обладать р-проводимостью, а другой – n-проводимостью. р-n-переход работает как выпрямитель, пропуская ток только из р-области в n-область. Полупроводниковый материал с р-n-переходом называют диодом и используется для выпрямления переменного тока.

Твердые диэлектрические материалы (полимеры, керамика, неорганическое стекло и др.) делят на *неполярные и полярные диэлектрики*.

**Неполярные диэлектрики** могут иметь молекулярное (полиэтилен, фторопласт-4 и др.) или ионное кристаллическое (слюда, кварц и др.) строение. Молекулярные диэлектрики состоят из электрически нейтральных молекул, которые до воздействия на них электрического поля не обладают электрическими свойствами. Ионные кристаллические диэлектрики образованы парами ионов, причем каждая пара составляет нейтральную частицу. Ионы располагаются в узлах кристаллической решетки.

**Полярные диэлектрики** (например, поливинилхлорид) состоят из полярных молекул – диполей. Электрические диполи представляют собой пары зарядов противоположных знаков, которые взаимно уравновешиваются и находятся на некотором расстоянии друг от друга.

### 1.2.9. Магнитные свойства

Магнитное состояние веществ определяет магнетизм.

**Магнетизм** – особая форма взаимодействия, осуществляемого магнитным полем, между движущимися электрически заряженными частицами (телами) или частицами (телами) с магнитным моментом.

**Магнитный момент  $M$**  – векторная величина, характеризующая вещества как источник магнитного поля. Полный магнитный момент свободного атома равен геометрической сумме орбитальных и спиновых моментов всех его электронов. Упорядоченно ориентированные магнитные моменты атомов вещества создают макроскопический магнитный момент.

Характеристикой магнитного состояния вещества является **намагниченность  $J$** , которая определяется как отношение магнитного момента  $M$  вещества к его объему  $V$ . При этом достижение максимально возможного для данного вещества значения намагниченности  $J_{\infty}$  называется **магнитным насыщением**.

Совокупность атомов с упорядоченно ориентированными магнитными моментами может образовать самостоятельный элемент структуры вещества – **домен**.

**Домен** – элемент субструктуры химически однородного вещества, характеризующийся спонтанной (самопроизвольной) намагниченностью. Обычно домены имеют размеры  $10^{-5} \dots 10^{-2}$  см и доступны непосредственному наблюдению.

Вещества в соответствии со схемами ориентации магнитных моментов их атомов классифицируются по магнитному состоянию на *парамагнетики*, *ферромагнетики*, *антиферромагнетики* и *ферримагнетики* (рис. 1.2).

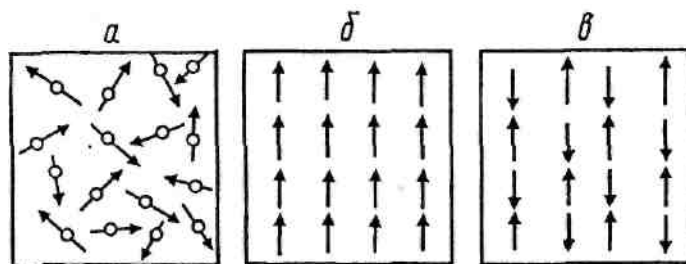


Рис. 1.2. Схемы ориентации магнитных моментов атомов для парамагнетиков (а), ферромагнетиков (б), антиферромагнетиков (в)

У *парамагнетиков* магнитные моменты атомов внутри каждого домена ориентированы хаотично и взаимно компенсируют друг друга, поэтому материал в целом не намагничен. Парамагнетиками являются все переходные металлы с недостроенными *f*- и *d*-электронными оболочками; щелочные и щелочноземельные металлы, ряд солей Fe, Co, Ni и редкоземельных элементов; водные растворы солей, содержащих ионы переходных элементов; из газов – кислород O<sub>2</sub>.

У *ферромагнетиков* внутри каждого домена магнитные моменты атомов расположены параллельно друг другу в одном направлении, и поэтому каждый домен спонтанно намагничен до величины магнитного насыщения. Вектора намагниченности доменов ферромагнетиков в отсутствие внешнего магнитного поля ориентированы таким образом, что результирующая намагниченность образца в целом, как правило, равна нулю.

Ферромагнетизм проявляется в кристаллах Fe, Co, Ni, ряде редкоземельных металлов (Gd, Dy, Er и др.), в сплавах и соединениях с участием этих элементов, а также в сплавах Cr, Mn и в соединениях U. Особую группу ферромагнетиков образуют сильно разбавленные растворы замещения парамагнитных атомов (например, Fe или Co) в диамагнитной матрице Pd. Ферромагнитные свойства обнаружены также в металлических стеклах и аморфных полупроводниках.

У некоторых веществ более выгодным является антипараллельное упорядочение магнитных моментов в доменах. В этом случае домен состоит из двух подрешеток с противоположной ориентацией магнитных моментов атомов. Если магнитные моменты двух подрешеток скомпенсированы, то такие вещества называют *антиферромагнетиками*, а если не скомпенсированы, то возникает результирующий магнитный момент, и такие тела называют *ферримагнетиками*. Антиферромагнитные материалы относятся к группе парамагнетиков, а ферримагнитные – к группе ферромагнетиков.

К антиферромагнетикам относятся ряд элементов (твердый кислород, Cr, α-марганец и др.) и порядка тысячи известных химических соединений металлов (NiF<sub>2</sub>, FeO и др.). Значительная часть ферримагнетиков – это диэлектриче-

ские или полупроводниковые ионные кристаллы, содержащие магнитные ионы различных элементов или одного элемента, но находящиеся в разных кристаллографических позициях (в неэквивалентных узлах кристаллической решетки). К ферромагнетикам относятся также ряд упорядоченных металлических сплавов, интерметаллиды и, главным образом, различные оксиды, в том числе ферриты.

Вещества даже одного и того же химического состава в зависимости от кристаллического строения и фазового состава могут находиться в различных магнитных состояниях. Например, Fe, Co и Ni с кристаллическим строением ниже определенной температуры (*точка Кюри*) обладают ферромагнитными свойствами, а выше этой температуры они парамагнитны. Переход из парамагнитного состояния в антиферромагнитное переходит при понижении температуры.

Все материалы по величинам магнитных восприимчивости и проницаемости делятся на *ферромагнитные* ( $\mu \geq 1, \kappa > 0$ ); *парамагнитные* ( $\mu > 1, \kappa > 0$ ) и *диамагнитные* ( $\mu < 1, \kappa < 0$ ).

Величина магнитной восприимчивости капа для пара- и диамагнитных материалов очень мала ( $10^{-4} \dots 10^{-6}$ ); для ферромагнитных материалов (металлов переходных групп) – от нескольких десятков до тысяч единиц, причем она сильно и сложным образом зависит от напряженности намагничивающего поля.

По величине магнитной проницаемости существует деление электротехнических материалов на *немагнитные* и *магнитные*.

**Немагнитные материалы** – пара-, диа- и слабоферромагнитные материалы с магнитной проницаемостью менее 1,5. К немагнитным материалам относятся большинство металлов и сплавов (в том числе некоторые стали), полимеры, дерево, стекло и т. д.

**Магнитные материалы** классифицируют по их физической природе и величине коэрцитивной силы.

По физической природе магнитные материалы делят (отраслевое деление) на три группы: *металлические* материалы, *неметаллические* материалы и *магнитодиэлектрики*.

К неметаллическим магнитным материалам относятся **ферриты** – ферромагнитные материалы, получаемые из порошкообразной смеси оксидов некоторых переходных металлов и оксида железа путем прессования с последующим спеканием. По магнитным свойствам ферриты аналогичны ферромагнетикам.

**Магнитодиэлектрики** – композиционные материалы, состоящие из 70...80 % порошкообразного магнитного материала (ферро- или ферромагнетика) и 30...20 % диэлектрического материала (например, полистирола, резины и др.). Магнитодиэлектрики применяются в приборостроении (постоянные магниты, эластичные герметизаторы для разъемных соединений и др.).

Ферриты и магнитодиэлектрики отличаются от металлических магнитных материалов высокими значениями объемного удельного сопротивления ( $\rho_0 = 10 \dots 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ), что резко снижает потери на вихревые токи. Это позволяет использовать эти материалы в технике высоких частот. Кроме того, ферриты обладают стабильностью своих магнитных характеристик в широком диапазоне

частот.

По величине коэрцитивной силы магнитные материалы делятся на материалы:

– *магнитно-мягкие* – не более 4 кА/м;

– *магнитно-твердые (магнитно-жесткие)* – более 4 кА/м.

**Магнитомягкие материалы** намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магнитных полях напряженностью  $H = 8 \dots 800$  А/м. При температурах ниже точки Кюри эти материалы спонтанно намагничены, но внешне не проявляют магнитных свойств, так как состоят из хаотически ориентированных намагниченных до насыщения доменов. Магнитно-мягкие материалы обладают относительно большими значениями магнитной проницаемости, малой коэрцитивной силой и относительно большой индукцией насыщения. Эти материалы отличаются малыми потерями на гистерезис и вихревые токи на один цикл намагничивания.

К магнитно-мягким материалам относятся: чистое (электромагнитное) железо, листовая электротехническая сталь, железо-армко, пермаллои (железоникелевые сплавы) и др.; металлические стекла и некоторые ферриты. К магнитно-мягким материалам специального назначения относятся терромагнитные сплавы и магнитострикционные материалы.

Магнитно-мягкие материалы применяются для изготовления магнитопроводов трансформаторов, электрических машин и аппаратов, магнитных экранов и др., где требуется быстрое намагничивание с малыми потерями энергии. Терромагнитные материалы служат для компенсации температурных изменений магнитных потоков в магнитных системах приборов, а магнитострикционные материалы – для преобразования электромагнитной энергии в механическую.

**Магнитотвердые материалы** намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях, напряженностью в тысячи и десятки тысяч А/м. Они отличаются широкой гистерезисной петлей, то есть обладают большой коэрцитивной силой и большой остаточной индукцией. Эти материалы, будучи намагничеными, могут длительное время сохранять сообщенную им энергию, то есть могут служить источниками постоянного магнитного поля. Магнитно-твердые материалы оценивают еще величиной максимальной удельной энергии  $W_m$  (энергии, создаваемой магнитом в воздушном зазоре в режиме намагничивания между полюсами магнита и отнесенной к единице объема магнита):  $W_m = BH/2$ , Дж/м<sup>3</sup>.

К металлическим магнитно-твердым материалам относятся легированные стали, закаливаемые на мартенсит; специальные сплавы на основе Fe-Ni-Al и Fe-Ni-Co, легированных медью, титаном, ниобием и др. Большое значение в технике приобрели порошковые сплавы и ферриты. В качестве магнитно-твердых материалов используются также *магнитопласты* и *магнитоэласты* из порошков сплавов и ферритов со связкой из пластмасс и резины.

Магнитотвердые материалы применяются для изготовления постоянных магнитов.

### 1.2.10. Технологические свойства

Технологические свойства материалов определяют возможность изготовления продукции при использовании данного материала (сырья). При этом материал должен удовлетворять требованиям минимальной трудоемкости при изготовлении.

К технологическим свойствам материалов относят свойства, определяющие возможности их литья, обрабатываемости давлением и резанием, свариваемости, упрочняемости, восприимчивости к закалке и др.

Рассмотрим наиболее распространенные технологические свойства.

**Литейные свойства** определяются совокупностью показателей, включающей в себя: температуры плавления, кипения, заливки и кристаллизации; плотность и жидкотекучесть расплава; литейную усадку и др. Литейная усадка – это типичное технологическое свойство.

**Обрабатываемость давлением** в горячем и холодном состояниях оценивают: различными технологическими пробами (на осадку, изгиб, вытяжку сферической лунки и др.); характеристиками пластичности, твердости и упрочнения материала при температуре обработки. Среди характеристик обрабатываемости давлением используют, например, ковкость.

**Ковкость** – способность металлов и сплавов подвергаться ковке и другим видам обработки давлением (прокатке, волочению, прессованию, штамповке). Характеризуется пластичностью и сопротивлением деформации.

**Обрабатываемость резанием** металлов и сплавов оценивается скоростью затупления резца при точении на заданных режимах резания с обеспечением необходимых параметров шероховатости поверхности и выражается в процентах от обрабатываемости стандартного материала. На основании данных об обрабатываемости различных материалов составляются нормативы режимов резания или рекомендации по выбору режимов резания для конкретных условий обработки.

**Обрабатываемость камня** оценивается их податливостью механическому, термическому, электрическому и другим воздействиям для придания им необходимой формы, размеров и фактуры. В качестве показателя обрабатываемости камня используют коэффициент обрабатываемости, представляющий собой отношение трудозатрат при обработке единицы продукции из данного вида камня к аналогичному показателю, соответствующему эталонному материалу. В зависимости от вида воздействия выделяют конкретные характеристики обрабатываемости: пилимость, полируемость, истираемость, шлифуемость и др. Общепринятого метода оценки обрабатываемости камня не существует.

**Свариваемость** – способность материала образовывать неразъемные соединения с требуемыми механическими характеристиками. Ее оценивают сравнением свойств основного материала со свойствами сварных соединений, количеством способов сварки, диапазоном допускаемых режимов сварки и др. Для технологической оценки свариваемости определяют структуру, механические свойства и склонность к образованию трещин материала шва и околошовной зоны.



**Надежность сварного соединения** – это свойство сварных участков выдерживать в течение длительного времени комплексное нагружение, которое обычно воздействует на соответствующую деталь или сварную конструкцию. Испытания проводят на специальных образцах, а наиболее жесткие условия испытаний создаются путем выбора соответствующей формы образца и типа нагружения.

Испытания технологических свойств (технологические испытания) относятся к самым старым видам испытаний материалов. Отличительной их чертой является определение возможности применения материала в данном способе производства или для специальных целей использования. При этом, в отличие от других методов испытания, определяются не отдельные значения свойств с минимальной погрешностью измерения, а оценивается общее состояние материала.

С повышением степени стандартизации для методов технологических испытаний в настоящее время установлены строго определенные нормы, которые связаны с той или иной технологией производства. Информацию о методе технологического испытания для конкретного материала можно получить в ежегодном Указателе государственных стандартов.

#### **1.2.11. Потребительские свойства**

**Потребительские свойства** материалов определяют возможность их использования при максимальной работоспособности в условиях эксплуатации или потребления.

Перечень и величина потребительских свойств в обязательном порядке устанавливаются в государственных стандартах, что создает законодательные основы гарантии качества и безопасности используемых веществ и материалов. Для каждого материала перечень потребительских свойств, называемый **Номенклатурой показателей качества**, устанавливается в стандартах государственной системы «Система показателей качества».

Показателями качества могут быть как показатели физических свойств, величина которых определена в стандартных условиях, так и специфические показатели, определяющие возможность максимальной работоспособности материала в условиях эксплуатации или потребления.

Показатели качества в Номенклатуре показателей качества распределены по следующим группам: *назначение, надежность, эргономичность и эстетичность, технологичность, унификация, стандартизация, патентно-правовые показатели, экологические показатели, безопасность, транспортабельность.*

Группой показателей качества, имеющей социальное и технико-экономическое значение, является *надежность*.

**Надежность** – свойство объекта сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

В группу показателей надежности входят такие характеристики, как *долговечность, сохраняемость, безотказность, ремонтпригодность* и др. На мате-

риалы распространяются в основном такие показатели надежности, как *долговечность* и *сохраняемость*.

**Долговечность** – свойство материала сохранять работоспособность до предельного состояния, которое определяется степенью разрушения, требованиями безопасности или экономическими соображениями.

Потребительские свойства материалов, используемые для оценки их долговечности, можно разделить по области применения на две группы:

1) свойства, позволяющие оценить прочность, твердость или изменение формы изделия при воздействии окружающей среды (поток масс и излучений, агрессивности среды и т.п.);

2) свойства, используемые для оценки последствий механических воздействий на прочностные показатели материалов, в том числе при различных параметрах окружающей среды.

Для свойств первой группы в их наименовании традиционно используется слово «стойкость». Так, для оценки прочности при воздействии окружающей среды используются термины *атмосферосвета-, химическая, радиационная, водо-, огне-, жаро-, термо-, морозо-, холо-* и др., а для оценки твердости – *красностойкость*. Для оценки способности сохранять форму при воздействии окружающей среды используют термины *огнеупорность* и *теплостойкость*.

**Атмосферостойкость** – способность материала сопротивляться разрушающему действию солнечных лучей, дождя, мороза, снега, ветра и других атмосферных факторов, например газов и пыли, загрязняющих нижние слои атмосферы.

**Светостойкость** – способность материала сохранять свои физико-химические свойства под действием световых лучей.

**Химическая стойкость** – способность материала сопротивляться воздействию кислот, щелочей, газов и растворов солей.

Не способны сопротивляться действию даже слабых кислот карбонатные природные каменные материалы – известняк, мрамор, доломит; не стоек к действию концентрированных щелочей битум. Наиболее стойкими материалами по отношению к действию кислот и щелочей являются керамические материалы и изделия, а также многие изделия на основе пластмасс.

**Радиационная стойкость** – свойство материала сохранять свою структуру и свойства после воздействия ионизирующих излучений. Для сравнительной оценки используется «толщина слоя половинного ослабления», равная толщине слоя защитного материала, необходимой для ослабления интенсивности излучения в два раза.

**Водостойкость  $W$**  – способность материалов сохранять необходимые прочностные свойства при действии воды. Водостойкость материала характеризуется коэффициентом размягчения.

**Коэффициент размягчения  $K_p$**  – отношение прочности материала, насыщенного водой, к прочности сухого материала.

Материалы, у которых коэффициент размягчения больше 0,75, называются *водостойкими*.

**Огнестойкость** – способность материалов сохранять необходимые эксплуатационные свойства при действии высоких температур, пламени и воды в условиях пожара в течение определенного времени. Она зависит от сгораемости материала, то есть от его способности воспламениться и гореть.

Огнестойкость выражается произведением потерь массы  $\Delta m$  (мг) на пути распространения пламени  $s$  (мм), которое определяет степень сгорания от 0 (полностью сгораемые материалы) до 5 (негорючие материалы). Для измерения этой характеристики образец прикладывают к раскаленному стержню ( $T = 1223 \text{ K}$ ) на установленное время, а затем, загасив сухим способом пламя, определяют потерю массы  $\Delta m$ . Путь пламени  $s$  определяют как разность между исходной длиной образца и длиной его части, на которой не обнаружено обугливания, оплавления или разложения.

По огнестойкости материалы классифицируются на *несгораемые*, *трудносгораемые* и *сгораемые* материалы.

Несгораемые материалы под действием огня или высокой температуры не горят и не обугливаются (сталь, бетон, кирпич и др.). Однако необходимо учитывать, что некоторые материалы при пожаре растрескиваются (гранит) или сильно деформируются (металлы) при температуре, начиная с  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , поэтому конструкции из подобных материалов приходится защищать более огнестойкими материалами. Трудно сгораемые материалы (асфальтобетон, фибролит, некоторые пенопласты и др.) под воздействием огня или высокой температуры тлеют, но после прекращения действия огня их горение и тление прекращаются. Сгораемые (как правило, органические) материалы горят открытым пламенем и продолжают гореть после удаления источника огня.

**Жаростойкость:** 1) для металлических материалов то же, что жароупорность, окалинотойкость, – способность противостоять химическому разрушению поверхности под действием воздуха или другой окислительной газовой среды при высоких температурах; 2) для других конструктивных материалов (например, бетона) – способность сохранять или лишь незначительно изменять механические свойства при высоких температурах.

Для чугунов, стекол и керамических изделий (главным образом, огнеупорных) используется понятие *термостойкость*.

**Термостойкость (термическая стойкость)** – способность хрупких материалов противостоять, не разрушаясь, термическим напряжениям. Термостойкость определяется перепадом температур при закалке до комнатной температуры, при котором еще не наступает разрушение материала, или числом теплосмен (циклов нагрева и охлаждения), выдерживаемых таким образом (изделием), до появления трещин.

**Морозостойкость** – свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное число циклов попеременного замораживания и оттаивания без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности. Морозостойкость материала количественно оценивается маркой по морозостойкости (например, F50). За марку материала по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более

15 %; образцы после испытаний не должны иметь видимых повреждений – трещин, выкрашивания (потеря массы не более 5 %). От морозостойкости зависит долговечность строительных материалов в конструкциях, подвергающихся действию атмосферных факторов и воды.

**Хладостойкость** – способность высокополимерных материалов противостоять низким температурам. За хладостойкость принимается отрицательная температура, при которой после установленного времени выдержки на образцах материала появляются признаки их механического разрушения (трещины и др.).

**Красностойкость** – способность сплава сохранять при нагреве до температур красного каления (обычно 600...650 °С) высокую твердость и износостойкость. Повышенная красностойкость – характерное свойство инструментальных сталей.

**Огнеупорность** – способность некоторых материалов (главным образом, огнеупоров) противостоять, не расплавляясь и не деформируясь, воздействию высоких температур (от 1580 °С и выше). Материалы по степени огнеупорности подразделяют на огнеупорные (от 1580 °С), тугоплавкие (1350...1580 °С) и легкоплавкие (менее 1350 °С).

**Огнеупоры** – материалы и изделия преимущественно из минерального сырья, обладающие огнеупорностью не ниже 1580 °С. Различают изделия огнеупорные (огнеупорность 1580...1770 °С), высокоогнеупорные (1770...2000 °С) и высшей огнеупорности (свыше 2000 °С). Применяются для кладки промышленных печей для получения и плавки металлов (около 60 % потребления огнеупоров), получения кокса, обжига цемента, в энергетических установках, топках и других теплотехнических агрегатах.

Для высокомолекулярных полимерных материалов определяется теплостойкость. **Теплостойкость** характеризуют температурой, при которой наступает еще допустимое для данного изделия изменение формы. Потребительские свойства второй группы позволяют дать оценку работы материалов в условиях, максимально приближенных к условиям эксплуатации, то есть с учетом различного рода механических воздействий на них, в том числе в агрессивных средах. Среди таких свойств – *релаксация напряжений, ползучесть, усталость, выносливость*. Большое значение имеют такие характеристики потребительских свойств, как *живучесть, длительная прочность, жаропрочность, истираемость и сохраняемость*.

**Релаксация напряжений** – процесс уменьшения во времени напряжений деформируемого материала в результате перехода упругой деформации в пластическую при условии постоянства общей деформации. Механизм релаксации может быть дислокационным, диффузионным и смешанным при совместном развитии процессов движения дислокаций и диффузии атомов. Релаксация напряжений наблюдается, например, в предварительно напряженной арматуре в период изготовления железобетонных конструкций.

**Ползучесть** – медленная непрерывная пластическая деформация материалов под действием постоянной нагрузки или механических напряжений. Под действием длительно приложенной нагрузки может развиваться значительная

деформация, например, несущей конструкции, а иногда и ее разрушение.

Ползучести в той или иной мере подвержены все твердые тела – как кристаллические, так и аморфные, подвергнутые любому виду нагружения. Ползучесть может реализоваться от криогенных температур до температур, близких к температурам плавления. Так, в металлах наиболее сильный эффект ползучести наблюдается при температуре, равной  $0,4 T_{пл}$ . Поскольку деформация и ползучесть увеличиваются с возрастанием температуры, то ее вредные последствия особенно проявляются при повышенных температурах. Механизм ползучести: скольжение дислокаций и направленная диффузия.

Ползучесть описывается кривой ползучести, которая представляет собой зависимость деформации от времени при постоянных температуре и приложенной нагрузке (или напряжении). Кривая ползучести имеет одинаковый вид для широкого круга материалов – металлов и сплавов, ионных кристаллов, полупроводников, полимеров, льда и других твердых тел.

Ползучесть характеризуется *пределом ползучести*, то есть величиной длительно действующего напряжения, которое при данной температуре вызывает заданную скорость деформации. Величина ее при определении предела ползучести зависит от срока службы изделия, который может колебаться в очень широком диапазоне. Пределы ползучести, определенные при разных температурах, позволяют конструктору иметь исходные данные для расчета деталей машин и установок, подверженных одновременно длительному воздействию напряжений и температур.

**Усталость** – процесс постепенного накопления повреждений под действием циклических напряжений, приводящий к уменьшению срока службы, образованию трещин и разрушению. *Предел усталости* – наибольшее напряжение, которое выдерживает материал без разрушения при повторении заранее заданного числа циклов переменных нагрузок. Частным случаем усталости является *коррозионная усталость*.

**Коррозионная усталость** – понижение предела выносливости металла или сплава при одновременном воздействии циклических переменных напряжений и коррозионной среды.

**Выносливость** – способность материала сопротивляться усталости. Выносливость определяется при длительном воздействии на материал циклических напряжений. Показателем выносливости является предел выносливости.

**Предел выносливости**  $\sigma_R$  – наибольшее значение максимального напряжения цикла, при действии которого не происходит усталостного разрушения после произвольно большого или заданного циклов нагружений. Предел выносливости определяют по числу циклов нагружений до полного разрушения материала или изделия.

Предел выносливости определяет долговечность материала. Он зависит от состава, структуры и состояния поверхности материала, а также от частоты циклов нагружений, температуры и других физико-химических особенностей окружающей среды.

**Живучесть** – время существования изделия от момента зарождения первой микроскопической трещины усталости размером 0,5...1,0 мм до окончательного разрушения. Живучесть характеризует надежность материала при циклическом нагружении.

Количественно живучесть изделия в конструкции оценивается коэффициентом  $\beta = 1 - \tau_0 / \tau_{раз}$ , где  $\tau_0$  и  $\tau_{раз}$  – продолжительность эксплуатации изделия до появления трещин и до разрушения соответственно  $\beta = 0,1...0,9$ .

**Длительная прочность** – способность материала разрушаться не тотчас после приложения нагрузки, а по истечении некоторого времени. Явление длительной прочности позволяет использовать конструкционный материал в течение ограниченного (может быть, очень короткого, но достаточного для выполнения заданной функции) времени при больших нагрузках, существенно превышающих нагрузки, допустимые при длительной эксплуатации, а также определить время безопасного функционирования (*ресурса*) конструкции. *Пределом длительной прочности* является наибольшее напряжение, вызывающее разрушение материала за определенное время при постоянной температуре.

**Жаропрочность** – способность конструкционных материалов (главным образом, металлических) выдерживать без существенных деформаций механические нагрузки при высоких температурах. Определяется комплексом свойств: сопротивлением ползучести, длительной прочностью и жаростойкостью.

**Истираемость** оценивают потерей первоначальной массы образца, отнесенной к площади поверхности истирания  $F$ .

### 1.2.12. Общие требования безопасности при использовании или применении веществ и материалов

Отсутствие необходимой информации об опасных свойствах химических веществ и материалов и, как следствие, неправильное обращение с ними – одна из причин возникновения ситуаций, приводящих к последствиям, связанным с ущербом для жизни, здоровья людей и окружающей среды.

По степени воздействия на организм вредные вещества, содержащиеся в сырье, продуктах, полупродуктах и отходах производства, подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й – вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й – вещества высокоопасные;
- 3-й – вещества умеренно опасные;
- 4-й – вещества малоопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей. Отнесение вредного вещества к классу опасности производят по показателю, значение которого соответствует наиболее высокому классу опасности.

Для осуществления мероприятий по обеспечению безопасного обращения с опасными веществами и материалами необходима информация об их свойствах, мерах защиты от вредных воздействий, условиях хранения и др. Основны-

ми носителями этой информации в большинстве развитых стран являются предупредительная маркировка и информационные документы о безопасности вещества (материала).

Паспорт безопасности является обязательной составной частью технической документации на вещество (материал), а также на отходы промышленного производства. Он предназначен для обеспечения потребителя достоверной информацией по безопасности промышленного применения, хранения, транспортирования и утилизации веществ и материалов, а также их использования в бытовых целях.

Паспорт безопасности должен содержать следующие разделы:

- наименование и состав вещества или материала, сведения об организации (лице) – производителе или поставщике;
- виды опасного воздействия и условия их возникновения;
- меры первой помощи;
- меры и средства обеспечения пожарной безопасности;
- меры по предотвращению чрезвычайных ситуаций;
- правила обращения и хранения;
- правила и меры по обеспечению безопасности пользователя;
- физические и химические свойства;
- стабильность химической активности;
- токсичность;
- воздействие на окружающую среду;
- утилизация и захоронение отходов (остатков);
- правила транспортирования;
- информация о международном и национальном законодательстве.

## 2. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

В главе представлены сведения и определения о физико-химических свойствах черных и цветных металлов и их сплавов, их применение как в горной промышленности так и в народном хозяйстве.

Рассматриваются основные виды, термической, термомеханической и химикотермической обработки стали.

В соответствии с материалами главы студент должен уметь:

- формировать и правильно использовать указанные определения;
- понимать их суть и содержание;
- сравнивать и находить между ними разницу.

**Металлы** – простые вещества, обладающие в обычных условиях характерными свойствами: высокими электро- и теплопроводностями, отрицательным температурным коэффициентом электропроводности, способностью хорошо отражать электромагнитные волны (блеск и непрозрачность), высокой прочностью и пластичностью. Свойства металлов могут значительно измениться при очень высоких давлениях ( $10^{10} \dots 10^{11}$  Па). Многие металлы в зависимости от температуры и давления могут существовать в виде нескольких кристаллических модификаций.

Подобными металлическими свойствами обладают более 80 химических элементов и множество металлических сплавов. Число металлических сплавов, применяемых в технике, исчисляется многими тысячами и постоянно возрастает в соответствии с возникающими новыми и разнообразными требованиями отдельных отраслей промышленности.

Свойства металлов обусловлены их кристаллическим строением и наличием в их кристаллической решетке большого количества ( $10^{22} \dots 10^{28}$  в  $1 \text{ см}^3$ ) не связанных с атомными ядрами подвижных электронов проводимости. Слабая связь валентных электронов с ядрами атомов обуславливает химические свойства металлов: они легко образуют основные оксиды и гидроксиды, большинство металлов замещает водород в кислотах и т.д.

Большинство металлов кристаллизуется с атомным строением в виде ОЦК, ГЦК и ГПУ кристаллических решеток. В парообразном состоянии металлы одноатомны.

Металлические сплавы по свойствам имеют много общего с металлами, поэтому их нередко относят к металлам.

Металлы и сплавы в промышленности разделяют на две основные группы: *черные и цветные металлы*.

**Черные металлы** – сплав железа с углеродом, в котором могут содержаться в большем или меньшем количестве и другие химические элементы. Кобальт, никель, а также близкий к ним по свойствам марганец нередко относят к черным металлам. Черные металлы получили наибольшее распространение, что обусловлено относительно высоким содержанием железа в земной коре, его низкой стоимостью, высокими механическими и технологическими свойствами.



**Цветные металлы** по свойствам подразделяют на группы:

- *легкие металлы* (Be, Mg, Al, Ti), обладающие сравнительно малой плотностью – до  $5000 \text{ кг/м}^3$ ;
- *тугоплавкие металлы* (Ti, Cr, Zr, Nb, Mo, W, V и др.) с температурой плавления выше, чем у железа ( $1539 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- *благородные металлы* (Ph, Pd, Ag, Os, Pt, Au и др.), обладающие химической инертностью;
- *урановые металлы* (U, Th, Pa) – актиноиды, используемые в атомной технике;
- *редкоземельные металлы* (РЗМ), *лантаноиды* (Ce, Pr, Nd, Sm и др.) и сходные с ними иттрий и скандий, применяемые как присадки к различным сплавам;
- *щелочноземельные металлы* (Li, Na, K), используемые в качестве теплоносителей в ядерных реакторах.

Классификация металлических сплавов по химическому составу, основанная на указании главного компонента сплава (железо, медь, алюминий и др.), имеет традиционный характер и получила наибольшее распространение. Однако внутри таких классов, определенных с учетом химического состава по главному компоненту сплава, распределение на группы и подгруппы чаще всего проводится по характерным особенностям в свойствах или по области применения данного сплава или нескольких сплавов.

## 2.1. Железо и сплавы на его основе

**Железо** – Fe, химический элемент VIII группы периодической системы элементов, атомный номер 26, атомная масса 55,847. Блестящий серебристо-серый, пластичный металл. Образует полиморфные модификации. На воздухе железо окисляется – покрывается рыхлой ржавчиной.

Физические свойства железа зависят от содержания примесей. Железо с содержанием примесей 0,01...0,1 % имеет следующие свойства: плотность  $7840 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $74,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; удельное электрическое сопротивление  $9,7\cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ; температурный коэффициент электрического сопротивления  $6,51\cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ ; температурный коэффициент линейного расширения  $11,7\cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ; твердость по Бринеллю  $350\text{...}450 \text{ МПа}$ ; модуль Юнга  $(190\text{...}210)\cdot 10^3 \text{ МПа}$ ; предел прочности на разрыв  $\sigma = 200\text{...}250 \text{ МПа}$ ; относительное удлинение  $\delta = 45\text{...}55 \%$ ; ударная вязкость  $KCU = 220\text{...}250 \text{ кДж/м}^2$ .

Железо может иметь три полиморфные модификации ( $\alpha$ -,  $\delta$ - и  $\gamma$ -Fe), каждая из которых существует в определенном температурном интервале.

$\alpha$ -Fe имеет температурный интервал практически от абсолютного нуля до  $911^\circ\text{C}$ .  $\alpha$ -Fe имеет объемно центрированную кубическую решетку. Плотность  $\alpha$ -Fe –  $7860 \text{ кг/м}^3$ . До температуры  $768^\circ\text{C}$  (точка Кюри) эта модификация обладает ферромагнитными свойствами, выше этой температуры – парамагнитными.

$\gamma$ -Fe – парамагнетик, существует от  $911$  до  $1392^\circ\text{C}$ , имеет гранецентрированную решетку. Его плотность –  $8000\text{...}8100 \text{ кг/м}^3$ .

Высокотемпературная модификация  $\delta$ -Fe существует в интервале от 1392 до 1539 °С.  $\delta$ -Fe имеет объемно-центрированную кубическую решетку и так же, как  $\alpha$ -Fe после 768 °С, обладает парамагнитными свойствами.

Сплавы, в которых суммарное содержание примесей менее 0,1 % и углерода менее 0,02 %, называются технически чистым железом, а при содержании менее 0,04% С – *техническим железом (армко-железом)*. Техническое железо имеет высокую магнитную проницаемость ( $\mu = 4500$  Гн/ м) и является электротехническим магнитно-мягким материалом, применяемым для сердечников, полюсных наконечников, электромагнитов, пластин аккумуляторов. Железный порошок в больших количествах применяется при сварке.

Железо – важнейший металл современной техники: на долю сплавов железа с углеродом и другими элементами (железоуглеродистые сплавы) приходится около 95 % всей металлической продукции (чугун, сталь, ферросплавы).

*Железоуглеродистые сплавы* – сплавы Fe (основной компонент) с С. Различают чистые железоуглеродистые сплавы (со следами примесей), получаемые в небольших количествах для исследовательских целей, и технические железоуглеродистые сплавы, содержащие примеси, легирующие элементы и специальные добавки.

### **2.1.1. Стали и сплавы**

*Сталь* – деформируемый (ковкий) сплав железа (основа) с углеродом (до 2 %) и (или) другими элементами (сплавы).

#### **2.1.1.1. Структура сталей в равновесном состоянии**

Вид окончательно сформировавшейся микроструктуры сталей и сплавов зависит от содержания в них углерода и может быть определен по структурной диаграмме состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C в соответствии с процессами, которые происходят для соответствующего состава сплава.

Микроструктура сталей, содержащих до 0,006 % углерода, имеет зернистое (полиэдрическое) строение и представляет собой чистый феррит (рис. 2.1, а) Такие стали при небольшой прочности обладают высокой пластичностью и ударной вязкостью.

При содержании в сталях углерода от 0,006 до 0,025 % (техническое железо) их микроструктура представляет собой зерна феррита и расположенный по границам этих зерен третичный цементит (рис. 2.1, б). Хрупкая цементитная сетка снижает пластичность и вязкость сталей.

Микроструктура сталей с содержанием углерода 0,025...0,8 % состоит из зерен феррита и перлита (рис. 2.1, в). При этом в сталях с содержанием углерода до 0,1...0,15 % еще сохраняются включения третичного цементита. В структуре таких сталей при увеличении содержания углерода увеличивается количество перлита с соответствующим уменьшением феррита, что ведет к повышению прочности и твердости стали с одновременным снижением ударной вязкости и относительного удлинения.

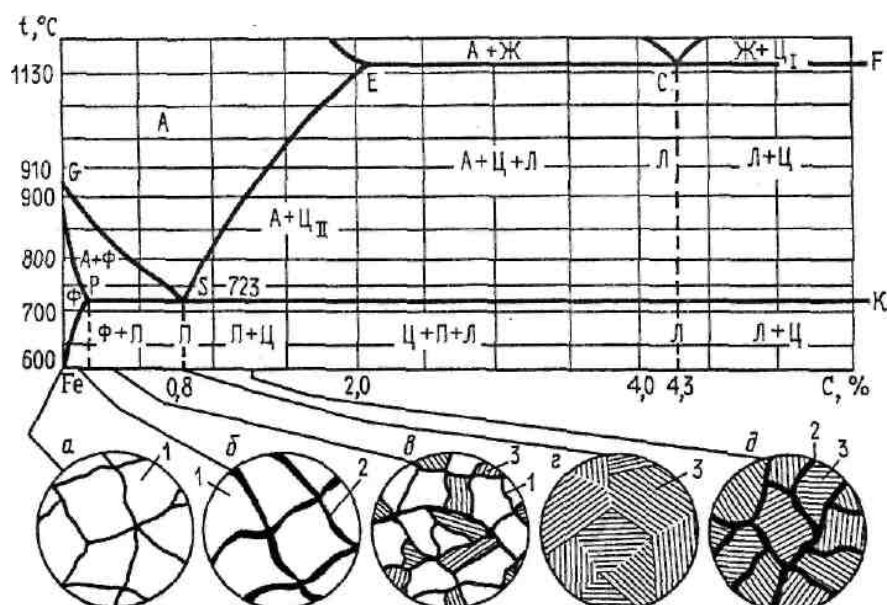


Рис. 2.1. Схемы микроструктур стали в равновесном состоянии. Условное обозначение структурных составляющих:

а – ферритная; б – ферритно-цементитная; в – ферритно-перлитная; г – перлитная; д – перлитно-цементитная; 1 – феррит; 2 – цементит; 3 – перлит

При содержании углерода 0,8% микроструктура представляет собой зерна чистого перлита (рис. 2.1, г). При рассмотрении под микроскопом перлит имеет вид темных включений неоднородного строения. Вследствие значительной дисперсности структуру перлита можно отчетливо различать только при увеличении более чем в 500 раз. Перлит может иметь пластинчатую или зернистую структуру, что определяют условия охлаждения. При этом сталь с зернистой структурой перлита отличается лучшей пластичностью и обрабатываемостью резанием.

В микроструктуре стали, содержащей свыше 0,8 % углерода, по границам зерен перлита располагается вторичный цементит, выделяющийся из аустенита при охлаждении вследствие уменьшения растворимости углерода. При содержании в стали 1 % углерода цементит образует хрупкую сетку, которая разобщает между собой зерна перлита (рис. 2.1, д). Прочность стали при этом снижается.

Цементит третичный в сталях и чугунах, а также цементит вторичный в эвтектических и заэвтектических чугунах как самостоятельные структурные составляющие при микроструктурном анализе обычно не обнаруживаются.

Рассмотренные равновесные структуры обратимы, то есть они многократно реализуются при нагреве и охлаждении сплавов. Это справедливо только в случае, если нагревы и охлаждения протекают с достаточно малыми скоростями, то есть все фазовые превращения завершены и можно не учитывать необходимые для этого перегревы и переохлаждения.

Для количественной оценки компонент структурного состава используют **правило отрезков**, реализуемое на диаграмме Fe-Fe<sub>3</sub>C.

При этом снижаются плотность, теплопроводность, вязкость, пластичность, величины относительных удлинения и сужения, а также величина

остаточной индукции.

Существенную роль играет то, что изменение физических свойств приводит к ухудшению целого ряда технологических, таких, как деформируемость при штамповке, свариваемость и др. Так, хорошей свариваемостью отличаются низкоуглеродистые стали. Сварка средне- и особенно высокоуглеродистых сталей требует применения подогрева, замедляющего охлаждения и других технологических операций, предупреждающих образование трещин.

**Марганец** вводят в стали как технологическую добавку для повышения степени их раскисления и устранения вредного влияния серы. Марганец считается технологической примесью при его содержании, не превышающем 0,8 %. Марганец присутствует в сталях и сплавах в виде твердого раствора  $\alpha$  и как технологическая примесь существенного влияния на свойства сталей не оказывает.

**Кремний** также вводят в сталь для раскисления. Содержание кремния как технологической примеси обычно не превышает 0,37 %. Кремний присутствует в сталях и сплавах в твердом растворе  $\alpha$  и как технологическая примесь влияния на свойства стали не оказывает. В сталях, предназначенных для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12...0,25 %.

### **2.1.1.2. Влияние углерода и технологических примесей на свойства сталей и сплавов**

**Постоянные (технологические) примеси** являются обязательными компонентами сталей и сплавов, что объясняется трудностью их удаления как при выплавке (P, S), так и в процессе раскисления (Si, Mn) или из шихты – легированного металлического лома (Ni, Cr и др.).

К постоянным примесям относят *углерод, марганец, кремний, серу, фосфор*, а также *кислород, водород и азот*.

Постоянные примеси могут присутствовать в виде твердых и газообразных фаз. Однако они не оказывают существенного влияния на положение критических точек диаграммы Fe-C.

Характер влияния этих примесей на свойства сталей и сплавов определяется их возможностью образовывать самостоятельные фазы с основным компонентом, железом, а также местом возникновения этих фаз.

**Углерод** в соответствии с диаграммой состояния железо – цементит может образовать с железом твердый раствор и цементит  $Fe_3C$ . Содержание цементита в сплавах можно оценивать по диаграмме состояния, используя дополнительную шкалу абсцисс по содержанию цементита (см. рис. 2.1), так как количество цементита в сталях пропорционально содержанию углерода.

Влияние углерода на свойства сталей в основном определяется свойствами цементита (*закон аддитивности*) и связано с изменением содержания основных структурных составляющих – феррита и цементита. Следовательно, при увеличении содержания углерода до 1,2 % (рис. 2.2) возрастают прочность, твердость, порог хладноломкости (0,1 % C повышает температуру порога хладноломкости на 20 °С), предел текучести, величина электрического сопротивления и коэрцитивная сила.

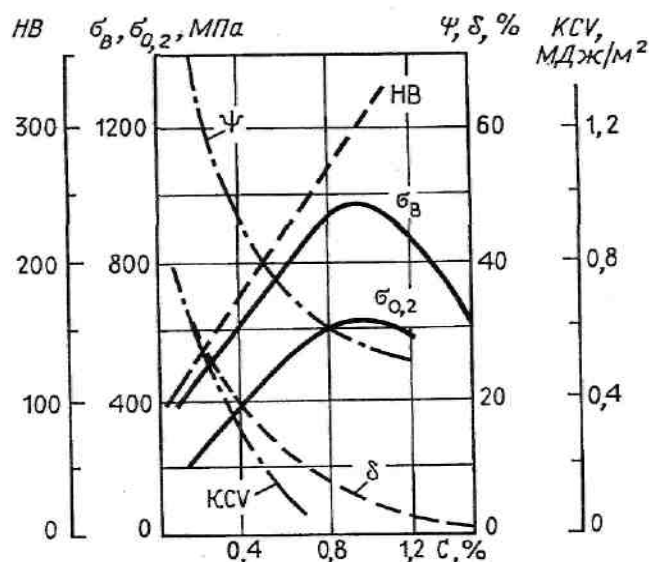


Рис. 2.2. Влияние содержания углерода на механические свойства сталей и сплавов

**Сера.** Пределы содержания серы как технологической примеси составляют 0,035...0,06 %. Сера практически нерастворима в аустените и присутствует в сталях и сплавах в виде хрупких сульфидов FeS и MnS, входящих в эвтектику с температурой плавления 985 °С. Причем эта эвтектика, как правило, кристаллизуется по границам зерен.

Повышение содержания серы существенно снижает механические и физико-химические свойства сталей, в частности пластичность, ударную вязкость, сопротивление истиранию и коррозионную стойкость. При горячем деформировании сталей и сплавов большое содержание серы ведет к красноломкости, проявляющейся появлением надрывов по включениям FeS. Кроме того, повышенное содержание серы снижает свариваемость готовых изделий.

**Фосфор.** Пределы содержания фосфора как технологической примеси составляют 0,025...0,045 %. Фосфор в сталях и сплавах присутствует в твердом растворе  $\alpha$ .

Фосфор, как и сера, относится к наиболее вредным примесям в сталях и сплавах. Увеличение его содержания даже на доли процента, повышая прочность, одновременно повышает текучесть, хрупкость и порог хладноломкости и снижает пластичность и вязкость. Это объясняется тем, что фосфор вызывает сильную внутрикристаллическую ликвацию и способствует росту зерен в металле. Вредное влияние фосфора особенно сильно сказывается при повышенном содержании углерода.

**Кислород и азот** растворяются в ничтожно малом количестве и загрязняют сталь неметаллическими включениями (оксидами, нитридами, газовой фазой). Они оказывают отрицательное воздействие на свойства, вызывая анизотропию механических свойств, повышение хрупкости и порога хладноломкости, а также снижают вязкость и выносливость. При содержании кислорода более 0,03 % он вызывает старение сталей, а более 0,1 % – красноломкость. Азот увеличивает прочность и твердость стали, но снижает пластичность. Повышен-

ное содержание азота вызывает деформационное старение. Старение медленно развивается при комнатной температуре и ускоряется при нагреве до 250 °С.

**Водород** содержится в твердом растворе  $\alpha$  или скапливается в порах и на дислокациях. Увеличение его содержания в сталях и сплавах приводит к увеличению хрупкости. Кроме того, в изделиях проката могут возникать *флокены*, которые развивает водород, выделяющийся в поры. Флокены инициируют процесс разрушения. Металл, имеющий флокены, нельзя использовать в промышленности.

**Флокены** – дефекты внутреннего строения стали в виде серебристо-белых пятен (в изломе) или волосовин (на протравленных шлифах). Встречаются, главным образом, в катаных и кованных изделиях.

### **2.1.1.3. Влияние термической, термомеханической и химико-термической обработок на свойства стали и сплавов**

**Термической обработкой (ТО) стали** называют процессы нагрева и охлаждения, проведенные по определенному режиму, для направленного изменения ее структуры с целью получения необходимых эксплуатационных свойств.

Возможность влияния термической обработки на структуру и свойства сталей и сплавов определяется вторичной кристаллизацией, которая в соответствии с диаграммой состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C (см. рис. 2.1) происходит по линиям GS, SE и PK.

Вторичная кристаллизация при медленном охлаждении происходит в полном соответствии с диаграммой состояния в следующем порядке:

- 1) превращение аустенита в феррит;
- 2) выделение из аустенита мельчайших частиц цементита;
- 3) укрупнение частиц цементита, размеры которых меняются от долей микрона до нескольких микрон.

Реализация всех трех этапов вторичной кристаллизации приводит в соответствии с диаграммой состояния к образованию структурной составляющей – перлита.

Существенное значение для протекания вторичной кристаллизации имеют условия охлаждения. Незначительная степень переохлаждения или весьма медленное охлаждение обеспечивают получение равновесных структур. Чем больше степень переохлаждения аустенита или скорость его охлаждения, тем более неравновесная структура получаемой стали. Изменяя условия охлаждения, можно получить различные модификации структур, а именно, *сорбит*, *троостит* или *мартенсит*, что существенно влияет на свойства сталей и сплавов.

**Сорбит** получают при скорости охлаждения около 50 град/с. При образовании этой структуры протекание всех перечисленных выше этапов происходит, но достаточно ограничено. Толщина образовавшихся при этом пластинок цементита – (0,1...0,5) 10<sup>8</sup> м. Твердость сорбита 250...350 НВ.

**Троостит** образуется при скорости охлаждения 50...100 град/с. При этом возможны только первый и второй этапы вторичной кристаллизации. Пластинки цементита в троостите не превышают по толщине 1·10<sup>-10</sup> м. Твердость троостита 350...450 НВ.

**Мартенсит стали** – пересыщенный метастабильный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -Fe с искаженной кристаллической решеткой, получаемый при скорости охлаждения 150...200 град/с. Минимальную скорость охлаждения, при которой весь аустенит переохлаждается и превращается в мартенсит, называют критической *скоростью закалки*. При нагреве мартенсит переходит в более устойчивые структуры: троостит, сорбит и перлит.

Мартенсит получается путем реализации только первого этапа вторичной кристаллизации и имеет характерное пластинчатое, под микроскопом – игольчатое строение. Рост пластин путем сдвига происходит мгновенно со скоростью около 1000 м/с по бездиффузионному механизму, так как диффузионный переход атомов из кристаллов аустенита в мартенсит при низких температурах невозможен.

Мартенсит имеет наибольший удельный объем по сравнению с другими структурными составляющими сталей и, особенно, с аустенитом. Увеличение удельного объема при образовании мартенсита приводит к возникновению при закалке больших внутренних напряжений, вызывающих деформацию изделий или даже появление трещин.

При образовании мартенсита получают максимальные твердость (НВ 180...650) и хрупкость при минимальных плотности и вязкости. Твердость мартенсита возрастает с увеличением содержания в нем углерода. Однако увеличение содержания углерода повышает склонность мартенсита к хрупкому разрушению.

Основные виды термической обработки стали – *отжиг, закалка и отпуск*.

**Отжиг стали** – термическая обработка, включающая в себя при полном отжиге нагрев до температуры выше верхних критических точек на 30...50 °С, выдержку при такой температуре до полного прогрева металла и последующее очень медленное охлаждение (вместе с охлаждаемой печью). При неполном отжиге нагрев сталей производится до температур выше нижних критических точек на 30...50 °С, а при низкотемпературном отжиге – до температур, лежащих ниже нижних критических точек. При неполном и низкотемпературном отжигах происходит только частичная перекристаллизация. Структура сталей после отжига образуется в полном соответствии с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов.

Отжиг сталей производят в тех случаях, когда необходимо уменьшить твердость, повысить пластичность и вязкость, ликвидировать последствия перегрева, получить равновесное состояние, улучшить обрабатываемость при резании.

Разновидностями отжига сталей являются *нормализационный и изотермический отжиги*.

**Нормализационный отжиг (нормализация)** – вид термической обработки стали, заключающийся в нагреве до температуры на 30...50 °С выше верхних критических точек, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе. В результате нормализации стали с содержанием углерода менее 0,3 % приобретают ферритно-перлитную структуру, а стали с содержанием углерода 0,3...0,7 % – сорбитную.

Нормализация применяется в тех случаях, когда необходимо получить однородную мелкозернистую структуру с более высокой твердостью и прочностью, но с несколько меньшей пластичностью, чем после отжига. При нормализации в заэвтектоидных сталях устраняется цементитная сетка, поэтому ею часто заменяют полный или неполный отжиг при подготовке углеродистых сталей к механической обработке. Нормализация – более производительный и экономичный процесс, чем отжиг.

**Изотермический отжиг** – вид термической обработки стали, заключающийся в нагреве стали до температуры, на 30...50 °С превышающей верхнюю критическую, выдержке при этой температуре, а затем переносе детали в другую печь с заданной (ниже верхней критической) температурой для ее изотермической выдержки до полного распада аустенита. Изотермический отжиг улучшает обрабатываемость резанием и применяется для деталей и заготовок небольших размеров.

**Закалка стали** – термическая обработка, включающая в себя нагрев до температур выше верхних критических точек на 30...50 °С, выдержку при этих температурах до полного прогрева металла и последующее очень быстрое его охлаждение. В результате закалки в стали из аустенита образуется мартенсит. Стали, подвергающиеся закалке, характеризуются *закаливаемостью* и *прокаливаемостью*.

**Закаливаемость** – способность стали повышать твердость в результате закалки.

**Прокаливаемость** – способность стали образовывать закаленный слой со структурой мартенсита и высокой твердостью. Прокаливаемость образца характеризуется максимально получаемой твердостью по сечению изделия (образца).

Стали с малым содержанием углерода закалить на мартенсит очень трудно, так как начало и конец процесса образования мартенсита происходит в области высоких температур, соответствующих образованию других, более устойчивых структур (троостит, сорбит). Прокаливаемость обыкновенных углеродистых сталей распространяется на 5...7 мм.

Микроструктура закаленных сталей зависит от их химического состава и условий закалки (температуры нагрева и режима охлаждения). Закалка стали с содержанием углерода до 0,025...0,03 % задерживает выделение третичного цементита по границам зерен и не меняет структуру феррита. Такая закалка повышает пластичность и почти не изменяет прочностных характеристик.

Микроструктура стали с 0,08...0,15 % С (с нагревом выше верхних критических точек и охлаждением в воде) представляет собой низкоуглеродистый мартенсит с выделениями феррита. Дальнейшее увеличение содержания углерода (0,15...0,25 %) при тех же условиях закалки приводит к повышению твердости с 110...130 до 140...180 НВ, а предел текучести возрастает на 30...50 %. Наиболее значительное изменение свойств происходит при содержании углерода более 0,30...0,35 %.

Микроструктура доэвтектоидных сталей представляет собой мартенсит, кристаллы которого имеют характерную форму пластин (игл). При содержании



углерода более 0,5...0,6 % в микроструктуре сталей наблюдается незначительное (2...3 %) количество аустенита.

Микроструктура заэвтектоидных сталей состоит из мартенсита, зерен вторичного цементита (не растворившегося при нагреве) и остаточного аустенита. Кристаллы (иглы) мартенсита очень небольших размеров. Повышение температуры закалки вызывает растворение вторичного цементита и способствует росту зерна.

В тех случаях, когда требуются высокая твердость и повышенная износостойкость поверхности при сохранении вязкой и достаточно прочной сердцевины изделия, применяется *поверхностная закалка*, то есть закалка не на полную глубину. Поверхностной закалке подвергают стали при содержании углерода более 0,3 %. Выбор оптимальной толщины упрочняемого слоя определяется условиями работы детали и составляет от 1,5 до 15 мм (и выше). Площадь сечения закаленного слоя не должна превышать 20 % площади всего сечения. В практике наиболее часто используют поверхностную закалку с индукционным нагревом током высокой частоты (ТВЧ).

Мартенситная структура стали после закалки метастабильна, и для ее превращения в более устойчивую структуру производят *отпуск*.

**Отпуск стали** – термическая обработка, включающая в себя нагрев закаленной стали до температуры ниже критических точек, выдержку при этой температуре и охлаждение. В результате отпуска в зависимости от температуры нагрева неустойчивая структура мартенсита закалки вследствие диффузионного перераспределения углерода превращается в более устойчивые структуры – *мартенсит отпуска, троостит, сорбит и перлит*.

Мартенсит отпуска имеет измененную кристаллическую решетку и его образование сопровождается объемными изменениями, выделением теплоты и частичным снятием внутренних напряжений. При более высокой температуре нагрева образуются троостит, сорбит и перлит отпуска, которые в отличие от структур, получаемых из аустенита при непрерывном охлаждении, имеют зернистую, а не пластинчатую микроструктуру. Стали с зернистой микроструктурой отпуска характеризуются более высокой пластичностью и лучшей обрабатываемостью резанием.

В зависимости от температуры отпуска различают низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий) виды отпуска. Закалка на мартенсит с последующим высоким отпуском называется **улучшением сталей**. Улучшение обеспечивает хороший комплекс свойств (прочность, ударная вязкость, твердость) и применяется для ответственных изделий из среднеуглеродистых сталей (коленчатые валы, шатуны и другие детали). К основным дефектам, которые могут возникнуть при закалке сталей, относят *трещины* и *деформацию*. Трещины – неисправимый дефект, предупредить который можно конструктивным решением (избегать в изделии конструктивных элементов, которые могут стать концентраторами напряжений) и тщательным соблюдением режимов термообработки. Деформация, то есть изменение размеров и формы изделий, всегда сопровождает процессы термической обработки, особенно закалки. Несимметричную деформацию изделий в

практике часто называют **короблением**. Деформацию можно уменьшить подбором соответствующего состава стали и условий термической обработки, а избежать коробления – обеспечив равномерность нагрева под закалку и правильное положение детали при погружении в закалочную среду.

Легированная сталь имеет меньшую теплопроводность, чем углеродистая, поэтому требует замедленного нагрева и охлаждения во избежание коробления и трещин.

**Термомеханическая обработка (ТМО) стали** – совокупность операций термической обработки с пластической деформацией, которая проводится либо выше критических точек (ВТМО), либо при температуре переохлажденного (500...700 °С) аустенита (НТМО). Такой вид обработки позволяет получить сталь высокой прочности (до 270 МПа). Формирование структуры сталей при ТМО происходит в условиях повышенной плотности и оптимального распределения дислокаций. Окончательными операциями ТМО для избежания развития рекристаллизации являются немедленная закалка и низкотемпературный (100...300 °С) отпуск.

Термомеханическая обработка с последующими закалкой и отпуском позволяют получить очень высокую прочность ( $\sigma_b = 2200...3000$  МПа) при хорошей пластичности ( $\delta = 6...8$  %,  $\psi = 50...60$  %) и вязкости. В практических целях большее распространение получила ВТМО, обеспечивающая наряду с высокой прочностью хорошее сопротивление усталости, высокую работу распространения трещин, а также сниженные критическую температуру хрупкости, чувствительность к концентраторам напряжений и необратимую отпускную хрупкость.

ВТМО осуществляется в цехах прокатного производства на металлургических заводах, например, при упрочнении прутков для штанг, рессорных полос, труб и пружин.

**Химико-термическая обработка (ХТО) стали** – совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (С, N, Al, Si, Cr и др.) при высоких температурах.

Поверхностное насыщение элементами (Cr, Al, Si и др.), образующими с железом твердые растворы замещения, более энергоемко и продолжительнее, чем насыщение азотом и углеродом, образующими с железом твердые растворы внедрения. При этом диффузия элементов легче протекает в кристаллической решетке феррита, чем в более плотноупакованной решетке аустенита.

Химико-термическая обработка повышает твердость, износостойкость, кавитационную и коррозионную стойкости и, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивает их надежность и долговечность.

**Цементация стали** – химико-термическая обработка поверхностным насыщением малоуглеродистой ( $C < 0,2$  %) или легированных сталей при температурах 900...950 °С – твердым (цементация твердым карбюризатором), а при 870...900 °С – газообразным (газовая цементация) углеродом с последующей закалкой и отпуском. Цель цементации и последующей термической обработки – повышение твердости, износостойкости и пределов контактной выносливости

поверхности изделия при вязкой сердцевине, что обеспечивает выносливость изделия в целом при изгибе и кручении.

**Азотирование стали** – химико-термическая обработка поверхностным насыщением стали азотом путем длительной выдержки ее при нагреве до 600...650 °С в атмосфере аммиака  $\text{NH}_3$ . Азотированные стали обладают очень высокой твердостью (азот образует различные соединения с Fe, Al, Cr и другими элементами, обладающие большей твердостью, чем карбиды) и повышенной сопротивляемостью коррозии в таких средах, как атмосфера, вода, пар и др.

Азотированные стали сохраняют высокую твердость, в отличие от цементованных, до сравнительно высоких температур (500...520 °С). Азотированные изделия не коробятся при охлаждении, так как температура азотирования ниже, чем цементации. Азотирование сталей широко применяют в машиностроении для повышения твердости, износостойкости, предела выносливости и коррозионной стойкости ответственных деталей, например, зубчатых колес, валов, гильз цилиндров и др.

**Нитроцементация (цианирование) стали** – химико-термическая обработка с одновременным поверхностным насыщением изделий азотом и углеродом при повышенных температурах с последующими закалкой и отпуском для повышения износо- и коррозионной устойчивости, а также усталостной прочности. Нитроцементация может проводиться в газовой среде при температуре 840...860 °С – нитроцианирование, и в жидкой при температуре 820...950 °С – жидкостное цианирование в расплавленных солях, содержащих группу  $\text{NaCN}$ .

Нитроцементация эффективна для инструментальных (в частности, быстрорежущих) сталей; она используется для деталей сложной конфигурации, склонных к короблению. Однако в настоящее время применяется только нитроцианирование, поскольку процесс жидкостного цианирования связан с использованием токсичных цианистых солей.

**Борирование стали** – химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий бором при температурах 900...950 °С. Цель борирования – повышение твердости, износостойкости и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05...0,15 мм, состоящий из боридов  $\text{FeB}$  и  $\text{Fe}_2\text{B}$ , обладает весьма высокой твердостью, стойкостью к абразивному изнашиванию и коррозионной стойкостью. Борирование особенно эффективно для повышения стойкости (в 2...10 раз) бурового и штампового инструментов.

**Цинкование (Zn), алитирование (Al), хромирование (Cr), силицирование (Si)** сталей выполняются аналогично цементации с целью придания изделиям из стали некоторых ценных свойств: жаростойкости, износостойкости, коррозионной устойчивости. В настоящее время все большее распространение получают процессы многокомпонентного диффузионного насыщения.

#### **2.1.1.4. Влияние легирующих элементов на свойства стали и сплавов**

Легирующей называется сталь, в которой, кроме обычных примесей, содержатся специально вводимые в определенных сочетаниях легирующие элементы (Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti и др.), а также Mn и Si в количествах, пре-

вышающих их обычное содержание как технологических примесей (1 % и выше). Как правило, лучшие свойства обеспечивает комплексное легирование.

Легирование сталей и сплавов используют для улучшения их технологических свойств. Легированием можно повысить предел текучести, ударную вязкость, относительное сужение и прокаливаемость, а также существенно снизить скорость закалки, порог хладноломкости, деформируемость изделий и возможность образования трещин. В изделиях крупных сечений (диаметром более 15...20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем механические свойства углеродистых.

Легирующие элементы по механизму их воздействия на свойства сталей и сплавов можно разделить на три группы:

- влияние на полиморфные ( $\alpha$ -Fe  $\rightarrow$   $\gamma$ -Fe) превращения;
- образование с углеродом карбидов (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; (Cr, Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub>; Mo<sub>2</sub>C и др.;
- образование интерметаллидов (интерметаллических соединений) с железом – Fe<sub>7</sub>Mo<sub>6</sub>, Fe<sub>3</sub>Nb и др.

По характеру влияние на полиморфные превращения легирующие элементы можно разделить на две группы:

- элементы (Cr, W, Mo, V, Si, Al и др.), достаточное содержание которых обеспечивает существование в сталях при всех температурах легированного феррита (*ферритные сплавы*);
- элементы (Ni, Mn и др.), стабилизирующие при достаточной концентрации легированный аустенит при всех температурах (*аустенитные сплавы*).

Сплавы, только частично претерпевающие превращение  $\gamma \rightarrow \alpha$ , называются соответственно *полуаустенитными* или *полуферритными*.

Применимость для легирования различных элементов определяется не столько физическими, сколько в основном экономическими соображениями.

В табл. 2.1 показано влияние наиболее широко применяемых легирующих элементов на свойства стали.

Таблица 2.1

### Влияние легирующих элементов на свойства стали

Легирующий элемент	Упрочняет раствор	Увеличивает ударную вязкость	Расширяет область аустенита	Сужает область аустенита	Увеличивает прокаливаемость	Способствует раскислению	Образует устойчивые карбиды	Повышает сопротивление коррозии
Ni	+	+	+	–	+	–	–	+
Cr	+	–	–	+	–	–	+	+
Mn (> 1 %)	+	+	+	–	+	+	+	+
Si (>0,8 %)	+	+	–	+	–	+	–	–
W	–	–	–	–	–	–	+	–
Cu (0,3-0,5%)	+	–	–	–	–	–	–	+

### 2.1.1.5. Общая классификация сталей

Классификация сталей и сплавов производится *по химическому составу, по качеству* (по способу производства и содержанию вредных примесей), а также *по назначению*.

**По химическому составу** стали классифицируют на *углеродистые* и *легированные*.

Углеродистые стали в зависимости от содержания углерода делят на следующие группы:

- малоуглеродистые* – менее 0,25 % С;
- среднеуглеродистые* – 0,25...0,6 % С;
- высокоуглеродистые* – более 0,6 % С.

Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на *хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, марганцевые* и многие *другие*. Их классификация по химическому составу определяется суммарным процентом содержания легирующих элементов:

- низколегированные* – менее 2,5 %;
- среднелегированные* – 2,5...10 %;
- высоколегированные* – более 10%.

Легированные стали и сплавы делятся также на классы по структурному составу:

*в отожженном состоянии* – доэвтектоидный, заэвтектоидный, ледебуритный (карбидный), ферритный, аустенитный;

*в нормализованном состоянии* – перлитный, мартенситный и аустенитный классы.

К перлитному классу относят углеродистые и легированные стали с низким содержанием легирующих элементов, к мартенситному классу – с их более высоким содержанием, а к аустенитному – с высоким содержанием легирующих элементов.

**По качеству**, то есть по условиям производства (способу производства и содержанию вредных примесей), стали и сплавы делятся на следующие группы:

	сера, %	фосфор, %
<i>обыкновенного качества (рядовые)</i>	менее 0,050	менее 0,040;
<i>качественные</i>	менее 0,040	менее 0,035;
<i>высококачественные</i>	менее 0,025	менее 0,025;
<i>особо высококачественные</i>	менее 0,015	менее 0,025.

Стали обыкновенного качества по химическому составу – углеродистые, содержащие до 0,6 % С. Эти стали выплавляются в конвертерах с применением кислорода или в больших мартеновских печах.

Стали обыкновенного качества, являясь наиболее дешевыми, уступают по механическим свойствам сталям других классов, так как отличаются повышенной ликвацией (химической и структурной неоднородностью) и количеством неметаллических включений.

Стали качественные по химическому составу бывают *углеродистые* или

*легированные*. Они также выплавляются в конвертерах или в основных мартеновских печах, но с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавки и разливки.

Стали обыкновенного качества и качественные по степени раскисления и характеру затвердевания металла в изложнице делят на *спокойные* (сп), *полуспокойные* (пс) и *кипящие* (кп). Каждый из этих сортов отличается содержанием кислорода, азота и водорода. Так, в кипящих сталях содержится наибольшее количество этих элементов.

Стали высококачественные выплавляются преимущественно в электропечах, а особо высококачественные – в электропечах с электрошлаковым переплавом (ЭШП) или другими совершенными методами, что гарантирует повышенную чистоту по неметаллическим включениям и содержанию газов, а следовательно, улучшение механических свойств.

**По назначению стали** и сплавы классифицируются на конструкционные, инструментальные стали и стали с особыми физическими и химическими свойствами.

#### **2.1.1.6. Маркировка сталей по химическому составу**

Маркировка сталей по химическому составу является наиболее общей. Эта маркировка учитывает также область применения, условия производства и качество сталей. Однако в марках некоторых сталей более узкого применения (например, автоматных, шарикоподшипниковых, быстрорежущих и др.) от правил такой маркировки существуют отклонения, которые будут рассмотрены в соответствующих разделах.

Новые стали и сплавы, еще не включенные в государственные стандарты и поставляемые по техническим условиям, обозначаются буквами, указывающими на завод-изготовитель (например, ЭП или ЭИ – завод «Электросталь»), и номером, присвоенным этим заводом.

**Углеродистые стали.** На долю углеродистых сталей приходится 80 % от общего объема производства сталей и сплавов. Это объясняется тем, что эти стали дешевы и сочетают удовлетворительные механические свойства с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением. Однако они менее технологичны при термической обработке.

По назначению углеродистые стали делят на *конструкционные* и *инструментальные*. Углеродистые конструкционные стали, в свою очередь, делят на *углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества* и *углеродистые конструкционные качественные стали*.

#### **Стали углеродистые конструкционные**

##### **а) обыкновенного качества**

Углеродистая конструкционная сталь обыкновенного качества содержит 0,06...0,49 % С, 0,25...1,20 % Мn, 0,05...0,30 % Si. Массовые доли Cr, Ni и Cu должны быть не более 0,30 % каждого, азота – не более 0,010 %, серы – не более 0,050 %, фосфора – не более 0,040 %.

Буквы Ст в марке означают «сталь обыкновенного качества», цифры – условный номер марки в зависимости от нормируемых показателей (величин ме-

ханических свойств). Чем больше условный номер стали, тем больше в ней содержится углерода и перлита и тем выше ее прочность и ниже пластичность.

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества изготавливают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Стандартом предусмотрена также сталь с повышенным (0,8...1,2%) содержанием марганца: Ст3Гпс, Ст3Гсп и Ст5Гпс. Наиболее распространенная сталь Ст3Гпс имеет  $\sigma_B = 380...490$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 210...250$  МПа и  $\delta = 25...22$  %, а Ст5сп –  $\sigma_B = 500...600$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 240...280$  МПа и  $\delta = 20...17$  %. Чем больше толщина изделия проката, тем ниже значения приведенных характеристик. Дополнительными индексами в конце марки указываются степень раскисления и характер затвердевания стали (например, Ст3кп, Ст5пс, Ст6сп).

С целью гармонизации принятого отечественного обозначения марок с международным в ГОСТ 380–94 приведено их сопоставление (табл. 2.2)

Таблица 2.2

**Сопоставление марок стали типа Ст и Fe по международным стандартам ИСО 630-80 и ИСО 1052-82**

Марки стали			
Ст	Fe	Ст	Fe
Ст0	Fe310-0	Ст4кп	Fe430-A
Ст1кп		Ст4пс	Fe430-B
Ст1пс		Ст4сп	Fe430-C
Ст1сп	–	–	Fe430-D
Ст2кп		Ст5пс	Fe510-B, Fe490
Ст2пс		Ст5Гпс	Fe510-B, Fe490
Ст2сп		Ст5сп	Fe510-C, Fe490
Ст3кп	Fe360-A		
Ст3пс	Fe360-B	Ст6пс	Fe590
Ст3Гпс	Fe360-B	Ст6сп	Fe590
Ст3сп	Fe360-C		Fe690
Ст3Гсп	Fe360-C, Fe360-D	–	

Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества предназначены для изготовления:

- горячекатаного проката,
- холоднокатаного тонколистового проката;
- слитков, блюмов, слябов;
- труб;
- поковок и штамповок;
- метизов и др.

Прокатное производство – получение из металлов и сплавов путем прокатки различных изделий и полуфабрикатов, а также их дополнительная обработка с целью повышения качества. В промышленных странах прокатке подвергается более 80% выплавляемой стали.

Основные виды изделий прокатного производства: сортовой и листовой прокат, металлический профиль и жечь.

**Прокат** – продукция металлургического производства. Сортовой прокат используется для производства простых и фасонных профилей и катанки (заготовки для получения проволоки). Из листового проката производят листы, полосы, ленты, жечь, в том числе биметаллические и с покрытиями).

**Металлический профиль** – изделие, полученное прокаткой, прессованием, формовкой (гибкой) между валками. Различают профили с постоянным по длине поперечным сечением, так называемые переменные профили (в том числе периодические) и специальные (бандажи, колеса, шестерни, шары и др.). Некоторые металлические профили – квадратный, круглый, полосовой, угловой, двутавровый, швеллерный, рельс, тавровый, шпунтовой профили.

**Жечь** – тонкая холоднокатаная отожженная листовая сталь толщиной 0,08...0,32 мм. Для предохранения от воздействия пищевых сред и атмосферной коррозии на поверхность жести наносят защитные покрытия – олово (белая жечь), хром, специальные лаки и др.

**Трубное производство** – получение полых изделий из металлов преимущественно кольцевого сечения и относительно большой длины. Трубы со швом изготавливают, главным образом, сваркой, бесшовные – прокаткой (реже прессованием, волочением, литьем).

**Метизное производство** – получение стандартизированных металлических изделий (метизов). Различают промышленные метизы (стальная проволока, канаты, гвозди, болты, железнодорожные костыли и т.п.) и метизы широкого назначения (ножи, пилы и т. д.).

Изделия из углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества широко применяются в строительстве для сварных, клепанных и болтовых конструкций, а также для выполнения кровельных работ. Среднеуглеродистые стали, обладающие большей прочностью, чем низкоуглеродистые, предназначены для рельсов, железнодорожных колес, а также валов, шкивов, шестерен и других деталей грузоподъемных машин.

Механические свойства углеродистой конструкционной стали обыкновенного качества могут быть значительно повышены, а порог хладноломкости понижен закалкой в воде после прокатного нагрева.

### **б) качественные**

Стали углеродистые конструкционные качественные содержат не более 0,035 % фосфора, не более 0,04 % серы, 0,05...0,85 % углерода. Эти стали отличаются высокими пластичностью и свариваемостью. Они могут использоваться без упрочняющей термической обработки или после нее.

Качественные углеродистые стали маркируют цифрами 08, 10, 15, 20, ..., 85. Двузначные числа в марке показывают содержание углерода в сотых долях процента. Дополнительными индексами могут быть указаны степень раскисления и характер затвердевания стали в изложнице (например, сталь 08кп).

Низкоуглеродистые (менее 0,25 % С) качественные конструкционные стали обладают невысокой прочностью ( $\sigma_b = 330...460$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 200...280$  МПа) и высокой пластичностью ( $\delta = 33...23$  %). Стали 05кп, 08кп, 08, 10 идут на изготовление деталей сложной конфигурации методом холодной штамповки. Из



сталей 15кп, 15, 20 изготавливают болты, гайки, винты, пальцы, валки, оси, крюки, шпильки и другие детали неответственного назначения. Если детали из этих сталей эксплуатируются в условиях изнашивания поверхности, то их подвергают поверхностному упрочнению цементацией или нитроцементацией.

Среднеуглеродистые (0,3...0,5 % С) стали 30, 35, ..., 55 используются после нормализации, улучшения и поверхностной закалки. После улучшения стали 40, 45, 50 имеют следующие механические свойства:  $\sigma_B = 600...700$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 400...600$  МПа,  $\psi = 50...40\%$  и  $KCU = 0,4...0,5$  МДж/м<sup>2</sup>. Прокаливаемость этих сталей невелика. Стали 30, 35, 40, 45 используются для изготовления деталей, от которых требуется сочетание высокой прочности с вязкостью сердцевин (оси, валики, винты, шайбы, втулки, коленчатые валы и др.).

Стали 60, 65, ..., 85 с высоким содержанием (0,6...0,85 %) углерода обладают повышенными прочностью, износостойкостью и упругими свойствами. Их применяют после закалки и отпуска, нормализации отпуска и поверхностной закалки. Из сталей 65, 70, 75, 80, 85 изготавливают детали, работающие в условиях трения и вибрационных нагрузок: прокатные валки (сталь 60), крановые колеса (сталь 75), диски сцепления и впускные клапаны компрессоров (сталь 85), а также пружины и рессоры.

**Углеродистые инструментальные стали.** В углеродистых инструментальных сталях буква У в обозначении марки означает «углеродистая сталь», а цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента.

Углеродистые инструментальные стали могут выпускаться качественными (содержание серы не превышает 0,03 %, фосфора – 0,035 %) и высококачественными (с содержанием серы не более 0,02 % и фосфора – 0,03 %). В конце марки высококачественных углеродистых инструментальных сталей ставится буква А.

Стали У7 (доэвтектоидная ферритно-перлитная) и У8, У8А (эвтектоидные) наиболее пластичные из углеродистых инструментальных сталей. Они идут на производство молотков, стамесок, долот, зубил.

Из сталей У10, У11, УНА изготавливают резцы, сверла, метчики, фрезы, плитки и прочий мерительный и режущий инструмент для резания мягких материалов.

Стали У12, У13, У13А используются для изготовления инструмента, работающего без ударных нагрузок (напильники, рашпили, бритвы).

#### Легированные стали

При маркировке легированной стали используют буквенные обозначения легирующих элементов (табл. 2.3) в сочетании с цифрами.

В марке содержание легирующего элемента, если оно превышает 1...1,5 %, указывается цифрой (массовая доля в целых процентах), стоящей после соответствующей буквы. Если за буквой отсутствует цифра, то содержание данного элемента составляет около 1 %. Исключение сделано для некоторых элементов (Ti, Ca, Nb, Zr, В, N, РЗМ и др.), присутствие которых в сталях даже в тысячных долях процента оказывает существенное влияние на свойства сталей (*микролегирование*).

Если в начале марки нет цифры, то количество углерода составляет 1 % и

выше. У конструкционных сталей две цифры впереди марки указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. У инструментальных сталей одна цифра в начале марки означает среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Таблица 2.3

**Условные обозначения легирующих элементов в металлах и сплавах**

Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов		Элемент	Символ	Обозначение элементов в марках металлов и сплавов	
		черные	цветные			черные	цветные
Азот	N	А	–	Неодим	Nd	–	Нм
Алюминий	Al	Ю	А	Никель	Ni	Н	Н
Барий	Ba	–	Бр	Ниобий	Nb	Б	Нп
Бериллий	Be	Л	–	Олово	Sn	–	О
Бор	B	Р	–	Осмий	Os	–	Ос
Ванадий	V	Ф	Вам	Палладий	Pd	–	Пд
Висмут	Bi	Ви	Ви	Платина	Pt	–	Пл
Вольфрам	W	В	–	Празеодим	Pr	–	Пр
Гадолиний	Gd	–	Гн	Рений	Re	–	Ре
Галлий	Ga	Ги	Ги	Родий	Rh	–	Рг
Гафний	Hf	–	Гф	Ртуть	Hg	–	Р
Германий	Ge	–	Г	Рутений	Ru	–	Ру
Гольмий	Ho	–	ГОМ	Самарий	Sm	–	Сам
Диспрозий	Dy	–	ДИМ	Свинец	Pb	–	С
Европий	Eu	–	Ев	Селен	Se	К	СТ
Железо	Fe	–	Ж	Серебро	Ag	–	Ср
Золото	Au	–	Зл	Скандий	Sc	–	Скм
Индий	In	–	Ин	Сурьма	Sb	–	Су
Иридий	Ir	–	И	Таллий	Tl	–	Тл
Иттербий	Yb	–	ИТН	Тантал	Ta	–	ТТ
Иттрий	Y	–	ИМ	Теллур	Te	–	Т
Кадмий	Cd	Кд	Кд	Тербий	Tb	–	Том
Кобальт	Co	К	К	Титан	Ti	Т	ТПД
Кремний	Si	С	Кр(К)	Тулий	Tm	–	ТУМ
Лантан	La	–	Ла	Углерод	C	У	–
Литий	Li	–	Лэ	Фосфор	P	П	Ф
Лютеций	Lu	–	Люн	Хром	Cr	Х	Х(Хр)
Магний	Mg	Ш	Мг	Церий	Ce	–	Се
Марганец	Mn	Г	Мц(Мр)	Цинк	Zn	–	Ц
Медь	Cu	Д	М	Цирконий	Zr	Ц	ЦЭВ
Молибден	Mo	М	–	Эрбий	Er	–	Эрм

Основная масса легированных сталей выплавляется сталями качественными. Отличие в обозначении качественных, высококачественных и особо высококачественных сталей заключается в том, что в конце марки высококачественных сталей приписывается буква А, а особо высококачественных – буквы Ш и ВД. У сталей, применяемых в виде литья (в отливке), в конце марки приписыв-

вается буква Л.

Для обозначения высококачественных сталей от этих правил существуют отклонения. Так, в марках инструментальных легированных сталей, а также сталей и сплавов с особыми физическими свойствами буква А не указывается, так как все они всегда высококачественные (или особо высококачественные).

Некоторые группы сталей специального назначения содержат дополнительные обозначения: марки шарикоподшипниковых сталей начинаются с буквы Ш, быстрорежущих – с буквы Р, магнитно-твердых – с буквы Е, автоматных – с буквы А. Более подробно о маркировке таких сталей будет сообщено в соответствующих разделах.

### **2.1.1.7. Конструкционные стали и сплавы**

Общими потребительскими требованиями к конструкционным сталям являются наличие у них определенного комплекса механических свойств, обеспечивающего длительную и надежную работу материала в условиях эксплуатации, и хороших технологических свойств (обрабатываемости давлением, резанием, закаливаемости, свариваемости и др.).

Необходимые технологические и потребительские свойства конструкционных сталей и сплавов в основном обеспечиваются рациональным выбором химического состава, улучшением металлургического качества, соответствующей термической обработкой и поверхностным упрочнением.

Конструкционные стали и сплавы классифицируются по назначению на *строительные (арматурные)* и *машиностроительные*, которые, в свою очередь, подразделяются на группы общего и специального назначения.

Конструкционные стали и сплавы с некоторой условностью различают также по прочности: *стали нормальной прочности* ( $\sigma_b \ll 1000$  МПа); *стали повышенной прочности* ( $\sigma_b < 1500$  МПа) и *высокопрочные стали* ( $\sigma_b > 1500$  МПа).

**Конструкционные строительные стали и сплавы.** Свойства конструкционных строительных сталей и сплавов определяются в основном механическими (предел прочности, относительное удлинение, твердость, ударная вязкость) и технологическими (жидкотекучесть, свариваемость, ковкость и др.) характеристиками.

Для конструкционных строительных сталей и сплавов используются углеродистые (0,10...0,20 % С) и низколегированные (Si, Mn, Cr и др.) стали. Эти стали, как правило, обыкновенного качества и поставляются по механическим свойствам.

Целью легирования этих сталей является повышение закаливаемости и вследствие этого – обеспечение более высоких механических свойств (главным образом, предела текучести) в процессе охлаждения при прокатке. Применение низколегированных сталей взамен углеродистых позволяет сэкономить 15...30 % металла. Для того, чтобы упрочнение не сопровождалось излишним снижением вязкости, пластичности и свариваемости, содержание углерода и легирующих элементов в строительных сталях ограничивается. Достоинством низколегированных малоуглеродистых сталей является также их хорошая свариваемость.

Конструкционные углеродистые стали подразделяют на несколько классов по прочности. Маркируют их буквой «С» и числом, выражающим значение предела текучести в мегапаскалях: С2135, С285, ... , С590. В конце марки могут стоять буквы К, Т или Д, обозначающие:

К – отличие в химическом составе от стали такого же класса прочности;

Т – упрочнение термообработкой;

Д – введение в сталь 0,15...0,30 % Си для повышения сопротивления атмосферной коррозии.

Конструкционные низколегированные стали разделяют на *стали повышенной прочности* ( $\sigma_T < 285$  МПа) и *высокопрочные стали* ( $\sigma_T > 440$  МПа).

Конструкционные строительные стали в виде листов, сортового фасонного проката применяют в строительстве и машиностроении для сварных конструкций, в основном без дополнительной термической обработки. Так, стали 14Г2, 18Г2, 16ГС, 10Г2С1, 14ХГС и 15ХСНД используются для изготовления металлических конструкций, а стали 18Г2С, 25Г2С и 35ГС – для армирования железобетонных конструкций. Конструкционные строительные стали поставляют в виде прутков, профилей, листов и широких полос. Кроме того, выпускают изделия из этой стали – заклепки, болты, гайки, шайбы, винты, гвозди, поковки, а также стальные канаты.

#### ***Конструкционные машиностроительные стали и сплавы общего назначения***

Основным потребительским требованием к конструкционным машиностроительным сталям и сплавам общего назначения является наличие определенного комплекса механических свойств с их заданным распределением по сечению изделия. Комплекс механических свойств, если не предъявляются какие-либо специальные требования, включает характеристики прочности, пластичности, удельной работы деформации и разрушения (ударной вязкости).

По химическому составу эти стали представляют собой стали:

– мало- и среднеуглеродистые – 0,05...0,65 % С;

– низко- и среднелегированные – Mn, Si, Cr, Ni и др.

Большинство конструкционных легированных сталей относится к перлитному классу, а в равновесном состоянии – к классу доэвтектоидных. Легирующие элементы определяют преимущественно закаливаемость и прокаливаемость и, в меньшей степени, механические свойства (кроме никеля и молибдена, улучшающих вязкость). Наиболее широко применяют марки 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 25Х2ГНТРА, 30Х2ГСН2ВМ и 40ХН2СМА.

Конструкционные машиностроительные стали и сплавы общего назначения классифицируются по способу упрочнения как стали: без термической обработки, упрочняемые в поверхностном слое и упрочняемые по всему объему.

Рекомендуемыми режимами термической обработки конструкционных углеродистых качественных сталей в зависимости от условий эксплуатации изделий являются нормализация, закалка с отпуском, поверхностная закалка с отпуском.

Стали (08кп, 10кп, 15кп, 08, Ст3), используемые без термической обработки, поставляют, главным образом, в листах. Они должны иметь пониженное

содержание углерода и кремния, что обеспечивает их хорошую деформируемость (штампуемость, вытяжку, выдавливание и др.) в холодном состоянии. Штампуемость листовой стали ухудшается при наличии в ней крупного и неоднородного по размерам зерна, третичного цементита и других структурных неоднородностей.

При требовании высокой прочности поверхностного слоя используют нитроцементуемые, цементуемые, азотируемые, а также закаливаемые и с пониженной прокаливаемостью (упрочняемые в поверхностном слое) стали. Так, в качестве цементуемой углеродистой стали используются качественные и высококачественные стали марок 15, 20. После цементации, закалки в воде и низкого отпуска поверхность стали имеет высокую твердость (HRC 58...62), обеспечиваемую мартенситной структурой, а сердцевина не упрочняется, так как в ней сохраняется ферритно-перлитная микроструктура.

Легированные цементуемые стали (15X, 15XA, 15XФ, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХГНР, 18ХГТ и др.) применяют для деталей, более сильно напряженных, а также более крупных размеров и сложной формы – валы, оси, шестерни и др. Легирование в этом случае обеспечивает лучшую прокаливаемость при более прочной сердцевине. В сердцевине образуются структуры бейнита или низкоуглеродистого мартенсита (HRC 30...45).

Для получения высоких прочностных свойств по всему объему изделия применяют улучшение, то есть закалку в масле, и высокий (550...650 °С) отпуск. При такой обработке улучшаемая сталь имеет структуру зернистого сорбита, обеспечивающую наилучшее сочетание прочности и вязкости. К улучшаемым относятся стали, содержащие  $\approx 0,35$  % С (углеродистые и малолегированные) и 0,2...0,3% С (средне- и высоколегированные).

Способность упрочняться на ту или иную глубину при одинаковом содержании углерода определяется влиянием легирующих элементов, но при небольших сечениях изделий это влияние менее заметно, а в деталях крупного размера у углеродистых и менее легированных сталей механические свойства значительно ниже. Поэтому выбор марки стали зависит как от уровня требуемых свойств, так и от толщины изделия: диаметр до 12...15 мм – стали 35, 40, 45, 50; диаметр до 50...75 мм – 40ХН, 25ХГСА, 30ХГС; диаметр 75...120 мм – 30ХН3А, 40ХН2МА. Из сталей, упрочняемых по всему сечению, изготавливают оси, валы, шестерни, кривошипы, шпильки ответственного назначения, тонкостенные трубы и др.

### ***Конструкционные машиностроительные стали и сплавы специального назначения***

Специальное назначение конструкционных сталей и сплавов определяется требованием к конкретному комплексу механических, физических, физико-химических и технологических свойств, необходимому для эксплуатации изделий в строго определенных условиях, например, при очень высоких напряжениях, низких или повышенных температурах, динамических или гидроабразивных нагрузках, для специального назначения в приборах и аппаратах электро- и радиотехнической промышленности.

В зависимости от химического состава сплавы этой группы подразделяют на классы по основному составляющему элементу:

- сплавы на железоникелевой основе;
- сплавы на никелевой основе.

Классификация машиностроительных сталей и сплавов по основному потребительскому свойству имеет следующие группы: *особо высокой прочности и вязкости, коррозионностойкие, износостойкие, пружинные, автоматные, шарикоподшипниковые и литейные.*

**Стали особо высокой прочности и вязкости (мартенситно-старяющие)** по химическому составу являются безуглеродистыми (менее 0,03% С) и высоколегированными (Ni, Co, Mo, Cr, Ti, Вe и др.). Эти стали характеризуются следующими потребительскими свойствами:

$$\sigma_{\text{в}} = 1800 \dots 3000 \text{ МПа}; \delta > 10\%; \psi > 40\%; \text{КСУ} = 0,3 \dots 2,5 \text{ кДж/м}^2.$$

Технологические свойства мартенситно-старяющих сталей повышенные: хорошие свариваемость, обрабатываемость резанием и пластичность в закаленном состоянии; незначительная деформация деталей при отпуске, выполняемом после резания и создающем необходимые высокие механические свойства. Мартенситно-старяющим сталям можно придать стойкость против коррозии и теплостойкость. Так, при дополнительном легировании хромом ( $\approx 12\%$ ) эти стали становятся стойкими против коррозии даже в сильно агрессивных средах (морской воде, кислотах и др.).

Мартенситно-старяющие стали – особо высококачественные и из-за высокой стоимости применяются для изготовления деталей наиболее ответственного назначения: Н18К9М5 – шестерен, валов, корпусов ракет; Н10Х12Д2Т – деталей химической аппаратуры, пружин; Н4Х12К15М4Т – штампов горячего деформирования, деталей теплоэнергетических установок и др.

**Коррозионностойкие стали и сплавы** в том числе высоколегированные, обладают достаточной стойкостью против коррозии только в ограниченном числе сред. Они обязательно имеют в своем составе более 12,5 % Cr, роль которого состоит в образовании на поверхности изделия защитной (пассивной) оксидной пленки, прерывающей контакт с агрессивной средой. При этом лучшей стойкостью против коррозии обладают те стали и сплавы, в которых все содержание хрома приходится на долю твердого раствора. Содержание углерода должно быть небольшим, чтобы уменьшить переход хрома в карбиды, так как это может снизить концентрацию хрома в защитной пленке. Для предотвращения выделений карбидов хрома используют также быстрое охлаждение из области  $\gamma$ -твердого раствора или легирование титаном, ванадием, ниобием или цирконием для связывания углерода в более устойчивые карбиды.

Физико-химические свойства коррозионностойких сталей меняются в довольно широком диапазоне в зависимости от структуры.

Структура для наиболее характерных сплавов этого назначения может быть:

- ферритно-карбидной и мартенситной (12Х13, 20Х13, 20Х17Н2, 30Х13, 40Х13, 95Х18 – для слабых агрессивных сред (воздух, вода, пар);
- ферритной (15Х28) – для растворов азотной и фосфорной кислот;

– аустенитной (12X18H10T) – в морской воде, органических и азотной кислотах, слабых щелочах;

– мартенситно-стареющей (10X17H13M3T, 09X15H8Ю) – в фосфорной, уксусной и молочных кислотах. Сплав 06XH28MT может эксплуатироваться в условиях горячих (до 60 °С) фосфорной и серной (концентрации до 20 %) кислот.

Коррозионная стойкость сталей может быть повышена термической обработкой (закалкой и высоким отпуском) и созданием шлифованной поверхности.

Коррозионностойкие стали и сплавы классифицируют в зависимости от агрессивности среды, в которой они используются, и по их основному потребительскому свойству на собственно *коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные* и *криогенные*.

Изделия из собственно коррозионностойких сталей (лопатки турбин, клапаны гидравлических прессов, пружины, карбюраторные иглы, диски, валы, трубы и др.) работают при температуре эксплуатации до 550 °С.

Из жаростойких и жаропрочных машиностроительных сталей используются малоуглеродистые (0,1...0,45 % С) и высоколегированные (Si, Cr, Ni, Co и др.).

**Жаростойкие стали и сплавы** получают на базе системы Fe + Cr + Ni с небольшим количеством кремния. Основным потребительским свойством этих сталей является температура эксплуатации, которая должна быть более 550 °С. Жаростойкие стали устойчивы против газовой коррозии до 900...1200 °С в воздухе, печных газах, в том числе серосодержащих (15X5, 15X6CM, 40X9C2, 30X13H7C2, 12X17, 15X28), окислительных и науглераживающих (20X20H14C2) средах, но могут проявлять ползучесть при приложении больших нагрузок.

Жаростойкие стали характеризуют по температуре начала интенсивного окисления. Величина этой температуры определяется содержанием хрома в сплаве. Так, при 15 % Cr температура эксплуатации изделий составляет 950 °С, а при 25 % Cr – 1300 °С. Жаростойкость зависит от химического состава стали, а не от ее структуры, поэтому жаростойкость ферритных и аустенитных сталей при равном количестве хрома практически одинакова.

Жаростойкие стали и сплавы используются для производства труб, листов, деталей высокотемпературных установок, газовых турбин и поршневых двигателей, печных конвейеров, ящиков для цементации и др.

**Жаропрочные стали** должны обладать высоким сопротивлением химической коррозии, но вместе с тем обеспечивать надежную работу под нагрузкой (то есть иметь достаточно высокие пределы ползучести и длительной прочности) при температурах эксплуатации выше 400...450 °С. Температурный уровень жаропрочности сплавов, в первую очередь, определяется прочностью межатомной связи, которая может быть оценена рядом физических констант, в том числе температурой плавления. Однако при данной температуре плавления жаропрочность сильно зависит от температуры рекристаллизации. В связи с этим стали аустенитного класса имеют более высокую жаропрочность по сравнению со сталями перлитного класса.

При таких высоких температурах эксплуатации определяющую роль в разрушении играет не дислокационная структура, а диффузионные процессы, имеющие даже при небольших напряжениях направленный характер и способствующие развитию диффузионной ползучести. Так как диффузионные процессы легче всего протекают по границам зерен, имеющих повышенное количество дефектов строения, то кроме химического состава на жаропрочность существенное влияние оказывает структура металла. Обычно добиваются получения легированного твердого раствора с вкраплениями по границам зерен или внутри них дисперсных карбидных или интерметаллидных фаз. Более крупное зерно способствует повышению жаропрочности, хотя при этом снижается пластичность. Чрезвычайно важный фактор – стабильность структуры, так как перемещение атомов ведет к увеличению ползучести.

Жаропрочные стали и сплавы в своем составе обязательно содержат никель, который обеспечивает существенное увеличение предела длительной коррозионной прочности при незначительном увеличении предела текучести и временного сопротивления, и марганец. Они могут дополнительно легироваться молибденом, вольфрамом, ниобием, титаном, бором, йодом и др. Так, микролегирование бором, а также редкоземельными и некоторыми щелочноземельными металлами повышают такие характеристики, как число оборотов при кручении, пластичность и вязкость при высоких температурах. Механизм этого воздействия при микролегировании основан на рафинировании границ зерна и повышении межкристаллитной прочности. Химический состав и структура этих сталей весьма разнообразны.

Рабочие температуры современных жаропрочных сплавов составляют примерно  $0,45...0,8 t_{пл}$ . Эти стали классифицируют по температуре эксплуатации: при  $400...550\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 15ХМ, 12Х1МФ, 25Х2М1Ф, 20Х3МВФ; при  $500...600\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 15Х5М, 40Х10С2М, 20Х13; при  $600...650\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 12Х18Н9Т, 45Х14Н14В2М, 10Х11Н23Т3МР, ХН60Ю, ХН70Ю, ХН77ТЮР, ХН56ВМКЮ, ХН62МВМКЮ.

Жаропрочные стали и сплавы применяются для изготовления труб, клапанных, паро- и газотурбинных деталей (роторы, лопатки, диски и др.).

**Криогенные машиностроительные стали и сплавы** по химическому составу являются низкоуглеродистыми (0,10 % С) и высоколегированными (Cr, Ni, Mn и др.) сталями аустенитного класса (08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 03Х20Н16АГ6, 03Х13АП9 и др.). Основными потребительскими свойствами этих сталей являются пластичность и вязкость, которые с понижением температуры ( $20...-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) либо не меняются, либо мало уменьшаются, т.е. не происходит резкого уменьшения вязкости, характерного при хладноломкости. Например, для криогенных сталей (ОН6А, ОН9А) после соответствующей термической обработки (двойная нормализация и отпуск или закалка в воде и отпуск) характерно при понижении температуры повышение предела ползучести от 400 до 820 МПа. Криогенные машиностроительные стали классифицируют по температуре эксплуатации в диапазоне  $-296...-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  и используют для изготовления деталей криогенного оборудования.

**Износостойкие стали** по химическому составу могут быть высокоуглеродистыми (1,1...1,3 % С) или малоуглеродистыми и высоколегированными (Si,



Mn, Cr, Ni и др.). Основное потребительское свойство этих сталей – высокая стойкость деталей при кавитационной коррозии и механическом изнашивании при значительных ударных нагрузках. Эти стали (12X18H9T, 30X10Г10, 0X14АГ12, 0X14АГ12М, Г13) применяют чаще в литом или ковном (катаном) состоянии, так как их общее технологическое свойство – пониженная обрабатываемость резанием. Износостойкие стали используются для изготовления лопастей гидротурбин и гидронасосов, крестовин рельсов, щек дробилок, черпаков землеройных машин, траков и др.

**Пружинные стали и сплавы** среднеуглеродистые (0,60...0,80 % С), низколегированные (Mn, Si, Cr, Ni и др.) стали, обладающие высокими механическими свойствами, в первую очередь, высокими пределами упругости и прочности, а также повышенной релаксационной стойкостью при достаточной вязкости и пластичности. Для получения этих свойств стали должны содержать более 0,5 % С и быть способными к термической обработке – закалке и отпуску. Пружинные стали (стали 65Г, 70, 75; 50ХА, 55ХГР, 55С2, 60С2, 50ХФА, 60С2ХФА, 65С2ВА, 70С2ХА) в основном используются для изготовления пружин и ресор.

Кроме рассмотренных выше пружинных сталей общего назначения в машиностроении широко используются **пружинные стали специального назначения**, к которым помимо требования высоких механических свойств могут предъявляться дополнительные требования по физико-химическим свойствам: немагнитность, коррозионная стойкость, низкий или постоянный температурный коэффициент модуля упругости и др.

**Автоматные стали** содержат 0,08...0,45 % углерода и повышенное содержание серы (0,05...0,3 %), фосфора (0,05...0,16 %) и часто марганца (0,6...1,55 %). Обогащение границ зерен феррита растворенным в нем фосфором и образование хрупких включений (MnS и др.) на границах зерен сталей облегчают резание, способствуют дроблению и легкому отделению стружки, обеспечивая чистоту обрабатываемой поверхности. Срок службы режущего инструмента при обработке автоматных сталей увеличивается. Улучшение обрабатываемости стали достигается также микролегированием свинцом, селеном, кальцием. Однако введение этих элементов снижает прочностные характеристики сталей, поэтому их применяют для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств.

Автоматные стали получили свое наименование в связи с их обработкой на станках-автоматах с повышенной скоростью резания для изготовления деталей массового спроса (шайбы, болты, гайки, шпильки и некоторые другие детали автомобилестроения). В обозначении марки первая буква А указывает, что сталь автоматная; цифры в ней показывают содержание углерода в сотых долях процента (например, АН, А40Г). Присутствие свинца обозначает буква С (например, АС35Г2), кальция – буква Ц (АЦ45Х, АЦ40Г2 и др.), селена – буква Е (А35Е, А40ХЕ и др.).

Шарикоподшипниковые стали по химическому составу должны быть высокоуглеродистыми (0,95...1,05 % С), низколегированными (Cr, Si, Mn и др.). Жесткие требования предъявляются к чистоте по неметаллическим включениям, карбидной сетке, карбидной ликвации, рыхлости и пористости металла.

Микроструктура стали в рабочем состоянии – мелкоигольчатый (скрытокристаллический) мартенсит с равномерно распределенными округлыми включениями карбидов. Основные потребительские свойства этих сталей – повышенные твердость (61...65 HRC), износостойкость и сопротивление контактной усталости.

Шарикоподшипниковые хромистые стали обозначаются буквами ШХ в начале марки; содержание хрома в этих сталях указывается в десятых долях процента после буквенного обозначения (ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ и др.). В конце марки может быть указан вид металлургического переплава: Ш – электрошлаковый (ШХ15Ш); ВД – вакуумно-дуговой (ШХ15ВД).

**Литейные стали** содержат до 0,9 % Mn, до 0,52 % Si и не более 0,06 % S и 0,08 % P. При твердении отливок формируются крупные зерна аустенита, внутри которых при последующем охлаждении в сталях с содержанием углерода менее 0,4 % образуются направленные пластины избыточного феррита (*видманштеттова структура*). С увеличением содержания углерода доля феррита, образующего видманштеттову структуру, уменьшается, а доля феррита в виде равноосных зерен возрастает. Литая сталь с видманштеттовой структурой имеет низкие пластичность и ударную вязкость, и для повышения величин этих свойств отливки из сталей, содержащих менее 0,4% С, подвергают полному отжигу или нормализации.

Литейные свойства сталей значительно хуже, чем чугунов и большинства литейных цветных сплавов. Трудности при литье создают высокая температура плавления, низкая жидкотекучесть, большая линейная усадка (до 2,3 %) и склонность к образованию горячих литейных трещин.

Низкоуглеродистые литейные стали применяют для изготовления деталей, подвергающихся ударным нагрузкам; арматуры; деталей сварно-литых конструкций. Среднеуглеродистые литейные стали применяют для отливки станин и валков прокатных станков, крупных шестерен, зубчатых колес. Стальные отливки часто подвергают термической обработке для уменьшения литейных напряжений.

Литейные легированные стали по свойствам уступают углеродистым сталям из-за того, что при легировании расширяется интервал кристаллизации и уменьшается теплопроводность и, следовательно, возрастают термические напряжения. Литейные легированные стали подразделяют на конструкционные и высоколегированные со специальными свойствами.

Многие литейные стали имеют ту же марку, что и деформируемые, отличаясь лишь буквой Л в конце марки (15Л, 20Л, 25Л, 30Л, 35Л, 40Л, 45Л, 50Л и 35ХМЛ, 35ХГСЛ, 12Х18Н9ТЛ и др.). В этом случае химический состав литейной стали практически такой же, как деформируемой, и отличается лишь допустимым количеством вредных примесей (в литейной стали оно несколько больше). Однако немало легированных сталей разработано специально в качестве литейных и не имеют аналога среди деформируемых (например, сталь 20ФЛ, применяемая для отливки крупногабаритных деталей грузовых вагонов, и сталь 08ГДНФЛ – для изготовления ответственных крупных деталей в судостроении, работающих до – 60 °С).

### 2.1.1.8. Инструментальные стали и сплавы

Инструментальные стали и сплавы – литые твердые сплавы.

**Твердые сплавы** – материалы с высокой твердостью, прочностью, режущими и другими свойствами, сохраняющимися при нагреве до высоких температур. Различают литые и спеченные (порошковые) твердые сплавы.

Инструментальные стали предназначены для изготовления режущего и измерительного инструмента, штампов холодного и горячего деформирования, а также ряда деталей точных механизмов и приборов: пружин, подшипников качения, шестерен и др. Часто из таких сталей изготавливают только рабочую (режущую) часть инструмента, а крепежные части выполняют из конструкционных сталей.

Основными потребительскими требованиями к инструментальным сталям являются высокие твердость, износостойкость и прочность при хорошей (500...800 °С) теплостойкости. Кроме эксплуатационных свойств для инструментальных сталей большое значение имеют технологические свойства: прокаливаемость, малые объемные изменения при закалке, обрабатываемость давлением, резанием, шлифуемость.

Необходимые свойства инструментальным сталям придают карбидные фазы, так как именно их присутствие обуславливает высокие прочностные показатели и твердость (рис. 2.3).

Для обеспечения необходимых свойств применяют специальное легирование и термическую обработку. Так, обеспечение теплостойкости достигается легированием сталей вольфрамом, молибденом, ванадием, а легирование хромом и марганцем повышают их прокаливаемость.

Термическая обработка инструментальных сталей, как правило, включает закалку и низкий отпуск. В результате такой обработки получают твердость сталей 60...65 HRC и предел прочности при изгибе  $\sigma_{и} = 250...350$  МПа. Режимы термической обработки в зависимости от химического состава сталей и требований к их твердости и прочности установлены.

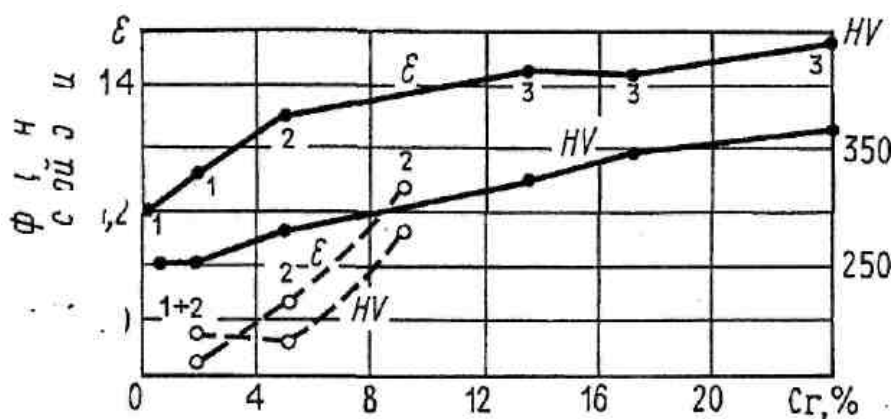


Рис. 2.3. Влияние содержания хрома и типа карбидов в хромистых сталях на твердость HV износостойкость ε при трении по абразиву.

Штриховые линии – сплавы, содержащие 0,4 % C;

сплошные линии – сплавы, содержащие 1 % C;

1 – Fe<sub>3</sub>C; 2 – Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; 3 – Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>

Инструментальные стали классифицируются по основному потребительскому свойству на *стали высокой твердости, стали повышенной вязкости и теплостойкие стали*. Стали высокой твердости и повышенной вязкости используются как нетеплостойкие.

Инструментальные стали высокой твердости по химическому составу могут быть *высокоуглеродистыми* (0,68...1,35 % С) и *низколегированными* (Mn, Si, Cr и др.). Структура этих сталей после термообработки – мартенсит и перлит. Температура эксплуатации для изделий из таких сталей до 190...225 °С; при этом их твердость – 60...68 HRC.

Инструментальные стали высокой твердости (У10...У13, У10А...У13А, 13Х, ХВСГ, 9ХФ, 7ХГ2ВМ и др.) классифицируют по прокаливаемости на стали небольшой, повышенной и высокой прокаливаемости. Величина прокаливаемости определяет размер изделия. Так, инструментальные стали небольшой прокаливаемости используют для изготовления тонкого инструмента диаметром менее 12...15 мм, а стали высокой прокаливаемости – для массивного инструмента и инструмента сложной формы.

Стали повышенной вязкости по химическому составу – среднеуглеродистые (0,60...0,74 % С), среднелегированные (Mn, Si, Cr и др.). Для изделий из этих сталей температура эксплуатации, как правило, менее 200 °С, а их твердость – 62 HRC. Стали повышенной вязкости (У7, У7А, 7ХФ, 6ХС) используются для изготовления инструментов для обработки древесины (пилы, ножи и др.).

Инструментальные теплостойкие стали по температуре эксплуатации в свою очередь делят на стали *собственно теплостойкие* (500...800 °С) и *полутеплостойкие* (до 500 °С). По химическому составу эти стали являются углеродистыми (0,22...1,65 % С), высоколегированными (Mn, Si, Cr, W, Mo и др.).

Теплостойкие стали высокой твердости объединяют в группу так называемых *быстрорежущих сталей*, маркируемых буквой Р (режущие). После буквы Р в марке следует цифра, указывающая среднее содержание в процентах вольфрама – главного легирующего элемента этих сталей (буква В – его условное обозначение – пропускается); затем указываются принятыми в обозначении, как и в остальных сталях, буквами другие легирующие элементы с цифрами, указывающими их содержание в процентах, если это содержание больше 1...2 %. В состав всех быстрорежущих сталей непременно входят углерод (0,8...1,25 %), хром (около 4 %) и ванадий (1...2 %), содержание которых в марке не указывается.

Фазовый состав быстрорежущих сталей в отожженном состоянии представлен легированным ферритом и карбидами МбС, МгзСб, МС, МзС. Основным карбидом является МбС. Количество карбидной фазы в стали Р18 достигает 25...30 %, а в стали Р6М5 – 22 %.

Обработка быстрорежущих сталей включает горячую ковку литых заготовок, отжиг, закалку и многократный (чаще трехкратный) отпуск. Структура после закалки: мартенсит + карбиды + остаточный аустенит. Отпуск вызывает превращение остаточного аустенита в мартенсит и дисперсионное твердение. Это сопровождается увеличением до HRC 64 твердости (вторичная твердость)

за счет выделения частиц цементита. Для улучшения режущих свойств и повышения износостойкости некоторые виды инструментов подвергают низкотемпературному (540...570 °С) цианированию, в результате которого на поверхности стали образуется тонкий слой высокой твердости (1000...1100 НV).

Полутеплостойкие (X12M, 5XHM) и теплостойкие (P12, P6M5, P18; P12Ф3, P13Ф4K5, P9M4K8; B11M7K23, 4X5MФC, 4X5B2ФC, 4X4BMФC, 45X3B3MФC, 2X8B8M2K8) стали используются для изготовления режущих инструментов (например, фрезы, сверла) и штампов, пуансонов. Для инструментальных сталей при температуре эксплуатации до 650 °С твердость должна быть 60 ...62 HRC, а для штамповых – 45...52 HRC до 700 °С.

Инструментальные стали для измерительного инструмента (плиток, калибров, шаблонов) помимо твердости и износостойкости должны сохранять постоянство размеров и хорошо шлифоваться. Обычно используют стали У8...У12, Х, ХВГ, Х12Ф1. Необходимые требования обеспечиваются применением обработки холодом до –60 °С (нередко многократной) и отпуска при 120...130 °С непосредственно после закалки.

Измерительные скобы, шкалы, линейки и другие плоские и длинные инструменты изготавливают из листовых сталей 15, 15Х. Для получения рабочей поверхности с высокой твердостью и износостойкостью инструменты подвергают цементации и закалке.

#### ***2.1.1.9. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами***

К сталям и сплавам с особыми физическими свойствами относятся те, работоспособность которых оценивается не только по механическим, но и по ряду других (теплофизических, магнитных, электрических и др.) свойств требуемого уровня.

Стали и сплавы с особыми физическими свойствами часто называют *прецизионными*.

***Прецизионные сплавы*** – металлические сплавы с особыми физическими свойствами (магнитными, электрическими, тепловыми, упругими) или редким сочетанием свойств, уровень которых в значительной степени обусловлен точностью химического состава, отсутствием примесей, тщательностью изготовления и обработки.

Стали и сплавы с особыми физическими свойствами имеют очень широкий диапазон использования. Наибольшее распространение имеют стали и сплавы:

- с заданным температурным коэффициентом линейного расширения)
- с высоким электросопротивлением (при повышенной жаростойкости);
- магнитные стали и сплавы.

***Стали и сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения*** предназначены для впаивания изделий на их основе в стеклянные и керамические корпуса вакуумных приборов. Химический состав этих сплавов базируется на системе Fe + Ni + Co с небольшим количеством меди. Точный состав каждого сплава устанавливается для конкретного вида стекла или керамики, используемых в изделиях, из условия равенства их температурных коэффициентов линейного расширения. Например, сплав 29НК (29%

Ni, 18% Co, остальное Fe) с  $\alpha = (4,6...5,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  называемый *ковар*, предназначен для вакуумных впаев в молибденовые стекла. Для изготовления деталей, спаиваемых со стеклом (например, в телевизионных кинескопах), применяют более дешевые ферритные железохромистые сплавы 18ХТФ и 18ХМТФ, имеющие  $\alpha = 8,7 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Особое место в сплавах с заданным температурным коэффициентом линейного расширения занимают сплавы с малым коэффициентом, существенно не меняющимся в высокотемпературной области. Эти сплавы предназначены для изготовления деталей измерительных приборов и технических средств. Промышленное значение имеет сплав *инвар* на базе железа и никеля (36 %) с небольшим (0,05 %) количеством углерода. Для этого сплава величина температурного коэффициента линейного расширения  $\alpha = (1...1,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , причем изменение величины коэффициента при температурах 600...700 °С происходит очень плавно за счет ферромагнитного эффекта. Эти сплавы используют для деталей, впаиваемых в неорганические диэлектрики – стекло, керамику, слюду и др.

**Стали и сплавы с высоким электросопротивлением** должны сочетать высокое сопротивление (1,06...1,47 мкОм·м, что более чем в 10 раз выше, чем у низкоуглеродистой стали) и иметь жаростойкость 1000...1350 °С. К технологическим свойствам таких сплавов предъявляются требования высокой пластичности, обеспечивающей хорошую деформируемость на прутки, полосу, проволоку и ленты, в том числе малых сечений, а к потребительским – малую величину температурного коэффициента линейного расширения. Для этих сплавов используются системы Fe + Cr + Al, Fe + Ni + Cr и Ni + Cr. Их микроструктура представляет собой твердые растворы с высоким содержанием легирующего элемента. Чем больше в сплавах хрома и алюминия, тем выше их жаростойкость. Количество углерода в сплавах строго ограничивают (0,06...0,12 %), так как появление карбидов снижает пластичность и сокращает срок эксплуатации изделий.

Наибольшее распространение в технике получили сплавы ферритного класса: Х13Ю4 (*фехраль*), 0Х23Ю5 (*хромель*) и 0Х27Ю5А. Эти сплавы малопластичные, поэтому изделия из них, особенно крупные, следует выполнять при подогреве до 200...300°С. Сопротивление ползучести ферритных сплавов невелико, поэтому нагреватели при высоких (1150...1200°С) температурах нередко провисают под действием собственного веса.

Высоким электросопротивлением обладают сплавы на основе никеля – Х20Н80 (*нихромы*). Нихромы с железом называют *феррохромами*, например, сплав Х15Н60, содержащий 25% Fe. Ферронихромы обладают более высокими технологическими свойствами и дешевле, чем нихромы.

Стали и сплавы с высоким электросопротивлением предназначены для изготовления деталей и элементов нагревательных приборов, реостатов, а также резисторов, терморезисторов, тензодатчиков и др.

**Магнитные стали и сплавы** классифицируют на *магнитно-твердые*, *магнитно-мягкие* и *парамагнитные*.

Магнитно-твердые стали и сплавы по своим потребительским свойствам характеризуются высокими коэрцитивной силой и остаточной индукцией и соответственно высокой магнитной энергией  $(B_r H_c)_{\max}$ .

По химическому составу промышленные магнитно-твердые стали и сплавы в порядке возрастания их коэрцитивной силы и магнитной энергии представляют собой:

- высокоуглеродистые стали (1,2...1,4 % C);
- высокоуглеродистые (1 % C) сплавы железа с хромом (до 2,8 %), легированные кобальтом;
- высокоуглеродистые сплавы железа, алюминия, никеля и кобальта, называемые *алнико*.

Легирующие элементы повышают, главным образом, коэрцитивную силу и магнитную энергию, а также улучшают температурную и механическую стабильности постоянного магнита.

В углеродистых магнитно-твердых сталях необходимые свойства ( $H_c = 5200$  А/м) обеспечиваются не равновесной мартенситной структурой с высокой плотностью дефектов. В сплавах железа с хромом (например, EX3) высокие потребительские свойства обеспечивают магнитная и кристаллографическая текстуры, получаемые в результате термообработки, включающей нормализацию и высокий отпуск или закалку и низкий отпуск. Наиболее высокие свойства ( $H_c = 500$  Э), достигаемые в сплавах алнико, реализуются за счет выделения интерметаллида NiAl и наличия магнитной и кристаллографической текстур. Для сплавов алнико используют при термообработке нагрев до 1300 °С с последующим охлаждением со скоростью 0,5...5 °С/с в магнитном поле.

Обозначают магнитно-твердые стали индексом «Е», указывая далее буквой с цифрой наличие хрома и его содержание в целых процентах (например, EX2, EX3).

Магнитно-твердые стали и сплавы используются для изготовления различного рода постоянных магнитов. В промышленности наиболее широко применяют сплавы типа *алнико* (ЮНДК15, ЮН14ДК25А, ЮНДК31ТЗБА и др.). Эти сплавы тверды, хрупки и не поддаются деформации, поэтому магниты из них изготавливают литьем. После литья проводят только шлифование.

Магнитно-мягкие стали и сплавы отличаются легкой намагничиваемостью в относительно слабых магнитных полях. Их основными потребительскими свойствами являются высокая магнитная проницаемость, низкая коэрцитивная сила, малые потери на вихревые токи и при перемагничивании. Эти свойства обеспечивает гомогенная (чистый металл или твердый раствор) структура, чистая от примесей. Магнитно-мягкие материалы должны быть полностью рекристаллизованы для устранения внутренних напряжений, так как даже слабый наклеп существенно снижает магнитную проницаемость и повышает коэрцитивную силу. Магнитная проницаемость возрастает при микроструктуре из более крупных зерен.

По химическому составу промышленно применяемые магнитно-мягкие (электротехнические) стали и сплавы делятся на:

- низкоуглеродистые (0,05...0,005 % C) с содержанием кремния 0,8...6,0%;

– сплавы железа с никелем.

В низкоуглеродистых сталях кремний, образуя с  $\alpha$ -Fe твердый раствор, увеличивает электрическое сопротивление и, следовательно, уменьшает потери на вихревые токи; кроме того, кремний повышает магнитную проницаемость, немного снижает коэрцитивную силу и потери на гистерезис вследствие вызываемого им роста зерна, графитизирующего действия и лучшего раскисления сталей. Однако кремний понижает индукцию в сильных магнитных полях и повышает хрупкость, особенно при его содержании 3...4%.

Железоникелевые сплавы с содержанием никеля 36...83 %, называемые **пермаллоями**, обладают наиболее высокими потребительскими свойствами. Для улучшения тех или иных характеристик в их состав вводят хром, молибден, медь и др. Величина их магнитной проницаемости превосходит аналогичные показатели для низкоуглеродистых сталей в  $15 \cdot 10^3$  раз. Пермаллои – легко деформируемые сплавы. Однако деформация значительно ухудшает их первоначальные магнитные характеристики. Для восстановления свойств проводят термообработку по строго разработанному режиму: скорость нагрева (до 900...1000 °С), выдержка и скорость охлаждения. Применяют их в аппаратуре, работающей в слабых частотных полях (телефон, радио).

Для электротехнических сталей принята маркировка, основанная на кодировании. В обозначении марки используют четыре цифры, причем их значения соответствуют кодам, содержащим следующую информацию:

*первый* – структура материала (по наличию и степени текстуры) и вид прокатки (горячая или холодная деформация);

*второй* – химический состав по содержанию кремния;

*третий* – величины потерь тепловых и на гистерезис;

*четвертый* – значение нормируемого потребительского свойства.

Электротехнические стали изготавливают в виде рулонов, листов и резанной ленты. Они предназначены для изготовления магнитопроводов постоянного и переменного тока, якорей и полюсов электротехнических машин, роторов, статоров, магнитных цепей трансформаторов и др.

**Парамагнитными сталями** являются аустенитные стали 12X18H10T, 17X18H9, 55Г9Н9ХЗ, 40Г14Н9Ф2 и др. Их химический состав базируется на системе Fe + Cr + Ni + Ti. Основными потребительскими свойствами являются немагнитность и высокая прочность. Необходимая прочность достигается при деформационном и дисперсионном упрочнении изделий. К недостаткам этих сталей и сплавов следует отнести низкий предел текучести (150...350 МПа), что ограничивает область применения только малонагруженными конструкциями.

Парамагнитные стали и сплавы применяют для изготовления немагнитных деталей конструкций в электротехнике, приборостроении, судостроении и специальных областях техники. Повышение износостойкости деталей, работающих в узлах трения, достигается азотированием (стали 40Г14Н9Ф2 и др.).

### **2.1.1.10. Старение углеродистой стали**

Под **старением** понимают изменение свойств **сталей**, протекающее во времени без заметного изменения микроструктуры.



Старение сталей можно условно разделить на три вида: *термическое*, *деформационное* (механическое) и *термодеформационное*. Термодеформационное старение связано с возможностью одновременного протекания термического и деформационного старения.

**Термическое старение** протекает в результате изменения растворимости углерода и азота в  $\alpha$ -железе при повышении температуры. Если в сталях при предшествующей термической обработке был зафиксирован пересыщенный  $\alpha$ -твердый раствор (как, например, при сварке, охлаждении тонкого листа после прокатки и др.), то при последующей ее выдержке при нормальной температуре (естественное старение) или при повышенной (50...100 °С) температуре (искусственное старение) происходит распад твердого раствора с выделением третичного цементита в виде дисперсных частиц. Старение технического железа может быть связано также и с выделением из твердого раствора частичек нитридов  $\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  или  $\text{Fe}_4\text{N}$ .

Термическое старение заметно протекает в низкоуглеродистых сталях. При более высоком содержании углерода вследствие зародышевого воздействия большого количества цементитных частиц, образовавшихся при перлитном превращении, самостоятельного выделения третичного цементита не наблюдается.

**Деформационное старение** протекает после пластической деформации, если она происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации, и особенно при 20 °С. Деформационное старение развивается в течение 15...16 сут при 20 °С и в течение нескольких минут при 200...350 °С. При деформационном старении происходит упрочнение, что связано в основном с ухудшением условий движения дислокаций и образованием карбидных и нитридных фаз при нагреве.

Термическое и деформационное старения повышают прочность и твердость, но одновременно резко снижают ударную вязкость и повышают порог хладноломкости.

Старение отрицательно сказывается на эксплуатационных и технологических свойствах многих сталей. Оно может протекать в строительных и мостовых сталях, подвергаемых пластической деформации при гибке, монтаже, сварке, и, усиливаясь охрупчиванием при низких температурах, явиться причиной разрушения конструкции. Развитие деформационного старения резко ухудшает штампуемость листовой стали.

Склонность сталей к старению снижается при модифицировании алюминием, титаном и ванадием.

### 2.1.2. Чугуны

**Чугун** – сплав Fe (основа) с C (обычно 2...4 %), содержащий постоянные примеси (Si, Mn, S, P), а иногда и легирующие элементы (Cr, Ni, V, Al и др.); как правило, хрупок.

Углерод в чугуне может находиться в виде цементита, графита или одновременно в виде цементита и графита. Образование стабильной фазы – графита в чугуне может происходить в результате непосредственного выделения его из

жидкого (твёрдого) раствора или вследствие распада предварительно образовавшегося цементита (при замедленном охлаждении расплавленного чугуна цементит может подвергнуться разложению  $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + 3\text{C}$  с образованием феррита и графита). Процесс образования в чугуне (стали) графита называют *графитизацией*.

Графит повышает износостойкость и антифрикционные свойства чугуна вследствие собственного смазочного действия и повышения прочности пленки смазочного материала. Чугуны с графитом, как мягкой и хрупкой составляющей, хорошо обрабатываются резанием (с образованием ломкой стружки) и обеспечивают более чистую поверхность, чем стали (кроме автоматных сталей).

Присутствие эвтектики в структуре чугунов обуславливает его использование исключительно в качестве литейного сплава. Высокие литейные свойства при небольшой стоимости обеспечили широкое применение чугунов в промышленности.

Механические свойства чугуна обусловлены, главным образом, количеством и структурными особенностями графитной составляющей. Влияние графитных включений на механические свойства чугуна можно оценить количественно. Чем меньше графитных включений, тем они мельче и больше степень их изолированности, тем выше прочность чугуна при одной и той же металлической основе. Наиболее высокую прочность обеспечивает шаровидная форма графитной составляющей, а для хлопьевидной составляющей характерны высокие пластические свойства. Чугун с пластинчатым графитом можно рассматривать как сталь, в который графит играет роль надрезов, ослабляющих металлическую основу.

Применяемые для отливок чугуны имеют в среднем состав: С – 2...4 %, Si – 1,5...4 %, Mn – 0,6...1,25 %, P – 0,1...1,2 %, S < 0,06 %.

Углерод определяет количество графита в чугуне: чем выше его содержание, тем больше образуется графита и тем ниже механические свойства. В то же время для обеспечения высоких литейных свойств (хорошей жидкотекучести) должно быть не меньше 2,4 % С.

Кремний оказывает большое влияние на структуру и свойства чугунов, так как величина температурного интервала, в котором в равновесии с жидким сплавом находятся аустенит и графит, зависит от его содержания. Чем больше содержание кремния, тем шире эвтектический интервал температур. Таким образом, кремний способствует процессу графитизации, действуя в том же направлении, что и замедление скорости охлаждения. Изменяя, с одной стороны, содержание в чугуне углерода и кремния, а с другой – скорость охлаждения, можно получить различную структуру металлической основы чугуна.

Сера и марганец являются вредными технологическими примесями, содержание которых в чугунах ограничивают. Сера ухудшает механические и литейные свойства. И сера, и марганец препятствуют графитизации.

Фосфор не влияет на графитизацию, а при повышенном (до 0,4...0,5 %) содержании повышает износостойкость чугунов, так как образуются твердые включения фосфидной эвтектики.

Самым распространенным видом термообработки чугунов является отжиг отливок при 430...600 °С для уменьшения литейных напряжений, которые могут вызвать даже коробление фасонных изделий. Нормализация чугуна проводится для аустенизации ферритной и ферритно-перлитной матриц и последующего перлитного превращения, что обеспечивает упрочнение. Закалку чугуна на мартенсит с нагревом до 850...930 °С и охлаждением в воде и масле применяют для повышения прочности и износостойкости. После закалки проводят низкий отпуск (200 °С) для уменьшения закалочных напряжений или высокий отпуск (600...700 °С) для получения микроструктур сорбита или зернистого перлита, обеспечивающих повышенную вязкость.

Классификацию чугунов проводят *по виду и форме углеродосодержащей структурной составляющей*, то есть по наличию и форме графита.

По виду структурной составляющей выделяют чугуны без графита – *белые чугуны*, в которых практически весь углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита. Промежуточное положение занимает *половинчатый чугун*, большая (0,8 %) часть углерода которого находится в Fe<sub>3</sub>C. Структура половинчатого чугуна – перлит, ледебурит и пластинчатый графит.

Чугуны с графитом в зависимости от формы последнего разделяют на *серые, ковкие и высокопрочные*. Серыми называют чугуны, в структуре которых графит имеет пластинчатую форму. В ковких чугунах графит имеет хлопьевидную форму, в высокопрочных чугунах – шаровидную. К числу высокопрочных относят также чугуны с графитом *вермикулярной* (греч. – червячок) формы, которые по свойствам занимают промежуточное положение между чугунами с шаровидным и пластинчатым графитом.

**Белые чугуны** (передельные) редко используются в народном хозяйстве в качестве конструкционных материалов, так как из-за большого содержания цементита очень хрупкие и твердые, с трудом отливаются и обрабатываются инструментом. Из них делают детали гидромашин, пескометов и других конструкций, работающие в условиях повышенного абразивного изнашивания. Для увеличения износостойкости белые чугуны легируют хромом, ванадием, молибденом и другими карбидообразующими элементами. Маркировка белых чугунов не установлена.

Разновидностью белых чугунов является отбеленные чугуны. Поверхностные слои изделий из таких чугунов имеют структуру белого (или половинчатого) чугуна, а сердцевина – серого чугуна. Отбел на некоторую глубину (12...30 мм) получают путем быстрого охлаждения поверхности (например, отливка чугуна в металлические или песчаные формы). Для снятия структурных напряжений, которые могут привести к образованию трещин, отливки подвергают нагреву при 500...550 °С. Высокая износостойкость отбеленных чугунов обусловлена твердостью поверхности, достигающей 400...500 НВ. Из отбеленного чугуна изготавливают прокатные валки листовых станков, колеса, шары для мельниц и др.

**Серые чугуны.** Структура серого (литейного) чугуна состоит из металлической основы с графитом пластинчатой формы, вкрапленным в эту основу. Такая структура образуется непосредственно при кристаллизации чугуна в отливке в

соответствии с диаграммой состояния системы Fe-C (стабильной). Причем, чем больше углерода и кремния в сплаве и чем ниже скорость его охлаждения, тем выше вероятность кристаллизации по этой диаграмме с образованием графитной эвтектики. При низком содержании углерода и кремния чугун модифицируют небольшими дозами некоторых элементов (например, алюминий, кальций, церий).

**Модифицирование металлов** – введение в металлические расплавы модификаторов, то есть веществ, небольшие количества которых (обычно не более десятых долей %) способствуют созданию дополнительных искусственных центров кристаллизации, и следовательно, образованию структурных составляющих в измельченной или округлой форме, что улучшает механические свойства металла.

Для характеристики структуры серого чугуна необходимо определять размеры, форму, распределение графита, а также структуру металлической основы. В обычном сером чугуне при медленном охлаждении во время кристаллизации графит очень слабо разветвляется. Он похож на розетку с небольшим числом изогнутых лепестков.

Механические свойства серых чугунов зависят от свойств металлической основы и, главным образом, от количества, формы и размеров графитных включений. Перлитная основа обеспечивает наибольшие значения показателей прочности и износостойкости.

Марки серых чугунов состоят из букв «СЧ» и цифр, соответствующих минимальному пределу прочности при растяжении  $\sigma_b$ , МПа/10. Чугун СЧ10 – ферритный; СЧ15, СЧ18, СЧ20 – ферритно-перлитные чугуны, начиная с СЧ25 – перлитные чугуны.

На долю серого чугуна с пластинчатым графитом приходится около 80 % общего производства чугунных отливок. Серые чугуны обладают высокими литейными качествами (жидкотекучесть, малая усадка, незначительный пригар металла к форме и др.), хорошо обрабатываются и сопротивляются износу, однако из-за низких прочности и пластических свойств в основном используются для неотчетственных деталей. В станкостроении серый чугун является основным конструкционным материалом (станины станков, столы и верхние салазки, колонки, каретки и др.); в автомобилестроении из ферритно-перлитных чугунов делают картеры, крышки, тормозные барабаны и др., а из перлитных чугунов – блоки цилиндров, гильзы, маховики и др. В строительстве серый чугун применяют, главным образом, для изготовления деталей, работающих при сжатии (башмаков, колонн), а также санитарно-технических деталей (отопительных радиаторов, труб). Значительное количество чугуна расходуется для изготовления трубингов, из которых сооружается туннель метрополитена. Из серого чугуна, содержащего фосфор (0,5 %), изготавливают архитектурно-художественные изделия.

**Ковкие чугуны** с хлопьевидной формой графита получают из белых доэвтектических чугунов, подвергая их специальному графитизирующему отжигу. Графитизирующий отжиг белого чугуна основан на метастабильности цемента и состоит обычно из двух стадий (рис. 2.4).

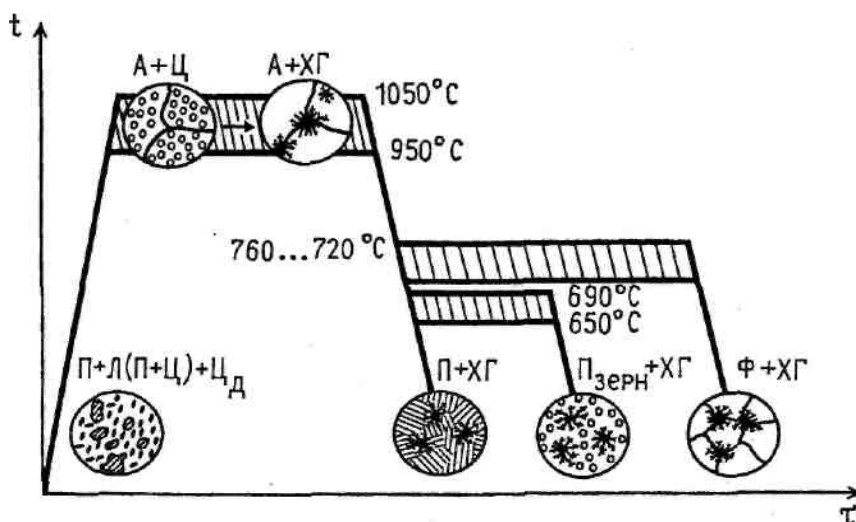


Рис. 2.4. Схема отжига белого чугуна на ковкий

Первая стадия (950...1050 °С) подбирается по длительности такой, чтобы весь цементит, находящийся в структуре отливки, распался на аустенит и хлопьевидный графит. Процесс графитообразования облегчается при модифицировании (например, алюминием и бором). Чугун, полученный таким образом, называется *модифицированным*.

На второй стадии графитизирующего отжига при температуре эвтектоидного превращения формируется металлическая основа ковкого чугуна. В зависимости от режимов охлаждения ковкие чугуны могут иметь перлитную (непрерывное охлаждение), ферритную (очень медленное охлаждение в интервале 760...720 °С или изотермическая выдержка при 720...700 °С) или ферритно-перлитную (сокращение продолжительности второй стадии отжига) металлические основы. Для получения в модифицированном ковком чугуне перлитной основы рекомендуется увеличивать содержание марганца, хрома и некоторых других элементов, которые повышают устойчивость цементита к распаду на феррит и пластинчатый графит в области температур эвтектоидного превращения.

Ковкие чугуны с перлитной металлической основой обладают высокими твердостью (235...305 НВ) и прочностью ( $\sigma_b = 650...800$  МПа) в сочетании с небольшой пластичностью ( $\delta = 3,0...1,5$  %). Ковкий ферритный чугун характеризуется высокой пластичностью ( $\delta = 10...12$  %) и относительно низкой прочностью ( $\sigma_b = 370...300$  МПа).

Существенными недостатками графитизирующего отжига чугунов является длительность (24...60 ч) отжига отливок и ограничение толщины их стенок.

Ковкие чугуны маркируются двумя буквами (КЧ – ковкий чугун) и двумя группами цифр. Первые две цифры в обозначении марки соответствуют минимальному пределу прочности при растяжении  $\sigma_b$ , МПа /10, цифры после тире – относительному удлинению при растяжении, %. Чугуны марок КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, имеющие повышенное значение удлинения при растяжении,

относятся к ферритным, а марок КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5 – к перлитным чугунам.

Ковкие чугуны, обладая высокими пластическими свойствами, находят применение при изготовлении разнообразных тонкостенных (до 50 мм) деталей, работающих при ударных и вибрационных нагрузках, – фланцы, муфты, картеры, ступицы и др. Масса этих деталей – от нескольких граммов до нескольких тонн.

Для повышения твердости, износостойкости и прочности изделий из ковкого чугуна иногда применяют нормализацию или закалку. Закалка с последующим высоким отпуском позволяет получить структуру зернистого перлита.

**Высокопрочный чугун** (ЧШГ – чугун с шаровидным графитом) получают модифицированием жидкими присадками (0,1...0,5 % магния от массы обрабатываемой порции чугуна, 0,2...0,3 % церия, иттрия и некоторых других элементов). При этом перед вводом модификаторов необходимо снизить содержание серы до 0,02...0,03 %.

Рекомендуемый химический состав высокопрочного чугуна (2,7...3,7 % С; 0,5...3,8 % Si) выбирается в зависимости от толщины стенок отливки (чем тоньше стенка, тем больше углерода и кремния).

Высокопрочные чугуны обладают хорошими литейными и потребительскими свойствами (обрабатываемость резанием, способность гасить вибрации, высокая износостойкость и др.) свойствами. Они используются для массивных отливок взамен стальных литых и кованных деталей – цилиндры, шестерни, коленчатые и распределительные валы и др.

Для повышения механических свойств (пластичности и вязкости) и снятия внутренних напряжений отливки подвергают термической обработке (отжигу, нормализации, закалке и отпуску). Рекомендуется подвергать чугунные изделия объемной закалке. Образование мелкоугольчатого мартенсита в закаленном поверхностном слое изделий повышает их износостойкость в три и более раз. Для повышения износостойкости применяется также азотирование (или азотирование с последующей «обдувкой дробью»), при котором в поверхностных слоях изделий создаются благоприятные сжимающие напряжения.

**Чугуны специального назначения.** К этой группе чугунов относятся жаростойкие, жаропрочные и коррозионностойкие чугуны. Сюда же можно отнести немагнитные, износостойкие и антифрикционные чугуны.

Жаростойкими являются серые и высокопрочные чугуны, легированные кремнием (ЧС5) и хромом (ЧХ28, ЧХ32). Эти чугуны обладают жаростойкостью до 700...800°C на воздухе, в топочных и генераторных газах. Высокой термо- и жаростойкостью обладают аустенитные чугуны: высоколегированный никелевый серый ЧН15Д7 и с шаровидным графитом ЧН15ДЗШ.

К жаропрочным чугунам относятся аустенитные чугуны с шаровидным графитом ЧН19ХЗШ и 4Н11Г7Ш. Для повышения жаропрочности чугуны подвергают отжигу с последующим отпуском. После отжига легированные карбиды приобретают форму мелких округлых включений.

В качестве коррозионностойких применяют чугуны, легированные кремнием (*ферросилиды*) – ЧС13, ЧС15, ЧС17 и хромом – ЧХ22, ЧХ28, 4Х32. Они

обладают высокой коррозионной стойкостью в серной, азотной и ряде органических кислот. Для повышения коррозионной стойкости кремнистых чугунов их легируют молибденом (ЧС15М4, ЧС17М3 – *антихлоры*). Введение в чугун 0,2...0,5 % Мо уменьшает склонность к росту зерна, повышает вязкость, сопротивление износу и улучшает свойства при повышенных температурах. Высокой коррозионной стойкостью в щелочах обладают никелевые чугуны, например аустенитный чугун ЧН15Д7.

В качестве немагнитных чугунов также применяются аустенитные чугуны. Их используют в тех случаях, когда требуется минимальная потеря мощности (крышки масляных выключателей, концевые коробки трансформаторов и др.) или когда нужно избегать искажений магнитного поля (стойки для магнитов).

К износостойким чугунам относятся половинчатые и отбеленные чугуны. К износостойким половинчатым чугунам относится, например, серый чугун марки ИЧНХ2, легированный никелем и хромом, а также чугуны ИЧХНТ, ИЧН1МШ (с шаровидным графитом). Из этих чугунов отливают детали двигателей внутреннего сгорания (крышки и днища цилиндров, головки поршней и др.).

Антифрикционными чугунами являются серые и высокопрочные чугуны специальных марок. Некоторое применение нашли также ковкие антифрикционные ферритно-перлитные чугуны АЧК-1 и АЧК-2.

Антифрикционные серые чугуны – перлитные чугуны АЧС-1 и АЧС-2 и перлитно-ферритный чугун АЧС-3. Эти чугуны обладают низким коэффициентом трения, зависящим от соотношения феррита и перлита в основе, а также от количества и формы графита. В перлитных чугунах высокая износостойкость обеспечивается металлической основой, состоящей из тонкого перлита и равномерно распределенной фосфорной эвтектики при наличии изолированных выделений пластинчатого графита.

Антифрикционные серые чугуны применяют для изготовления подшипников скольжения, втулок и других деталей, работающих при трении о металл, чаще в присутствии смазочного материала. Детали, работающие в паре с закаленными или нормализованными стальными валами, изготавливают из чугунов АЧС-1 и АЧС-2, а для работы в паре с термически необработанными валами применяют чугун АЧС-3.

Антифрикционные высокопрочные (с шаровидным графитом) чугуны изготавливают с перлитной структурой – АЧВ-1 и ферритно-перлитной (< 50 % перлита) – АЧВ-2. АЧВ-1 используется для работы в узлах трения с повышенными окружными скоростями в паре с закаленным или нормализованным валом. АЧВ-2 применяют для пары с валом в состоянии поставки («сырым»).

Главное достоинство антифрикционных чугунов по сравнению с баббитами и антифрикционными бронзами – низкая стоимость, а основной недостаток – плохая прирабатываемость, что требует точного сопряжения трущихся поверхностей.

## 2.2. Титан и сплавы на его основе

**Титан** – Ti, химический элемент VI группы периодической системы элементов, атомный номер 22, атомная масса 47,90. Серебристо-белый металл; легкий, тугоплавкий, прочный, пластичный; плотность  $4500 \text{ кг/м}^3$ ;  $t_{\text{пл}} = 1665 \text{ }^\circ\text{C}$

У титана имеются две аллотропические модификации:

– низкотемпературная до  $882 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\beta$ -титан с гексагональной решеткой, плотность  $4505 \text{ кг/м}^3$ ;

– высокотемпературная – ( $\beta$ -титан с объемно-центрированной кубической решеткой, плотность при  $900 \text{ }^\circ\text{C}$   $4320 \text{ кг/м}^3$ ).

Постоянные примеси – азот, углерод, кислород и водород – увеличивают твердость и прочность титана, но понижают пластичность, ухудшают свариваемость и снижают сопротивление коррозии. Особенно вреден водород, охрупчивающий титан из-за выделения гидридов. Содержание водорода в сплавах не должно превышать  $0,015\%$ .

Марки технического титана – BT1-00 ( $99,53 \%$  Ti), BT1-0 ( $99,45 \%$  Ti).

Основные механические свойства технического титана:

$$\sigma_{\text{в}} = 300 \dots 550 \text{ МПа}; \delta = 20 \dots 25\%, \psi = 60 \dots 80\%; KCU < 1,0 \dots 1,2 \text{ МДж/м}^2;$$
$$E = 14 \cdot 10^4 \text{ МПа}; 100 \text{ НВ.}$$

Титан благодаря защитной пленке из  $\text{TiO}_2$  обладает очень высокими коррозионной и химической стойкостью, сохраняющимися в интервале температур ( $-250 \dots +550$ )  $^\circ\text{C}$  и значительно превосходящими эти показатели у нержавеющей стали и др.

Технический титан используется для изготовления химических и пищевых емкостей; как конструкционный материал в криогенной технике, в восстановительной хирургии и др. Его поставляют в виде листов, труб, проволоки и других полуфабрикатов. Технический титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается дуговой сваркой в атмосфере защитных газов и контактной сваркой, но плохо обрабатывается резанием. Карбид титана, обладающий высокой твердостью, входит в состав твердых сплавов, применяемых для изготовления режущих инструментов. Оксид титана применяется в лакокрасочном производстве. Ограничивает повсеместное использование титана его очень высокая стоимость.

**Титановые сплавы.** Подавляющее большинство металлов образуют с титаном диаграммы состояния с эвтектоидным превращением.

По структуре титановые сплавы рассматривают как  $\alpha$ -, ( $\alpha+\beta$ )- и  $\beta$ -сплавы.

Все легирующие элементы по влиянию на полиморфизм титана можно разделить на три группы (С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев):

1. Первая группа представлена  $\alpha$ -стабилизаторами – элементами, повышающими температуру полиморфного превращения титана (рис. 2.5, а). Из металлов к числу  $\alpha$ -стабилизаторов относятся алюминий, галлий и индий, из неметаллов – углерод, азот и кислород.

2. Ко второй группе принадлежат  $\beta$ -стабилизаторы – элементы, понижающие температуру полиморфного превращения титана.  $\beta$ -стабилизаторы, в свою очередь, можно разбить на три подгруппы:



а) *эвтектоидообразующие стабилизаторы* (рис. 2.5, б), обеспечивающие эвтектоидный распад  $\beta$ -фазы при достаточно низкой температуре (хром, марганец, железо, медь, никель, кобальт);

б) *изоморфные стабилизаторы* (рис. 2.5, в), образующие непрерывные растворы с  $\beta$ -титаном (ванадий, молибден, ниобий, тантал). К этой же подгруппе следует отнести и вольфрам в системе (рис. 2.5, г) с титаном, образующий непрерывные растворы  $\beta$ -Ti и W, при этом  $\alpha$ -фаза при всех температурах находится в равновесии с  $\beta$ -фазой;

в) *изоморфные квази- $\beta$ -стабилизаторы*, стабилизирующие  $\beta$ -фазу, но без образования  $\beta$ -твердых растворов (рений, рутений, родий, осмий, иридий).

3. Элементы третьей группы мало влияют на полиморфное превращение. Эти элементы называют *нейтральными упрочнителями* (олово, цирконий, германий, гафний и торий).

Наилучшее сочетание свойств достигается в  $(\alpha+\beta)$ -сплавах. Сплавы с двухфазной микроструктурой  $(\alpha+\beta)$  в равновесном состоянии подвергаются упрочняющей термической обработке – закалке и старению. После закалки они имеют структуру, состоящую из двух метастабильных фаз – мартенситной игольчатого вида ( $\alpha'$ ) и  $\beta$ -фазы, а при введении модификаторов-стабилизаторов  $\beta$ -фазы – только из одной метастабильной  $\beta$ -фазы. Процессы старения улучшают прочностные свойства, но снижают пластичность и вязкость.

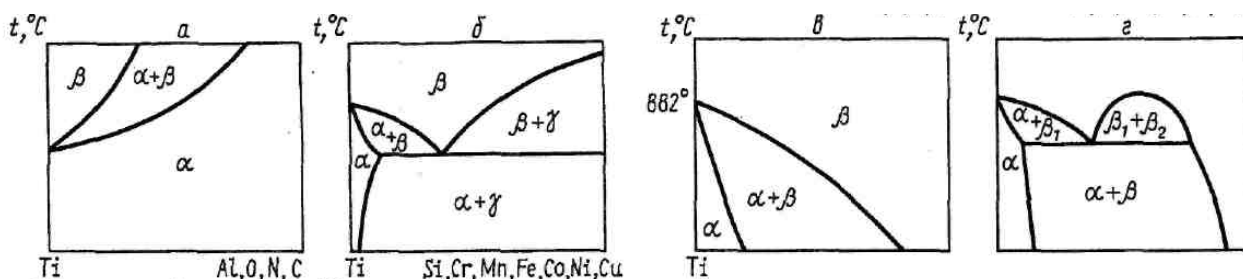


Рис. 2.5. Схема влияния легирующих элементов и примесей на температуру полиморфного превращения титана (С.Г. Глазунов, Б.А. Колачев)

Основным легирующим элементом в промышленных титановых сплавах является алюминий. Двумя следующими по значимости легирующими элементами являются ванадий и молибден. Еще в качестве легирующих элементов используются, по крайней мере, 7 металлов: Cr, Mn, Fe, Cu, Sn, Zr, W. Для микролегирования используют Nb, Ta, Pd и др. Легирующие элементы оказывают различное влияние на свойства сплавов: Al, Zr, Nb – повышают жаропрочность до 550 °С; Mo, Zr, Nb, Ta, Pd – повышают коррозионную стойкость в кислотах.

Из неметаллов для легирования титановых сплавов наибольшее значение имеют кремний, вводимый для повышения жаропрочности, бор, оказывающий модифицирующее действие, а также элементы, образующие твердые растворы внедрения, –  $C_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ , снижающие пластичность, но повышающие прочность, а углерод, помимо того, увеличивает твердость и износостойкость. Так как последние из перечисленных элементов относятся к вредным примесям, их содержание в сплавах должно быть минимальным.

Титановые сплавы относятся к группе легких сплавов ( $4500 \text{ кг/м}^3$ ) и характеризуются высокой удельной прочностью. Так, при одинаковой прочности (например,  $\sigma_b = 450 \text{ МПа}$ ) изделия из титановых сплавов в 1,8 раза легче стальных. У этих сплавов хорошие жаропрочные свойства и отсутствует хладноломкость, в том числе при очень низких температурах. Титановые сплавы практически превосходят нержавеющие стали, медные и никелевые сплавы в стойкости против коррозии в морской воде, а также в таких агрессивных средах, как влажный хлор, горячая азотная кислота высокой концентрации и др. Титановые сплавы немагнитны, обладают низкой теплопроводностью и малым коэффициентом линейного расширения. Вместе с тем сплавы титана уступают сталям, особенно с повышенным содержанием углерода, в твердости и износостойкости.

Титановые сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием, могут свариваться.

Для титановых сплавов принята классификация: *по способу производства, по структуре, по механическим свойствам и по способности упрочняться термической обработкой.*

**По способу производства** титановые сплавы делят на *деформируемые* и *литейные* сплавы. Наиболее распространены литейные сплавы ВТ1Л, ВТ5Л6 ВТ9Л. Сплав ВТ1Л обладает наибольшей химической стойкостью, его применяют для деталей, работающих в агрессивных средах. Механические свойства низкие. Сплав ВТ5Л применяют для деталей, работающих при температурах – 235...+350 °С. Сплав ВТ9Л наиболее высокопрочный и предназначен для изготовления нагруженных деталей, работающих при температуре до 500 °С.

**По механическим свойствам** титановые сплавы делят на *сплавы нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и повышенной пластичности.*

**По способности упрочняться** термической обработкой различают *упрочняемые* и *неупрочняемые титановые сплавы.*

Промышленные титановые сплавы – важнейшие конструкционные материалы. Сплавы ВТ-5, ВТ5-1, ОТ4 ( $\alpha$ -сплавы); ВТ6, ВТ14, ВТ8 ( $\alpha+\beta$ -сплавы) применяются:

- в химической промышленности (теплообменники, компрессоры и др.);
- в машиностроении (клапаны, золотники, пружины, коленчатые валы и др.);
- в производстве конструктивных элементов (диски, лопатки компрессоров, обшивка ракет и др.).

Несмотря на высокую стоимость производства и обработки изделий из титановых сплавов, применение их оказывается выгодным благодаря их коррозионной стойкости, долговечности и экономии массы. Однако из-за дефицитности титана использование титановых сплавов весьма ограничено. В настоящее время применяют вторичные титановые сплавы (ВТВ1, ВТВ2, ВТВ3, ВТВ4), основу шихты которых составляют отходы технологического производства, а также слитки из этих отходов.

### 2.3. Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе

К *тугоплавким* относят *металлы*, температура плавления которых превышает 1800 °С. Наибольшее значение в технике имеют следующие тугоплавкие металлы: Nb, Mo, Cr, W.

Тугоплавкие металлы имеют прочные межатомные связи, что и обеспечивает высокие температуры плавления. Они отличаются малым тепловым расширением, небольшой теплопроводностью, повышенной жесткостью.

Механические свойства тугоплавких металлов зависят от способа производства и содержания примесей, которые увеличивают их хрупкость. Молибден, хром и вольфрам особенно склонны к хрупкому разрушению из-за высокой температуры порога хладноломкости, которую особенно сильно повышают примеси внедрения С, N, H и O. Наклеп понижает температуру перехода в хрупкое состояние. Жаропрочность тугоплавких металлов может быть повышена как легированием, так и азотированием при 1100...1200 °С в азоте.

Большой недостаток тугоплавких металлов – низкая жаростойкость, поэтому при температуре свыше 400...600 °С их нужно защищать от окисления.

Тугоплавкие металлы трудно обрабатываются, так как имеют большое сопротивление пластическому деформированию.

Сплавы на основе тугоплавких металлов обладают более высокой жаропрочностью, чем сами чистые металлы (1500...2000 °С).

Тугоплавкие металлы легируют в двух целях:

- а) для уменьшения их склонности к хрупкому разрушению;
- б) для повышения прочностных и жаропрочных характеристик.

Сплавы на основе тугоплавких металлов подразделяют на две группы:

- 1) сплавы со структурой твердого раствора;
- 2) сплавы, упрочняемые закалкой и старением.

В сплавах первой группы содержание легирующих элементов (Ti, Nb, Zr, Mo, W, Ta, Re) выбирают таким, чтобы при увеличении прочности не снизить пластичность и не ухудшить другие свойства.

Сплавы второй группы содержат повышенное количество углерода и карбидообразующие элементы. При старении этой группы сплавов упрочняющей фазой являются карбиды, которые выделяются внутри зерен.

**Ниобий** – Nb, химический элемент V группы периодической системы элементов, атомный номер 41, атомная масса 92,9064. Тугоплавкий светло-серый металл, плотность 8570 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 2500$  °С, температура перехода в сверхпроводящее состояние 9,25 К,

Ниобий – высокопластичный металл, имеет очень низкий (ниже –196 °С) порог хладноломкости. Химически очень стоек. Хорошо сваривается. Для повышения жаропрочности ниобий легируют молибденом, вольфрамом и цирконием. Широкое использование получил как компонент химически стойких и жаростойких сталей, из которых изготавливают детали ракет, реактивных двигателей, химическую и нефтеперегонную аппаратуру. Недостатки ниобия и его сплавов – малый модуль Юнга и большая склонность к окислению при повышенных температурах.

Основными легирующими элементами для сплавов на основе ниобия являются W, Mo, Ti, Ta, V, Zr, Hf и элементы внедрения (C, O, N).

Сплавы на основе ниобия (ВН-2А, ВН-4) обладают хорошей технологичностью, свариваемостью и достаточно высокой жаропрочностью до 1300 °С (300...850 МПа). Ниобием и его сплавами покрывают тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. Станид Nb<sub>3</sub>Sn, германид Nb<sub>3</sub>Ge, сплавы ниобия с Sn, Ti и Zr используют в радиоэлектронике для изготовления сверхпроводящих соленоидов (Nb<sub>3</sub>Ge – сверхпроводник с наиболее высокой температурой перехода в сверхпроводящее состояние).

Как чистый ниобий, так и его сплавы активно взаимодействуют при нагреве с атмосферными газами, что требует применения защитных покрытий.

**Молибден** – Mo, химический элемент VI группы периодической системы элементов, атомный номер 42, атомная масса 95,94. Светло-серый металл, плотность 10200 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 2620$  °С. Химически стоек (на воздухе окисляется при температуре выше 400 °С. Соединения молибдена обладают значительной окислительно-восстановительной и каталитической способностью. В природе 7 изотопов молибдена; искусственно получено еще 10. Молибден относится к стратегическим металлам.

Для изготовления из молибдена и сплавов на его основе изделий различных профилей можно применять почти все известные способы обработки: выдавливание, ковку, прокатку, штамповку, вытяжку и механическую обработку резанием. При этом для обеспечения необходимой прочности конечные стадии обработки надо проводить при температурах ниже температуры рекристаллизации.

Более 75 % молибдена применяют для легирования сталей, используемых в авиа- и автомобилестроении, при изготовлении лопаток турбин и др. Весьма перспективны жаропрочные (для реактивных двигателей) и кислотоупорные (аппараты химической промышленности) сплавы; так, сплав Fe-Ni-Mo стоек ко всем кислотам (кроме Hf) до 100 °С. Молибден – важнейший конструкционный материал в производстве нитей для электрических ламп и катодов для электровакуумных приборов. Молибдены используются в гальванопластике – молибденирование, а также в аналитической химии для определения фосфора, мышьяка, кремния, германия и некоторых других элементов. Природный минерал молибденит MoS<sub>2</sub> является лучшей смазкой для трущихся металлических частей при высоких температурах, повышенном или пониженном давлении, в обычной атмосфере и при отсутствии кислорода.

**Молибденирование** – нанесение тонкого слоя молибдена на поверхность металлических изделий (главным образом, из стали, титана, ниобия) для повышения твердости, поверхностной прочности, коррозионной стойкости в азотной кислоте, а с дополнительным силицированием – жаростойкости.

Сплавы молибдена легированы Zr, Ti, Hf, Nb, W, которые образуют с молибденом твердые растворы и упрочняют его. Для увеличения пластичности в сплав могут добавлять Re. Низколегированные сплавы молибдена это – ВМ1, ЦМ2А, ВМ2 (системы Mo-Ti-Zr). Большей жаропрочностью обладают гетерофазные, термически упрочняемые сложнолегированные сплавы – ВМ3, ЦМВ30,

ЦМВ50, ЦМ10. Длительную прочность молибденовых сплавов повышает вольфрам, вводимый в большом (30 и 50 %) количестве, – сплавы ЦМВ30 и ЦМВ50. Сплав ЦМ10 относится к свариваемым сплавам из-за уменьшения в нем содержания углерода и примесей внедрения.

**Хром** – Cr, химический элемент VI группы периодической системы элементов, атомный номер 24, атомная масса 51,996. Твердый металл серо-стального цвета; плотность  $7190 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{пл}} = 1903 \text{ }^\circ\text{C}$ . На воздухе не окисляется. Хром – обязательный компонент нержавеющей, кислотоупорных, жаростойких сталей и большого числа других сплавов (нихромы, хромели, стеллит). Применяется для хромирования.

Сплавы хрома, как и чистый хром, обладают очень высокой стойкостью к окислению, вплоть до  $1000 \dots 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Хром в этих сплавах легируется W, V, Ni, Ti, Y (сплавы ВХ-1И, ВХ-2, ВХ-4), а также Hf, Mo, Zr, Ta. Сплавы хрома, кроме высоколегированного сплава ВХ-4, малопластичные, но обеспечивают высокие значения длительной прочности.

**Вольфрам** – W, химический элемент VI группы периодической системы элементов, атомный номер 74, атомная масса 183,85. Светлосерый, очень тяжелый (плотность  $19300 \text{ кг/м}^3$ ) металл, наиболее тугоплавкий ( $t_{\text{пл}} = 3410 \text{ }^\circ\text{C}$ ) из металлов. Важные свойства вольфрама: высокая электронная эмиссия при накаливании металла (например,  $298 \cdot 10^4 \text{ mA/м}^2$  при  $2230 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и большая мощность излучаемой поверхностью металла энергии при высоких температурах. На воздухе при обычной температуре он устойчив. К недостаткам вольфрама следует отнести высокую склонность к хладноломкости и малое сопротивление окислению даже при не слишком высоких температурах.

В промышленном масштабе применяют в основном нелегированный вольфрам, а число промышленных и полупромышленных сплавов на его основе весьма ограничено.

Главная область применения вольфрама – производство сталей (около 85%). Он входит в состав жаропрочных сверхтвердых сталей (инструментальные, быстрорежущие) и сплавов (победит, стеллит и др.). Чистый вольфрам используется в электротехнике (нити ламп накаливания) и радиоэлектронике (катоды и аноды электронных приборов), для спиральных нагревателей в электрических печах, электродов, различных деталей для высоковакуумных и рентгеновских приборов, при атомно-водородной сварке.

Сплавы на основе вольфрама могут быть легированы Nb, Ta, Mo, Zr, Hf, Re, C и др. Различают однофазные сплавы вольфрама – твердые растворы и гетерофазные, упрочненные дисперсионными частицами карбидов, боридов и оксидов. К однофазным сплавам относятся сплавы систем W-Nb и W-Mo, к группе гетерофазных – системы W-Ta-C (сплав ТСВ).

## 2.4. Цветные металлы и сплавы на их основе

Маркировка цветных сплавов отличается от принятой маркировки для черных металлов и сплавов, в том числе буквенным обозначением химических элементов (табл. 2.3).

## 2.4.1. Медь и сплавы на ее основе

### 2.4.1.1. Медь

**Медь** – Cu, химический элемент I группы периодической системы элементов, атомный номер 29, атомная масса 63,546. Медь обладает гранцентрированной кубической решеткой. Это металл красного (в изломе розового) цвета, ковкий и мягкий; плотность  $8960 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{пл}} = 1083 \text{ }^\circ\text{C}$ . Химически она малоактивна; в атмосфере, содержащей  $\text{CO}_2$ , пары  $\text{H}_2\text{O}$  и др., покрывается *патиной*.

**Патина** – пленка основного карбоната различных оттенков, в основном зеленоватых, образующаяся на поверхности изделий из меди, бронзы, латуни при окислении металла под воздействием естественной среды или специальной обработки (патинирования). Патина предохраняет изделия от коррозии, имеет и декоративное значение. Ядовита.

Среди свойств меди наиболее существенное значение для современной промышленности приобрело ее низкое электрическое сопротивление –  $0,0175 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Эта величина принята в электротехнике за *эталонное значение*– 100%.

Большое значение в технике имеет также высокая удельная теплопроводность меди –  $394 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Температурный коэффициент линейного расширения меди  $1,67\cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ .

Все примеси, особенно входящие в твердый раствор, снижают электропроводность, а также теплопроводность меди. Наиболее сильно уменьшают электропроводность примеси P, As, Al и Sn.

Механические свойства меди сравнительно невелики и существенно зависят от условий изготовления медных изделий. Так, величина механических свойств:

в литом состоянии –  $\sigma_{\text{в}} = 160 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 35 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 25 \text{ \%}$ ;

после горячекатаной обработки –  $\sigma_{\text{в}} = 240 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 95 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 45 \text{ \%}$ .

Путем холодного пластического деформирования предел прочности может быть повышен до  $450 \text{ МПа}$  при снижении относительного удлинения до  $3 \text{ \%}$ . Модуль упругости меди –  $115000 \text{ МПа}$ .

Твердость меди почти в 2 раза меньше, чем у железа.

Среди технологических свойств у меди следует отметить хорошие обрабатываемость давлением и возможность пайки. К недостаткам меди относятся усадка при литье, невысокая обрабатываемость резанием и очень плохая свариваемость.

В технической меди могут присутствовать вредные примеси, образующие с медью:

– твердые растворы – Ni, Zn, Sb и др.;

– легкоплавкие эвтектики – Pb, Bi и др.;

– хрупкие химические соединения – кислород, сера.

Наиболее опасными из них по влиянию на технологические свойства являются свинец, вызывающий краснотомкость, и висмут, вызывающий и краснотомкость, и хладнотомкость. Эти виды хрупкости объясняются тем, что примеси свинца и висмута располагаются по границам зерен.

Медь изготавливают по чистоте следующих марок М00к (не менее 99,99 % Cu), М0к (99,97 % Cu), М1к (99,95 % Cu), М2к (99,93 % Cu). В обозначении марки после буквы М (медь) указывается условный номер чистоты, а затем буквой – способ и условия получения меди: к – катодная медь; б – бескислородная медь; р – раскисленная медь; ф – медь, раскисленная фосфором. В обозначении меди марок М1 и М1р, предназначенной для электротехнической промышленности и подлежащей испытаниям на электропроводность, дополнительно включают букву Е.

Главное применение меди – производство электрических проводов. Примеси понижают электропроводность меди, поэтому в электротехнике используют сорта с суммарным содержанием примесей менее 0,1 %, такие, как М00, М0, М1. Медь является основным материалом для производства телеграфных и телефонных проводов. Медь применяется для изготовления конструкционных изделий в теплотехнике (нагреватели, радиаторы, теплообменники, холодильники и др.) и вакуумной технике. Медь применяют в виде листов, прутков, труб и проволоки.

Более 30 % меди идет на производство сплавов.

Преимуществами медных сплавов являются: хорошая электропроводность; низкий коэффициент трения; высокая пластичность; большая прочность (300...1200 МПа); коррозионная стойкость в ряде агрессивных сред; возможность термомеханической обработки.

Наиболее распространенные легирующие элементы в меди – цинк, алюминий, олово, железо, кремний, марганец, бериллий, никель. Они повышают прочностные свойства меди; наиболее сильное упрочняющее действие оказывают кремний и алюминий (при содержании более 3 % по массе). Цинк и марганец мало влияют на пластичность меди. Пластичность меди повышается при легировании до определенных концентраций алюминием, кремнием, железом. Олово занимает промежуточное положение между этими двумя группами легирующих элементов.

По способу изготовления деталей медные сплавы подразделяются на *деформируемые* и *литейные сплавы*. Из деформируемых медных сплавов изготавливают листы, ленты, трубы, полуфабрикаты различного профиля. Из литейных сплавов методом литья в формы получают фасонные детали и художественные изделия.

Упрочнение медных сплавов путем термической обработки возможно только в том случае, если легирующие элементы растворяются в меди ограниченно, при этом растворимость их уменьшается с понижением температуры; кроме того, если эти легирующие элементы образуют с медью или между собой упрочняющие фазы (CuBe, CuAl<sub>2</sub>, NiBe, Ni<sub>3</sub>Al и др.).

Твердость и прочность медных сплавов могут быть повышены в 1,5...3 раза за счет наклепа, который при необходимости может быть снят частично или полностью отжигом (600...700 °С).

Медные сплавы подразделяются на *латуни*, *бронзы* и *медно-никелевые сплавы*.

### 2.4.1.2. Латунь

**Латунями** называют двойные и многокомпонентные (добавки Al, Sn, Fe, Mn, Ni, Si, Pb и др. элементы в сумме до 10 %) сплавы на основе меди, в которых главной добавкой является цинк, причем содержание цинка может меняться до 49 %.

По химическому составу латуни подразделяются на *двойные (простые)* и *многокомпонентные (специальные)*, а по структуре – на *одно- и многофазные*. Простые латуни легируются только одним компонентом – цинком.

Медь с цинком образует твердый раствор с предельной концентрацией цинка 39 %.

Содержание в латунях цинка во многом определяет величину их механических свойств (рис. 2.6). Пока латунь имеет структуру  $\alpha$ -твердого раствора, увеличение содержания цинка вызывает повышение ее прочности и пластичности. Появление (30 % Zn)  $\beta$ -фазы сопровождается резким снижением пластичности, но прочность продолжает повышаться до увеличения содержания Zn до 45 %, пока латунь находится в двухфазном состоянии ( $\alpha+\beta$ ). Переход латуни в однофазное состояние (более 45 % Zn) со структурой  $\beta$ -фазы вызывает резкое снижение прочности.

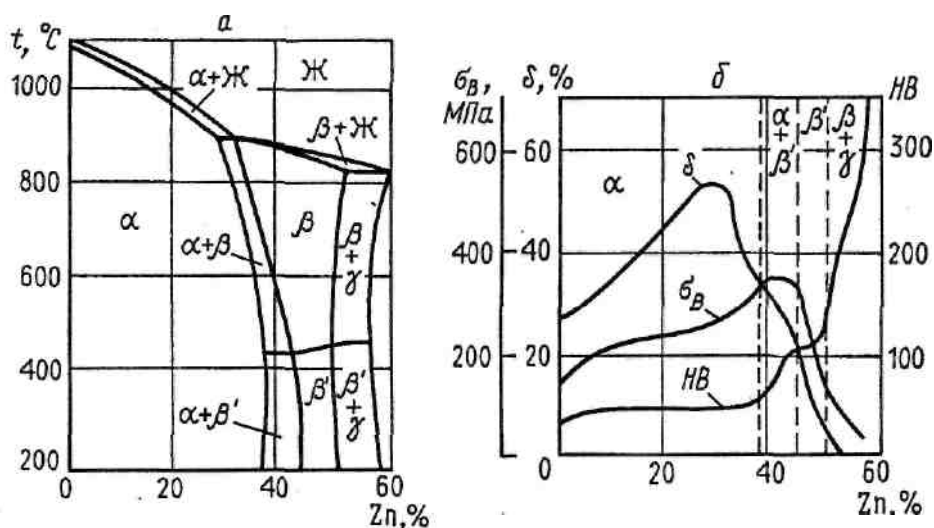


Рис. 2.6. Влияние содержания цинка на фазовый состав (а) и механические свойства (б) латуней

Простые латуни маркируются буквой «Л», следующая за ней цифра означает содержание меди. Легирующие элементы обозначаются буквами (см. табл. 2.3). В марке многокомпонентной латуни после букв следуют цифры через дефис. Первая цифра указывает среднее содержание меди, остальные – содержание соответствующих легирующих элементов в том же порядке, как и буквы, их обозначающие. Содержание цинка в наименовании марки латуни не указывается и определяется по разности. Например, в латуни ЛА85-1,5 – 85 % Cu и 1,5% Al, остальное – цинк.

Многокомпонентные латуни (ЛАЖ60-1-1, ЛЖМц59-1-1, Л062-1, Л070-1, ЛС59-1, ЛЦ40С, ЛЦ40МцЗЖ, ЛЦ30АЗ и др.) могут легироваться различными



элементами и их комплексами. Так, алюминий, кремний, никель и марганец повышают механические свойства латуней и увеличивают их коррозионную стойкость. Олово повышает коррозионную стойкость латуни в морской воде. Свинец (1...3 %) улучшает обрабатываемость латуней резанием (латуни со свинцом являются автоматными сплавами, их используют для изготовления деталей в часовой и автотракторной промышленности).

К однофазным ( $\alpha$ -латуни) относятся латуни, содержащие менее 32 % Zn. Эти латуни весьма пластичны, хорошо паяются, свариваются и обрабатываются давлением в горячем и холодном состояниях. Латуни, содержащие до 10 % Zn, называют томпаком (Л96, Л90), 10...20 % Zn – полутомпаком, 20...30 % Zn – патронными (Л80, Л85, Л70). С увеличением содержания цинка цвет латуней изменяется от красноватого до светло-желтого, повышаются предел прочности от 270 до 320 МПа и твердость от 470 до 500 НВ.

Прочность однофазной латуни может быть значительно повышена холодной пластической деформацией.

**Томпак** имеет очень хорошую пластичность и высокую коррозионную стойкость. Он применяется для изготовления радиаторных трубок, деталей конденсационно-холодильного оборудования, уплотнительных прокладок, биметалла сталь-латунь, в ювелирном деле и др. Патронные латуни используют для производства деталей электрооборудования, проволоки, гильз и др.

В двухфазных ( $\alpha+\beta$ ) латунях увеличение содержания цинка свыше 40 % приводит к росту предела прочности до 360 МПа и к повышению доли хрупкой фазы в их структуре (в  $\beta$ -фазе при 450 °С происходит упорядочение и образуется  $\beta$ -фаза) и, как следствие, это ведет к ограничению применения таких латуней в машиностроении. Двухфазные латуни марок Л68...Л59 хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, ковкой. Изделия из таких латуней (проволока, трубы, прутки, листы, ленты) изготавливаются холодной штамповкой и глубокой вытяжкой.

Все латуни по способу производства делят на две группы: *деформируемые* (например, ЛС59-1, ЛАЖ60-1-1), из которых изготавливают листы, ленты, трубы, проволоку и другие полуфабрикаты, и *литейные* (например, ЛЦ40С, ЛЦ40МцЗЖ) для *фасонного литья*. Латуни, предназначенные для фасонного литья, содержат больше присадок, улучшающих их литейные свойства.

Основным видом термической обработки латуней является смягчающий отжиг перед пластическим деформированием при 600...700 °С с медленным охлаждением. Если требуется повышение прочности и твердости для многофазных латуней, охлаждение от указанных температур проводят ускоренно.

Латуни, за исключением содержащих свинец, легко поддаются обработке давлением в холодном и горячем состояниях. Все латуни хорошо паяются твердыми и мягкими припоями. Хорошие технологические и широкий диапазон потребительских свойств, красивый цвет и сравнительная дешевизна латуни делают их наиболее распространенными медными сплавами.

При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины – «сезонное растрескивание». Это явление наблюдается, главным образом, в латунях с содержанием более 20 % Zn и отчетливо обнаружива-

ется в изделиях, полученных холодной деформацией (прутках, полых изделиях и др.). Сезонное растрескивание усиливается в химически активных средах. Образование трещин является в этом случае результатом совместного действия остаточных напряжений, вызванных холодной деформацией, и химически активными средами.

### **2.4.1.3. Бронзы**

**Бронзами** называют сплавы меди с различными элементами, среди которых олово, алюминий, кремний, бериллий, свинец и др. Конкретное наименование бронзы получают по основному легирующему элементу системы, образующей сплав, так, например, оловянные бронзы. Цинк и никель могут вводиться в бронзы как дополнительные легирующие элементы.

Фазовый состав бронз описывается диаграммами состояния двух основных элементов, например, для оловянных бронз – диаграммой Cu – Sn. Структура и свойства бронз изменяются в зависимости от скорости охлаждения кристаллизующихся сплавов, вида термической обработки и характера обработки давлением.

Примеси сурьмы, мышьяка, висмута, серы, цинка и фосфора отрицательно влияют на все виды бронз, понижая их механические и технологические свойства.

Бронзы немагнитны, коррозионно-стойки, имеют высокие коэффициенты тепло- и электропроводности, обладают антифрикционными свойствами. Для улучшения свойств их подвергают термической обработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию с целью наклепа. Отжиг проводится для снятия напряжений, устранения наклепа, получения однородной структуры; закалка от 700...750 °С без отпуска – для повышения пластичности, а с отпуском – для повышения твердости и прочности бронзы.

Большинство бронз (за исключением алюминиевых) хорошо поддаются сварке и пайке твердыми и мягкими припоями.

Бронзы маркируются буквами Бр, далее следует буквенное и цифровое обозначение содержащихся элементов (обозначение меди не указывается, а содержание определяется по разности). В марке обрабатываемых давлением бронз после Бр стоит буквенное обозначение легирующих элементов в порядке убывания их концентраций, а в конце в той же последовательности через дефис указываются концентрации соответствующих элементов. Например, БрОФ10-1 – бронза оловянно-фосфорная, содержащая 10 % Sn и 1 % P. В литейных бронзах после каждого буквенного обозначения легирующего элемента указывается его содержание.

**Оловянные бронзы.** В соответствии с диаграммой фазового равновесия Cu – Sn предельная растворимость олова в меди составляет 15,8 %.

Оловянные бронзы могут содержать до 14 % олова, с повышением содержания которого увеличивается их твердость и прочность (рис. 2.7). Практическое значение, однако, имеют бронзы, содержащие до 10 % Sn, так как увеличение содержания олова вызывает появление твердой и хрупкой δ-фазы, сни-

жающей вязкость и пластичность сплава. Из-за высокой стоимости олова чаще используют бронзы, в которых часть олова заменена цинком (или свинцом).

Дополнительное легирование осуществляют Zn, Pb, Ni и P. Фосфор (до 0,3 %) улучшает литейные свойства, а при увеличении его содержания до 1 % повышает твердость и износостойкость бронз. Свинец и цинк улучшают обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства.

Оловянные бронзы имеют следующие механические характеристики:  
в отожженном состоянии –  $\sigma_B = 300...320$  МПа,  $\delta = 30...35$  %, 60...65 НВ;  
в наклепанном –  $\sigma_B = 500...520$  МПа,  $\delta = 5$  % при 180 НВ.

Оловянные бронзы имеют высокие антифрикционные (более высокие у двухфазных сплавов) и упругие свойства, коррозионно-стойки в атмосфере и пресной воде.

Оловянные бронзы хорошо обрабатываются резанием, паяются, хуже свариваются, чем другие бронзы. Эти бронзы имеют самую низкую линейную усадку.

По способу изготовления изделий оловянные бронзы подразделяются на *литейные* и *деформируемые*.

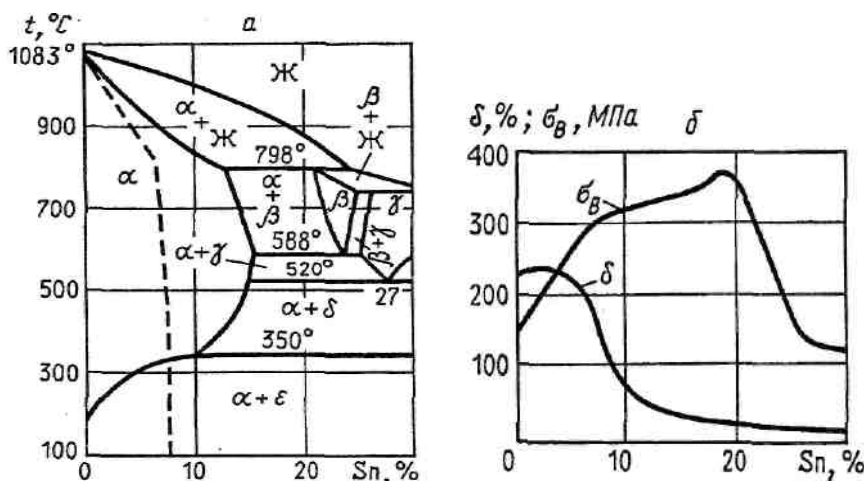


Рис. 2.7. Влияние содержания олова на фазовый состав (а) и механические свойства (б) оловянных бронз (пунктиром показан неравновесный солидус диаграммы состояния)

В машиностроении в настоящее время используют 11 марок литейных оловянных бронз. Из литейных оловянных бронз (БрОФ10-1, Бр04Ц4С17 и др.) отливаются подшипники скольжения, слитки, идущие на изготовление лент, прутков, профилей, проволоки для пружин. Оловянные бронзы применяют также для литых деталей сложной формы. Однако для арматуры котлов и подобных деталей они используются лишь при небольших давлениях пара, так как имеют значительную микропористость. Из деформируемых (БрЩЦ4-3, БрОФ8,5-0,3) оловянных бронз изготавливаются детали, выдерживающие очень высокие нагрузки: опорные шайбы, шестерни, пружины и др.

**Алюминиевые бронзы** содержат 5...11% Al. Они являются самыми распространенными дешевыми заменителями оловянных бронз и даже превосходят их по ряду свойств:

- менее склонны к ликвационным явлениям;
- обладают лучшей жидкотекучестью, обеспечивающей получение плотных отливок (без микропористости);
- характеризуются сравнительно высокими прочностными показателями, жаропрочностью, химической стойкостью (кроме перегретого пара) и др.

Отрицательным свойством алюминиевых бронз является то, что они трудно поддаются пайке твердыми и мягкими припоями.

Бронзы, содержащие до 7,4 % Al, однофазны (рис. 2.8). Они очень пластичны и используются для изготовления полуфабрикатов различного профиля. Эти бронзы стойки к истиранию. БрА5 является монетной. БрА7 предназначена для изготовления ленты, листов, а после холодной прокатки – проволоки для упругих элементов и токоведущих пружин.

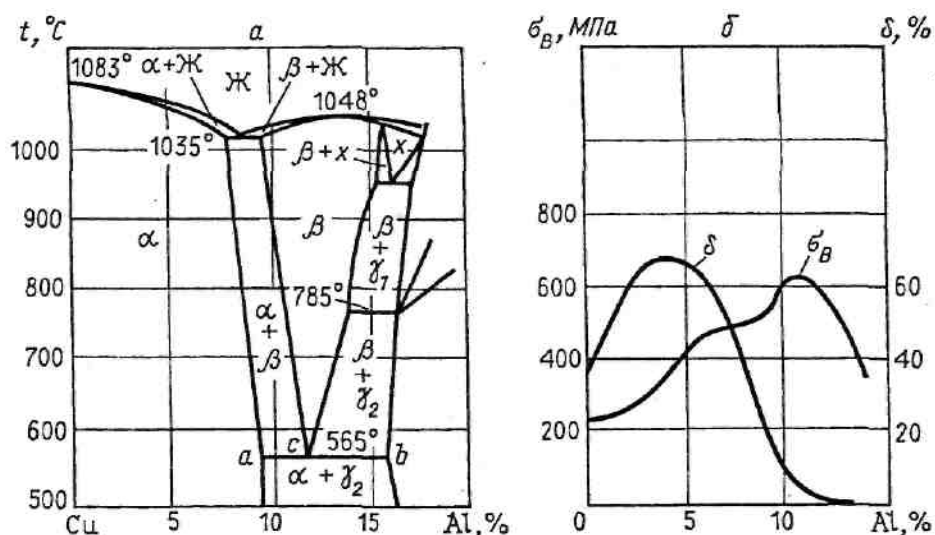


Рис. 2.8. Влияние содержания алюминия на фазовый состав (а) и механические свойства (б) алюминиевых бронз

Двухфазные алюминиевые бронзы обычно легируют. В качестве легирующих добавок в алюминиевых бронзах используют Ni, Mn и Fe. Никель повышает механические и физико-химические свойства, жаростойкость и жаропрочность до 400...500 °С, коррозионную устойчивость и температуру рекристаллизации алюминиевых бронз. Добавки марганца повышают технологические и коррозионные свойства. Алюминиевые бронзы с марганцем отличаются повышенной морозостойкостью и отлично обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии. Добавка железа, особенно в комплексе с марганцем и никелем, приводит к повышению прочности и износостойкости бронз, увеличению их коррозионной стойкости.

Из БрАЖМц10-3-1,5 изготавливают фасонные отливки, шестерни, втулки, из БрАНЖ10-4-4 – ответственные детали авиационных двигателей и турбин.

Алюминиевые бронзы со свинцом обладают повышенными антифрикционными свойствами и применяются для изготовления литых подшипников и втулок. Литейные свойства алюминиевых бронз ниже, чем свойства оловянных.

**Кремнистые бронзы.** В кремнистых бронзах содержится до 3,0 % Si. Основными легирующими элементами являются Mn и Ni. Применение кремнистых бронз ограничено только однофазными сплавами как более пластичными.

Кремнистые бронзы превосходят алюминиевые бронзы и латуни по прочности и стойкости в щелочных (в том числе, сточных) средах. Они применяются для изготовления труб и арматуры, эксплуатируемых в указанных условиях. Кремнистые бронзы, дополнительно легированные марганцем (БрКМцЗ-1), в результате сильной холодной деформации приобретают повышенные прочность и упругость и используются в виде ленты (или проволоки), а также для изготовления коррозионно-стойких пружин, втулок и других упругих элементов, являясь в машиностроении заменителем дорогостоящих оловянных и бериллиевых бронз при температурах эксплуатации до 250°C Кремнистые бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются.

**Бериллиевые бронзы** содержат 1,8...2,5 % Be. Они применяются в промышленности после упрочнения путем закалки и отпуска. Структура таких бронз (например, БрБ2) после термической обработки содержит выделения Cu Be, очень дисперсные и расположенные определенным образом внутри зерен твердого раствора. Образование высокодисперсных включений CuBe приводит к очень большому упрочнению бронз:  $\sigma_b = 1200...1300$  МПа, твердость – 350...400 НВ при снижении пластичности до 1,2...2 %. Кроме того, упрочненные бериллиевые бронзы характеризуются исключительно высокой упругостью и повышенной электропроводностью. Бериллиевые бронзы хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Недостаток бронзы БрБ2 – высокая токсичность паров бериллия, что требует соответствующей техники безопасности при плавке.

Бериллий отличает очень высокая токсичность. Попадая в легкие, он вызывает тяжелое легочное заболевание (бериллиоз). На коже бериллиевая пыль вызывает зуд, а попадая в ранки – опухоли и язвы. В атмосфере производственных помещений не допускается содержание бериллия более 0,001 мг/м<sup>3</sup>.

Основными легирующими элементами бериллиевых бронз являются Mn, Ni, Fe, Co, Ti и др. Mn вводится как заменитель бериллия для уменьшения стоимости, а Ti, Ni и др. играют роль упрочнителей, так как образуют различного рода химические соединения. Ni, Fe и Co замедляют процесс фазовых превращений, что значительно облегчает технологические процессы закалки. Ni задерживает рекристаллизацию бериллиевой бронзы и способствует получению более равномерной структуры. Введение магния в количестве 0,1 % повышает эффект дисперсионного упрочнения, но дальнейшее повышение его концентрации до 0,25 % и более приводит к значительному снижению пластичности.

Бериллиевые бронзы из-за высокой стоимости используются для особо ответственных изделий (контрольно-измерительных приборов, специальных инструментов), в качестве контактов, разъемов, штырей, а также различных упру-

гих элементов (ленты, пружины, проволоки и др.) в авиационной аппаратуре, радиотехнике, средствах связи, атомной и космической технике. Антифрикционные свойства этих бронз учитываются при изготовлении подшипников, эксплуатируемых при больших скоростях, давлениях и повышенных температурах, а также шестерен, зубчатых колес, червячных передач и др.

Важной технологической характеристикой бериллиевых бронз, в частности БрБ2, является величина коробления (деформации). Особенно нежелательна эта деформация в точных изделиях особо малой жесткости, на которые устанавливают строгие допуски по размерам. Для уменьшения величины деформации на всех приборостроительных заводах старение изделий из бериллиевых бронз проводят в специальных зажимах.

**Свинцовые бронзы** содержат 27...33 % Pb. Свинец практически не растворяется в жидкой меди, и поэтому сплавы бронз после затвердевания имеют микроструктуру, состоящую из зерен меди и эвтектики (Cu+Pb), залегающей по границам зерен меди в виде каплеобразных скоплений. Такая микроструктура бронзы обеспечивает ее высокие антифрикционные свойства.

Свинцовые бронзы (например, БрС30) обладают более высокой теплоустойчивостью, чем оловянные, и допускают нагревы до 300...320 °С. При таких температурах свинцовые включения подплавляются, и жидкий свинец выполняет функции смазочного материала, уменьшающего коэффициент трения. Недостатком сплава БрС30 является склонность к ликвации по плотности.

Свинцовые бронзы легируют оловом и никелем, которые, растворяясь в меди, повышают износостойкость бронз (БрОС8-12, БрСН60-2,5).

Невысокие механические свойства свинцовых бронз ( $\sigma_b = 60$  МПа,  $\delta = 4$  %) позволяют использовать их в технике, в основном, в качестве биметаллических подшипников. Такие подшипники отличаются простотой изготовления (бронзу наплавляют тонким слоем на стальные ленты или трубы) и возможностью замены при изнашивании.

**Биметалл** – композиционный материал из двух слоев разнородных металлов или сплавов (например, сталь и алюминий), применяемый для повышения прочности и жаростойкости конструкций, снижения их массы или как материал со специальными свойствами.

#### 2.4.2. Алюминий и сплавы на его основе

**Алюминий** – химический элемент III группы периодической системы, атомный номер 13, атомная масса 26,98154. Серебристо-белый металл с гранцентрированной кубической решеткой,  $t_{пл} = 660^\circ\text{C}$  Плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Механические свойства отожженного алюминия высокой чистоты характеризуются невысокими прочностью и твердостью при достаточно высокой пластичности:

$$\sigma_b = 50 \text{ МПа}; \sigma_{0,2} = 15 \text{ МПа}; \delta = 50 \%, \square = 35 \%; \\ E = 71000 \text{ МПа (в три раза меньше, чем стали); } 170 \text{ НВ.}$$

Прочностные свойства технического алюминия выше. Холодная пластическая деформация повышает предел прочности алюминия, но относительное удлинение снижается.

Алюминий характеризуется высокими электро- и теплопроводностью. Теплопроводность при 190 °С составляет 343 Вт/(м·К); электропроводность алюминия составляет 0,65 величины электропроводности меди.

Алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью к действию различных типов природных вод, азотной и органических кислот. Чем чище алюминий, тем выше его коррозионная стойкость. На воздухе алюминий покрывается тонкой прочной пленкой, предохраняющей металл от дальнейшего окисления и коррозии.

Среди технологических свойств у алюминия следует отметить хорошие обрабатываемость давлением, свариваемость (сваривается не всеми видами сварки), полируемость (отражательная способность до 90 %), анодируемость и сравнительно плохую обрабатываемость резанием.

Маркировка алюминия: особой чистоты – А999 (99,999 % Al); высокой чистоты – А995 (99,995 % Al), А99 (99,99 % Al), А97 (99,97 % Al), А95 (99,95 % Al) и технической чистоты – А85, А8, А7, А6, А5, А0 (99,0 % Al). В качестве примесей в алюминии присутствуют Fe, Si, Cu, Mn, Zn. Технический деформируемый алюминий маркируют АД0 и АД1.

Технический алюминий изготавливают в виде листов, профилей, прутков, проволоки и других полуфабрикатов.

По объему производства алюминий и сплавы на его основе занимают первое место среди нежелезных металлических материалов. Алюминий применяется для изготовления элементов конструкций и деталей, не несущих нагрузки, например, трубопроводов, палубных надстроек; в машино- и авиастроении; заменяет медь при производстве массивных проводников (кабелей, шин, конденсаторов и др.); в металлургии как легирующую добавку используют в сплавах Cu, Mg, Ti, Ni, Zn, Fe и др.; в пищевой и химической промышленности используется как материал для хранения и транспортировки пищевых продуктов, воды и др., а также для изготовления предметов домашнего обихода. Чистый и сверхчистый алюминий применяют в полупроводниковой технике и для получения разного рода зеркал.

**Алюминиевые сплавы.** Благодаря более высоким технологическим и потребительским свойствам шире применяются в промышленности, чем чистый или технический алюминий. Преимуществами алюминиевых сплавов являются высокие прочность  $\sigma_b$  до 600 МПа), удельная прочность ( $\sigma_b/\rho = 21$  Дж/кг), коррозионная стойкость, тепло- и электропроводность. Алюминиевые сплавы входят в группу легких сплавов (при одинаковой прочности изделия из алюминиевых сплавов в три раза легче стальных). Однако они уступают сплавам на железной основе в величине модуля упругости почти в три раза, малопригодны для упрочнения поверхностного слоя способами химико-термической обработки и их твердость и износостойкость ниже, чем стали. Некоторые из них не обладают хорошей свариваемостью.

Наибольшее применение для легирования алюминиевых сплавов находят элементы, формирующие упрочняющие фазы и зоны (Cu, Si, Mg, Mn, Zn Fe; реже – Li, Ni, Ti). Марганец одновременно повышает коррозионную стойкость, а кремний участвует в образовании эвтектики в литейных сплавах. Литий в

сплавах способствуют возрастанию их модуля упругости. Однако магний и марганец снижают тепло- и электропроводность алюминия, а железо – его коррозионную стойкость.

Характерной особенностью структуры алюминиевых сплавов является их фазовый состав, включающий твердый раствор и интерметаллидные фазы ( $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ,  $\text{Al}_3\text{Mo}$  и др.).

Алюминиевые сплавы классифицируются по составу и основным потребительским свойствам, по способу производства и по возможности упрочнения термической обработкой.

Алюминиевые сплавы по составу и потребительским свойствам делят на следующие группы:

– *сплавы высокой прочности* ( $\sigma_{\text{в}} = 400\text{...}500$  МПа у большинства сплавов и до 600 МПа у сплавов В95). Они имеют сложный химический состав; главными легирующими элементами являются медь и магний, а у сплава В95 – цинк;

– *жаропрочные сплавы*. Они используются при температурах эксплуатации до 300...350 °С (что ниже, чем у жаропрочных сталей и титановых сплавов). Эти сплавы при меньшем содержании меди дополнительно легируются никелем;

– *сплавы повышенной пластичности*. Содержание меди в них ограничивается 0,5%, и вследствие этого прочность сплавов ниже 250 МПа, а пластичность выше, чем у дуралюминов;

– *сплавы повышенной пластичности, свариваемости и стойкости против коррозии*. Они почти не содержат меди и дополнительно легируются магнием (реже марганцем);

– *антифрикционные сплавы*, представляющие собой сплавы алюминия с оловом, никелем, медью и другими элементами.

По способу производства алюминиевые сплавы делят на *литейные* и *деформируемые* (прокаткой, прессованием, штамповкой) *сплавы*.

подавляющее большинство литейных сплавов являются доэвтектическими; заэвтектические сплавы из-за охрупчивающего влияния интерметаллидов не используют. Лучшими литейными свойствами обладают эвтектические или близкие к ним по составу сплавы. Поэтому широкое распространение получили сплавы алюминия с элементами, которые образуют с ним легкоплавкие эвтектики ( $\text{Al-Si}$ ,  $\text{Al-Cu}$ ,  $\text{Al-Mg}$ ,  $\text{Al-Cu-Mn}$ ,  $\text{Al-Cu-Mn-Mg}$  и др.). Литейные сплавы, сочетающие высокую прочность и пластичность, находятся по составу несколько левее точки предельной растворимости при эвтектической температуре.

Литейные неупрочняемые термической обработкой алюминиевые сплавы классифицируют как *сплавы низкой прочности* (АЛ2) и *антифрикционные* (АСМ, А020-1, А09-2) сплавы, а *упрочняемые термической обработкой* – как *сплавы нормальной прочности, высокопрочные* (АЛ27, АЛ32) и *жаропрочные* (АЛ 19) *сплавы*.

Замена чугуна и стали литейными алюминиевыми сплавами позволяет получать значительный технико-экономический эффект за счет: снижения массы (металлоемкости) конструкций; повышения эксплуатационной надежности и



долговечности; уменьшения трудоемкости благодаря применению более точных литых заготовок, а также более легкой обрабатываемости резанием.

Для деформируемых сплавов характерна структура твердого раствора с небольшой долей эвтектики. Такие сплавы хорошо подвергаются прессованию, прокатке, гибке, вальцовке и используются для изготовления полуфабрикатов (профили, листы, проволока и др.) из слитков.

Среди деформируемых алюминиевых сплавов особое место занимает сплав 1420 системы Al-Mg-Ti-Zr, который отличается самой низкой плотностью ( $2470 \text{ кг/м}^3$ ) и обеспечивает высокую удельную прочность ( $\sigma_b / \rho = 17$ ) и снижение массы сварных конструкций до 20...25%. Сплавы типа АМг называют магнолиями. Эти сплавы занимают первое место по объему производства среди деформируемых алюминиевых сплавов, что определяют такие их качества, как высокая стойкость против коррозии и хорошая свариваемость. Перспективно его использование в автомобиле- и тракторостроении для деталей двигателей и систем распределения выхлопных газов (патрубков, фланцев и т.д.)

Деформируемые неупрочняемые термической обработкой алюминиевые сплавы определяют как *сплавы повышенной пластичности* (АМц, АМг).

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой, классифицируют по сплавам нормальной прочности (Д1, ..., Д19), высокопрочным (В95, ВАД23) сплавам, сплавам повышенной пластичности при комнатной (Д18) и повышенной (АК40) температурах и коррозионно-стойким (АД31, АД33) сплавам.

В настоящее время для алюминия и сплавов на его основе предложены буквенная, буквенно-цифровая и цифровая маркировки. Наряду с этим имеется буквенно-цифровая маркировка видов технологической обработки полуфабрикатов и изделий, качественно отражающая механические, химические и другие свойства сплава.

При буквенной маркировке алюминиевых сплавов последовательно указываются компоненты сплава – АМг, АМц.

При буквенно-цифровой маркировке можно выделить следующие закономерности:

1) для литейных алюминиевых сплавов введена единая система буквенно-цифровой маркировки, аналогичная применяемой для сталей: первая буква А показывает Al, последующие буквы – основные легирующие компоненты (К – кремний, М – медь, Мг – магний, Мц – марганец, Н – никель, Ц – цинк), числа, стоящие после букв, показывают среднее содержание данного компонента в % по массе. Если содержание компонента меньше единицы, буква, обозначающая данный компонент в марке, как правило, не указывается.

2) для деформируемых сплавов буквами в начале марки указывают: А – технический алюминий; Д – сплав типа дуралюмина; К – ковочный сплав; В – высокопрочный сплав. Цифрами обозначен условный номер сплава, после которого буквенно-цифровой маркировкой указано состояние сплава с учетом технологии его получения: М – мягкий (отожженный), Т – термически обработанный (закалка и естественное старение); Н – нагартованный (подвергнутый холодной пластической деформации); П – полунагартованный и др.

В цифровой маркировке цифра 1 на первом месте означает, что основой является алюминий. Вторая цифра характеризует химический состав, последние две цифры указывают номер сплава. В номере сплава также оговорено, что последняя цифра будет нести информацию о способе производства и назначении сплава, например:

- 0 или нечетная цифра – деформируемый сплав;
- четная цифра – литейный сплав;
- 9 – металлокерамический сплав;
- 7 – проволочный сплав.

Примеры обозначения сплавов с помощью буквенно-цифровой и цифровой маркировок приведены в табл. 2.4

К наиболее распространенным промышленным алюминиевым сплавам относятся *силумин, дуралюмины, авиаль и антифрикционные сплавы.*

Таблица 2.4

### Примеры маркировок алюминиевых сплавов

Легирующий элемент	Маркировка		Легирующий элемент	Маркировка	
	буквенно-цифровая	цифровая		буквенно-цифровая	цифровая
Al (чистый)	АД00	1010	Cu, Mg, Mn, Si	АК6	1360
Mn	АМц	1400		АК8	1380
Mg-Mn	АМг	1510	Cu, Mg, Fe, Ni, Si	АК4	1140
	АМг5	1550		АК4-1	1141
Mg – Si	АВ	1343	Zn –Mg	–	1911
Cu-Mg	Д1	1100	Zn-Mg-Cu	В95	1950
	Д16	1160		В96Ц1	1960
	ВАД1	1191	Cu-Mn	Д20	1200
	Д18	1187		-	1201

**Силумин** – легкие литейные сплавы Al (основа) с Si (4...13 %, иногда до 23 %) и некоторыми другими элементами (Cu, Mn, Mg, Zn, Ti, Be). Структура сплавов при содержании до 11,3 % Si (доэвтектические сплавы) состоит из первичных кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора (кремния в алюминии) и эвтектики ( $\alpha + Si$ ). При более высокой концентрации кремния (заэвтектические сплавы) в структуре сплавов, кроме эвтектики, присутствуют первичные кристаллы кремния в виде пластинок, причем пластинчатая форма кремния в эвтектике обуславливает низкие механические свойства силумина. В специальных модифицированных силуминах могут образоваться частицы  $CuAl_2$  и  $Mg_2Si$ . При термической обработке в результате закалки эти фазы растворяются, а после старения, выделяясь в дисперсной форме, упрочняют сплав.

Силумины используются в крупносерийном производстве мало- и средненагруженных деталей, в том числе для деталей пневмо- и гидросистем, так как обладают хорошей герметичностью благодаря узкому интервалу кристаллизации и большому количеству эвтектики. Из них изготавливают детали сложной конфигурации, например, корпуса отбойных молотков и др. К группе силуми-

нов относятся также поршневые сплавы (например, АК12М2МгН), сочетающие жаропрочность, износостойкость и размерную стабильность.

**Дуралюмины** – большая группа сплавов на основе алюминия с Cu (2,2...5,2%), Mg (0,2...2,7 %) и Mn (0,2...1 %). Дуралюмины относятся к деформируемым (ковкой, прокаткой, прессованием или волочением) и упрочняемым термической обработкой сплавов. Термическая обработка обычно состоит из отжига, закалки и естественного или искусственного старения. Длительность старения определяется величиной требуемых механических свойств.

В структуре дуралюминов после отжига присутствуют фазы:  $\alpha$ -твердый раствор (основа) и химические соединения  $Mg_2Si$ ,  $W(Al_xCu_yMg_zSi_u)$  и др., в том числе содержащие железо. Структурой сплавов после закалки является практически однофазный пересыщенный  $\alpha$ -твердый раствор. При естественном или искусственном старении в решетке  $\alpha$ -твердого раствора возникают группировки атомов, образованные атомами легирующих элементов (меди, магния, кремния), причем состав этих группировок при максимально достигаемом упрочнении близок к составу соответствующих избыточных фаз ( $Mg_2S$ , W и др.). Такие группировки называют *зонами Гинье-Престона*. Естественное старение более благоприятно для дуралюминия, так как придает ему большую коррозионную стойкость и вязкость при разрушении, то есть он менее подвержен хрупкому разрушению.

Дуралюмины применяются как конструкционный материал для авиационного и транспортного машиностроения. Для повышения стойкости против коррозии некоторые сплавы, главным образом дуралюмины, плакируют, то есть покрывают защитным слоем алюминия (что, однако, снижает прочность и износостойкость).

**Плакирование** – нанесение методом горячей прокатки или прессования на поверхность металлических листов, плит, труб, проволоки тонкого слоя другого металла или сплава (например, латунного покрытия на стальные листы).

**Авиаль** – сплав Al (основа) с добавками Mg, Si, Mn (или Cr), Cu (в сумме около 3 %). Эти алюминиевые сплавы относятся к наименее легированным. Фазой-упрочнителем является силицид  $Mg_2Si$ . Авиали подвергают закалке с 510...530°C и старению при 160...170°C в течение 10...12 ч. Авиали относятся к числу сплавов со средней прочностью, но высокими технологичностью и стойкостью против атмосферной коррозии. Они имеют красивый внешний вид после цветного анодирования. Из авиалей изготавливают кованные и штампованные детали сложной формы. Сплав АД31 широко используют в строительстве (оконные и дверные рамы), для внутренней отделки кабин самолетов и автомобилей; из сплава АВ изготавливают лонжероны лопастей винтов вертолетов.

**Антифрикционные алюминиевые сплавы** представляют собой сплавы алюминия с оловом (АО3-7, АО9-2, АО9-1, АО20-1, АО6-1), никелем (АН-2,5), медью и другими элементами (АСМ, АМСТ).

Антифрикционные алюминиевые сплавы применяются для отливки моно- и биметаллических вкладышей и втулок, для получения биметаллической ленты со сталью и дуралюмином методом прокатки с последующей штамповкой вкладышей с толщиной антифрикционного слоя менее 0,5 мм. Такие подшип-

ники применяются при нагрузке на них 200...350 (до 400) кг/мм<sup>2</sup>, скорости вращения вала 10...15 (до 20) м/с и температуре масла 100...120 °С.

*Материалы и изделия на основе алюминия.* Полуфабрикаты и изделия на основе алюминия получают путем создания конструкционно-облицовочных материалов с разнообразными защитно-декоративными полимерными, лакокрасочными, эмалевыми и электротехническими покрытиями.

**Фольгоизол** – рулонный двухслойный материал из тонкой рифленой или гладкой алюминиевой фольги, покрытой с нижней стороны защитным битумно-резиновым составом. Это долговечный материал, не требующий ухода в течение всего периода его эксплуатации. Он предназначен для устройства кровель и парогидроизоляции зданий и сооружений, герметизации стыков. Внешняя поверхность фольгоизола может быть окрашена лаками в различные цвета.

**Фольгурубероид** – гидроизоляционный материал из алюминиевой фольги, покрытый с обеих сторон битумной мастикой; выпускают двух марок, отличающихся толщиной алюминиевой фольги. Он имеет высокую прочность на разрыв и долговечность. Применяют для гидроизоляции подземных и гидротехнических сооружений.

### 2.4.3. Магний и сплавы на его основе

**Магний** – химический элемент II группы периодической системы, атомный номер 12, атомная масса 24,305; металл серебристо-белого цвета. Кристаллическая решетка магния гексагональная плотноупакованная. Температура плавления 651 °С. Плотность магния 1739 кг/м<sup>3</sup>.

Магний маркируется по его чистоте и выпускается трех марок: МГ99 (99,9 % Mg), МГ95 (99,95 % Mg), МГ96 (99,96 % Mg).

Механические свойства литого магния:

$$\sigma_b = 115 \text{ МПа}; E = 43000 \text{ МПа}; \delta = 8 \%; 30 \text{ НВ}.$$

Величина механических свойств магния может быть увеличена практически в два раза пластическим деформированием.

Чистый магний имеет малую устойчивость против коррозии. На воздухе при температуре ниже 450 °С магний покрывается оксидной пленкой, которая обладает защитными свойствами; при более высоких температурах эта пленка становится рыхлой и легко пропускает кислород к поверхности металла. На воздухе при температуре выше 623 °С магний легко воспламеняется.

Изделия из магния не изготавливают, он применяется, главным образом, в производстве легких сплавов, для раскисления и обессеривания некоторых металлов, для восстановления Hf, Ti, U, Zr и других металлов из соединений (металлотермия). Чистый магний используется в пиротехнике и химической промышленности.

#### **Магниевые сплавы**

Основное преимущество магниевых сплавов по сравнению с остальными промышленными металлами – небольшая плотность – 1700...1800 кг/м<sup>3</sup>. Все магниевые сплавы имеют сравнительно высокую прочность ( $\sigma_b = 200...400$  МПа,  $\delta = 6...20\%$ ), хорошо поглощают вибрации. Однако из-за пониженного ( $4,3 \cdot 10^4$  МПа) модуля упругости пригодны лишь для малонагруженных деталей.

Магниевого сплавы обладают низкой коррозионной стойкостью, особенно в контакте с другими металлами. Недостатком также являются трудности литья и обработки давлением. Магниевого сплавы удовлетворительно свариваются дуговой сваркой в защитной среде инертных газов и хорошо обрабатываются резанием.

По влиянию на пластичность магния легирующие элементы можно разбить на две группы:

а) элементы, уменьшающие пластичность (Mn, Si);

б) элементы, повышающие пластичность магния при их введении до определенной концентрации (Li, Zn, Al, Sc, Ce).

Максимальная прочность магниевых сплавов при комнатной температуре достигается при концентрациях легирующих элементов, близких к пределу насыщения твердых растворов при температурах их максимальной растворимости. При температурах 150...200 °С наиболее сильно повышает жаропрочные свойства магния неодим, а в несколько меньшей степени – торий. При температурах 250...300 °С, наоборот, торий обеспечивает более высокую твердость, чем неодим.

Магниевого сплавы подвергают термической обработке – диффузионному отжигу (*гомогенизации*) после литья и рекристаллизационному отжигу после пластической деформации. Некоторые сплавы могут быть упрочнены (на 20...35 %) закалкой и старением, пластичность сплавов при этом уменьшается.

**Гомогенизация** – придание однородности строения и состава металлам, сплавам, растворам, эмульсиям и др.

Магниевого сплавы классифицируют по способу производства, по прочности, по плотности, по возможным температурам эксплуатации и по чувствительности к упрочняющей термической обработке.

По способу производства магниевые сплавы делят на литейные (МЛ5, МЛ5пч, МЛ10, МЛ12) и деформируемые (МА1, МА2-1, МА14). Достоинствами магниевых литейных сплавов являются малая плотность, высокая удельная прочность, способность к поглощению энергии удара и вибрационных колебаний, а также хорошая обрабатываемость резанием.

Изделия из этих сплавов используются в различных отраслях народного хозяйства: авиастроении (детали пассажирских кресел, колес, двигателей и агрегатов); транспортном машиностроении (детали двигателей, диски колес, корпуса лодочных моторов); радиотехнической и электронной промышленности (детали оптических приборов, радио- и киноаппаратуры). Детали из современных магниевых сплавов могут длительно работать при температурах выше 300 °С и кратковременно при температуре 400 °С.

Деформируемые сплавы после литья имеют структуру  $\alpha$ -твердого раствора и избыточной фазы типа  $Mg_3Al_2$ . Использование таких сплавов дает высокую массовую эффективность: для крупных корпусных деталей экономия по массе составляет 21, 57 и 111 % по сравнению с алюминиевыми, титановыми и стальными деталями соответственно. Для снижения (на 30 %) стоимости изделий из магниевых деформируемых сплавов и повышения уровня механических свойств используют гранульную технологию изготовления полуфабрикатов.

По уровню прочности магниевые сплавы разделяют на *малопрочные, средней прочности и высокопрочные*.

По плотности магниевые сплавы делят на *легкие и сверхлегкие*. К сверхлегким сплавам относятся сплавы, легированные литием (МА21, МА18 – самые легкие конструкционные металлические материалы), а к легким сплавам – все остальные сплавы.

По чувствительности к упрочняющей термической обработке различают *термически упрочняемые и термически неупрочняемые* сплавы.

При классификации по возможным температурам эксплуатации магниевые сплавы разбивают на группы:

1) *сплавы общего назначения*, предназначенные для работы при обычных температурах;

2) *жаропрочные сплавы* – для длительной эксплуатации при температурах до 200°C;

3) *высокожаропрочные сплавы* – для длительной эксплуатации при температурах до 250...300°C;

4) *сплавы для эксплуатации при криогенных температурах*.

Магниевые сплавы используются для изготовления нагруженных и сварных деталей двигателей (коробки передач, тормозные барабаны и др.). В связи с малой устойчивостью к коррозии изделия из магниевых сплавов *оксидируются*, а затем на оксидированную поверхность наносят лакокрасочные покрытия.

**Оксидирование** – преднамеренное окисление поверхности металлических изделий, главным образом химическим или электрохимическим (*анодирование*) способом. Образующаяся окисная пленка играет защитную (*пассивирование*), технологическую (*подслой*) или декоративную (*воронение*) роли.

#### **2.4.4. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы на оловянной, свинцовой и цинковой основах**

**Антифрикционность** – способность материала обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение.

**Антифрикционные сплавы** – материалы с низким коэффициентом трения скольжения, достаточной твердостью, хорошей деформируемостью и пластичностью, способностью удерживать смазку на поверхности. Кроме того, антифрикционные материалы должны иметь низкую способность к адгезии, хорошую теплопроводность и быть коррозионно-стойкими в рабочей среде. Антифрикционные сплавы предназначены для заливки вкладышей подшипников скольжения, паровых турбин и др.

Основные потребительские свойства антифрикционных сплавов реализуются за счет структурных особенностей (рис. 2.9) – однородная, мягкая, пластичная основа с включением твердых частиц (например, SnSb). Мягкая основа должна обеспечивать хорошую прирабатываемость трущихся поверхностей, а равномерно распределенные в основе хорошо полирующиеся твердые включения – уменьшать (наряду со смазкой) коэффициент трения. При вращении вал опирается на твердые частицы, обеспечивающие износостойкость, а основная масса, истирающаяся более быстро, прирабатывается к валу и образует сеть

микроскопических каналов, по которым циркулирует смазка и уносятся продукты износа.

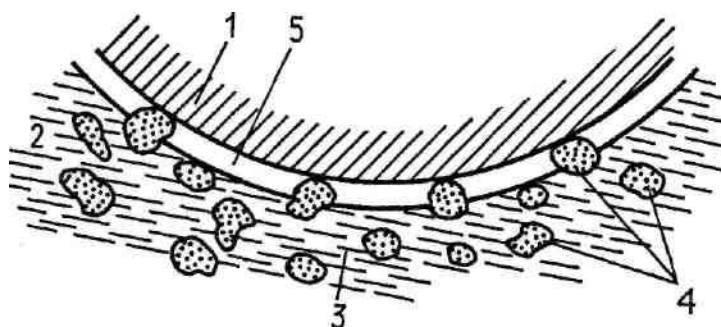


Рис. 2.9. Схемы работы пары трения вал-вкладыш:

1 – вал; 2 – вкладыш; 3 – мягкая основа материала; 4 – твердые включения; 5 – пространство, заполняемое смазкой, уменьшающей силы трения

Большая часть подшипников скольжения изготавливается из цветных сплавов на медной основе (латуни – ЛКС80-3-3 и бронзы – БрС30 и БрОЦС5-5-5) и на основе алюминия. Широкое распространение получили также *баббиты*.

**Баббиты** – антифрикционные сплавы на основе Sn, Pb, Ca, Zn и др. с добавками Sb, Си и других элементов, предназначенные для заливки вкладышей подшипников. Наименование баббитов определяется преобладающим по содержанию элементом основы.

Каждый тип баббитов характеризуется температурой эксплуатации и степенью ответственности деталей, для которых применяется.

#### **Оловянные баббиты**

**Олово** – Sn, химический элемент IV группы периодической системы элементов, атомный номер 50, атомная масса 118,69. Серебристо-белый металл, мягкий и пластичный;  $t_{пл} = 231,9$  °С. Полиморфно; так называемое белое олово (или  $\beta$ -Sn) с плотностью  $7290$  кг/м<sup>3</sup> ниже  $13,2$  °С переходит в серое олово ( $\alpha$ -Sn) с плотностью  $5850$  кг/м<sup>3</sup>. На воздухе тускнеет, покрываясь пленкой оксида, стойкого к химическим реагентам. Около 59 % используемого олова идет на производство баббитов, типографских и других сплавов. Олово идет на покрытие других металлов для защиты их от коррозии (*лужение*), на изготовление белой жести для консервных банок, изготовление фольги и др.

Оловянные баббиты базируются на системе Sn-Sb-Cu. Дополнительное легирование осуществляется Cu, Cd, As и Ni. Оловянные баббиты маркируются буквой Б, за которой следует цифра, показывающая содержание основного компонента – олова (остальное – сурьма и медь).

Структура оловянных баббитов представляет собой гетерогенную систему, образованную  $\alpha$ -твердым раствором, пронизанным длинноосными *дендритами*  $Cu_6Sn_5$ , на которых равномерно распределены твердые, хорошо полирующиеся кристаллы SnSb. В столь сложной гетерогенной структуре имеются естественные капилляры, по которым под давлением поступает смазочный материал.

**Дендриты** – структурный элемент (иногда кристаллы) древовидной формы, образующийся в результате быстрой кристаллизации по тонким трещинам или в вязкой среде.

Оловянные баббиты (Б88, Б83) обладают наилучшим сочетанием антифрикционных и физико-механических свойств. Однако ввиду большого содержания дорогостоящего олова они применяются для заливки подшипников ответственного назначения тяжело нагруженных машин (турбин).

#### **Свинцовые баббиты**

**Свинец** – Pb, химический элемент IV группы периодической системы элементов, атомный номер 82, атомная масса 207,2. Синевато-серый металл, тяжелый, мягкий, ковкий; плотность 11340 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 327,4$  °С, диамагнитен. На воздухе покрывается оксидной пленкой, стойкой к химическим воздействиям. Свинец не взаимодействует с соляной и серной кислотами. Наиболее широко используется для изготовления пластин для аккумуляторов (около 30 % выплавляемого свинца), оболочек электрических кабелей, аппаратуры, устойчивой в агрессивных средах и газах, для защиты от гамма-излучения (стенки из свинцовых кирпичей).

Свинцовые баббиты применяют для менее нагруженных подшипников, чем оловянные. Для легирования свинцовых баббитов используют Ni, Cd и As. Свинцовый баббит Б16 системы Pb – Sb (15...17 %) с добавкой олова (15...17 %) и меди (1,5...2 %) является дешевым заменителем оловянных баббитов. Он используется для изготовления подшипников скольжения высокоскоростных двигателей, хорошо воспринимает ударные и знакопеременные нагрузки.

#### **Кальциевые баббиты**

**Кальций** – Ca, химический элемент II группы периодической системы элементов, атомный номер 20, атомная масса 40,08, относится к щелочно-земельным металлам. Серебристо-белый легкий металл, плотность 1540 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 851$  °С. Химически очень активен; при обычной температуре легко окисляется на воздухе. Как активный восстановитель служит для получения U, Th, V, Cr, Zr, Be и других металлов и их соединений, для раскисления сталей, бронз и т.д. Входит в состав антифрикционных сплавов. Соединения кальция применяются в строительстве.

Кальциевые баббиты базируются на системе Ca – Pb – Na. Дополнительное легирование осуществляют Sn, Mg и Al. Эти баббиты (БКА, БК2, БК2Ш), имея небольшую прочность ( $\sigma_v = 60...120$  МПа, 20...30 НВ), могут применяться только в подшипниках с прочным стальным (чугунным) или бронзовым корпусом, например, на железнодорожном транспорте для подшипников вагонов, колесчатого вала тепловозных двигателей и др. Для автомобильного транспорта их применяют в виде тонкостенных подшипниковых вкладышей, получаемых штамповкой из биметаллической ленты.

#### **Цинковые баббиты**

**Цинк** – Zn, химический элемент II группы периодической системы элементов, атомный номер 30, атомная масса 65,38. Синевато-белый металл; плотность 7130 кг/м<sup>3</sup>,  $t_{пл} = 419,5$  °С. На воздухе покрывается защитной пленкой ок-



сида. Применяют в щелочных аккумуляторах, для покрытия других металлов для защиты их от коррозии (цинкование) и получения многих сплавов.

Для цинковых баббитов используется цинк, легированный алюминием, медью или магнием. Цинковые баббиты обладают высокими антифрикционными свойствами и прочностью ( $\sigma_b = 250...400$  МПа) и могут применяться для узлов трения, температура которых не превышает  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , при сравнительно небольших скоростях скольжения (до  $8\text{ м/с}$ ). Сплавы ЦАМ 10-5 и ЦАМ 9,5-1,5 в литом виде применяют для монометаллических вкладышей, втулок и др., а сплав ЦАМ 10-5 – для изготовления биметаллических изделий со стальным корпусом. Сплав ЦАМ 9,5-1,5 в деформированном виде используют для получения биметаллических полос со сталью и алюминиевыми сплавами.

#### 2.4.5. Припой

**Припой** – металл или сплав, заполняющий зазор между соединяемыми деталями и предназначенный для их соединения пайкой. Температура плавления припоев должна быть ниже температуры плавления материалов паяемых деталей, а в расплавленном состоянии припой должен хорошо смачивать поверхности металлов. Температурные коэффициенты линейного расширения металла и припоя должны быть близки.

**Пайка** (паяние) – процесс получения неразъемного соединения путем нагрева места пайки и заполнения зазора между соединяемыми деталями расплавленным припоем с его последующей кристаллизацией.

Припои разделяют на *низкотемпературные* ( $t_{пл} < 400\text{ }^\circ\text{C}$ ) и *высокотемпературные* ( $t_{пл} > 400\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Основные материалы низкотемпературных припоев – сплавы олова и свинца. Дополнительное легирование низкотемпературных (мягких) припоев с целью понижения температуры плавления выполняется сурьмой (до  $6\%$ ) или кадмием.

Обозначение низкотемпературных припоев (например, ПОССу 18-2) расшифровывается так: П – припой, ОС – оловянно-свинцовый, Су – легирован сурьмой, 18 и 2 – соответственно, содержание олова и сурьмы в процентах.

Низкотемпературные припои используются для лужения и пайки деталей электрорадиоаппаратуры, приборов, реле, в том числе, оцинкованных, в кабельной, электро- и радиоэлектронной промышленности, пайки белой жести, лужения и пайки деталей с закатанными и клепанными швами из латуни и меди, шпатлевки кузовов автомобилей и др.

Высокотемпературные припои выполняют на медно-латунной, медно-никелевой или серебряной основах (например, ПСр 72, где 72 – содержание серебра в  $\%$ ). Серебряные припои применяют для пайки черных и цветных металлов, кроме сплавов алюминия и магния, а припои на медной основе – для пайки углеродистых и легированных сталей, никеля и его сплавов.

Припои для высокотемпературной пайки обеспечивают более прочные соединения, чем припои для низкотемпературной пайки, так как вследствие высокой температуры нагрева легче происходит взаимная диффузия элементов ос-

нового металла и припоя. Переходное электросопротивление таких припоев ниже, чем низкотемпературных припоев.

Для высокотемпературной пайки меди и медных сплавов наиболее эффективен медно-фосфористый припой ПФОЦ7-3-2, обладающий хорошими коррозионными и прочностными свойствами. Для пайки алюминиевых сплавов применяют бессеребряный припой ВПр19. Соединения, выполненные этим припоем, после анодирования имеют окраску, одинаковую с основным материалом, что особенно важно для получения хорошего товарного вида изделий.

Бессеребряные припои по сравнению с серебросодержащими обеспечивают значительно более высокую коррозионную стойкость паяных соединений (при той же прочности), а следовательно, и их надежность.

## 2.5. Порошковые металлические материалы

**Металлические порошковые материалы (металлокерамика)** – материалы, изготавливаемые путем прессования металлических порошков в изделия необходимой формы и размеров и последующего спекания сформованных изделий в вакууме или защитной атмосфере при  $0,75...0,8 t_{пл}$ . Эти материалы могут быть получены на основе большинства применяемых в технике металлов и сплавов.

**Спекание** – соединение мелкозернистых и порошкообразных материалов в куски при повышенных температурах.

При спекании происходят сложные физико-химические процессы (восстановление поверхностных оксидов, диффузия, рекристаллизация и др.) и образуется однородный твердый раствор (рис. 2.10). Спекание позволяет получить однородный твердый раствор даже в том случае, если в равновесных условиях при плавлении использованные компоненты практически нерастворимы друг в друге.

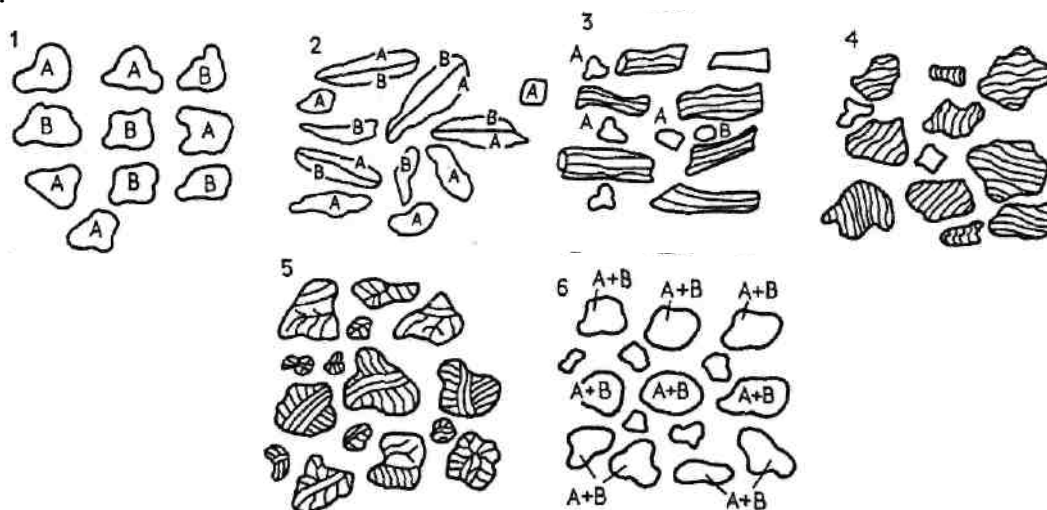


Рис. 2.10. Стадии получения металлических порошковых материалов:

- 1 – начало перемешивания элементов А и В;
- 2 – начальная стадия деформирования;
- 3 – период преимущественного спекания частиц;
- 4 – образование равноосных частиц;
- 5 – произвольная ориентация частиц при спекании;
- 6 – достижение устойчивого равновесия

В процессе получения металлических порошковых материалов после холодного прессования материалы, а также заготовки и детали из них обладают невысокой прочностью. Спекание снимает остаточные напряжения и изменяет физические свойства, улучшая механические. Однако увеличение температуры и продолжительности спекания приводят к росту зерен, что может снизить механические свойства изделия.

Порошковые металлические материалы делят на *компактные* и *пористые материалы*. Пористыми называют материалы, в которых после окончательной обработки сохраняется 10...30 % остаточной пористости.

Механические свойства изделий, полученных из металлических порошков, во многих случаях не уступают свойствам изделий, полученных обычными металлургическими методами, но сильно зависят от пористости и содержания кислорода. Увеличение пористости и содержания кислорода заметно снижает ударную вязкость и прочность изделий. Для высоконагруженных деталей порошковые стали, например, не применяются. Пористые материалы, главным образом, используются для изготовления фильтров и как антифрикционные материалы.

Для металлических порошковых материалов используют, как и для металлов, химико-термическую обработку (азотирование, хромирование, цианирование и др.), но процессы в этом случае протекают более активно ввиду наличия пористости и, следовательно, более развитой поверхности.

К достоинствам металлических порошковых материалов относят:

- увеличение коэффициента использования металла;
- повышение производительности;
- возможность получить сплавы с особыми физическими свойствами (литьем нельзя получить при требуемом химическом составе).

Недостатком металлических порошковых материалов является то, что при существующей технологии изделия из них должны быть простой симметричной формы, малых массы и размера. Конструктивные формы детали не должны содержать отверстий под углом к оси заготовки, выемок, внутренних полостей и выступов. Конструкция и форма детали должны обеспечивать возможности равномерного заполнения полости пресс-формы порошками, их уплотнения, распределения напряжений и температуры при прессовании и удаления изделий из пресс-формы.

Металлические порошковые материалы по назначению классифицируют на *конструкционные*, *инструментальные* (твердые сплавы) сплавы и сплавы *специального назначения с особыми свойствами*.

### **2.5.1. Конструкционные металлические порошковые материалы**

Конструкционные металлические порошковые материалы по назначению классифицируются на материалы:

- антифрикционные,
- фрикционные,
- жаро- и высокопрочные,

– фильтрующие (фильтры, фазоразделители, распределители газовых и жидкостных потоков, глушители звуковых и механических колебаний, огнепреградители и др.),

– капиллярно-пористые (испарители, конденсаторы, капиллярные структуры тепловых труб, капиллярные насосы и др.),

– со специальными свойствами (пористые аноды, пластины аккумуляторных батарей, заменители костной ткани, катализаторы, каталитично-диффузионные мембраны и др.).

*Антифрикционные металлические порошковые материалы* имеют низкий коэффициент трения, легко прирабатываются, выдерживают значительные нагрузки и обладают хорошей износостойкостью. Подшипники из порошковых сплавов могут работать без принудительного смазывания за счет «выпотевания» масла, находящегося в порах. К антифрикционным металлическим порошковым материалам относятся железографит и бронзографит.

**Железографит** – пористый металлический порошковый антифрикционный материал, состоящий из железа (95...98 %) и графита (2...5 %); поры железографита заполнены маслом.

Структура железографитов должна быть перлитной с массовой долей связанного углерода до 1 %. Такая структура допускает наиболее высокие скорости и нагрузки при наименьшем износе подшипников. Добавка к железографитовым материалам серы (0,8...1,0 %) или сульфидов (3,5...4 %), образующих сульфидные пленки на трущихся поверхностях, уменьшает износ и прихватываемость сопряженных деталей, улучшает прирабатываемость.

Основные потребительские свойства железографита:

$\sigma_B = 180...300$  МПа; НВ 60...120;  $k_{тр} = 0,07...0,09$  (со смазкой);  $t_3 = 100...200$  °С.

Железографиты (например, ЖГр1, ЖГр3, ЖГр7, содержащие 1...7 % графита) используются для изготовления подшипников и втулок для различных узлов машин и механизмов.

**Бронзографит** – пористый металлический порошковый материал, содержащий частицы графита (1,5...3 %), равномерно распределенные между частицами бронзы (до 9 % Sn); поры бронзографита заполнены маслом.

Бронзографит по микроструктуре представляет собой зерна твердого раствора олова в меди с включениями графита и порами, заполненными смазкой.

Основные потребительские свойства бронзографита:

$\sigma_B = 30...50$  МПа; НВ 25...50;  $k_{тр} = 0,05...0,007$  (со смазкой);  $t_3 = 200...250$  °С.

Бронзографиты (например, БрОГр10-2, БрОГр8-4) в основном используются для изготовления втулок для подшипников скольжения.

Наиболее существенной при эксплуатации изделий из антифрикционных порошковых сплавов является допустимая нагрузка; так, для железографитов она допускается до 1000...1500 МПа, а для бронзографитов – 400...500 МПа.

**Фрикционные материалы** – материалы, имеющие большой коэффициент трения и высокое сопротивление износу. Используются в тормозных устройствах.

*Фрикционные металлические порошковые материалы* по химическому составу принадлежат системе Fe – Cu. При этом основным компонентом может

быть как железо, так и медь. Фрикционные порошковые материалы имеют повышенную хрупкость и низкую прочность. Для упрочнения фрикционные материалы изготавливают в виде тонких секторов (сегментов, полос) и крепят на стальной основе.

Более высокими потребительскими свойствами обладают материалы на железной основе с добавлением, кроме меди, различных легирующих компонентов (карбиды кремния, бора, тугоплавкие оксиды и др.).

Фрикционные металлические порошковые материалы на железной основе используются для изготовления деталей тормозов, тормозных накладок и др., эксплуатирующихся без смазочного материала. Наибольшее применение получил материал ФМК-11 (15 % Cu, 9 % графита, 3 % асбеста, 3 % SiO<sub>2</sub> и 6 % барита).

Фрикционные порошковые материалы на медной основе применяются для изготовления сегментов и дисков сцепления при жидкостном трении в паре с закаленными стальными деталями и обладают следующими потребительскими свойствами: нагрузка до 400 МПа; скорость скольжения до 40 м/с;  $t_3 = 300...350$

*Жаропрочные и высокопрочные металлические порошковые материалы* изготавливают на основе никеля, алюминия, титана, хрома, а также карбидов вольфрама, молибдена, циркония и других тугоплавких металлов. Эти материалы применяются для изготовления таких деталей, химический состав которых нельзя получить литьем.

Фильтры из металлических порошковых материалов изготавливают на основе никеля, железа, титана, алюминия, а также коррозионно-стойких сталей, бронз и др. Основными потребительскими свойствами этих материалов являются пористость ( $p = 45...50$  %) и максимальный диаметр канала фильтрации ( $d_k = 2...20$  мкм). По сравнению с существующими проницаемыми материалами на органической (войлок, бумага, ткань, полимер) и неорганической (керамика, асбест, стекло) основах фильтры из металлических порошковых материалов характеризуются большей проницаемостью, прочностью, пластичностью, устойчивостью к тепловым ударам, способностью к регенерации. Они коррозионно-стойки и жаропрочны; могут работать при температурах более 1000°С.

### **2.5.2. Инструментальные металлические порошковые материалы**

*Инструментальные металлические порошковые материалы* – твердые сплавы, изготавливаемые из порошков прессованием и спеканием.

Инструментальные металлические порошковые материалы можно разделить на две группы по содержанию вольфрама и области применения: *вольфрамовую* и *безвольфрамовую*.

*Инструментальные порошковые металлические материалы вольфрамовой группы* изготавливают на основе карбидов вольфрама, титана и др. с кобальтовой связкой.

Структура инструментальных порошковых материалов вольфрамовой группы: твердые частицы карбидов вольфрама и титана (у некоторых сплавов, кроме того, карбидов тантала), связанные мягкой эвтектикой. С увеличением

содержания кобальта снижаются твердость и износостойкость, но возрастает прочность.

По природе карбидных частиц материалы вольфрамовой группы изготавливают как:

- 1) вольфрамовые (ВК3, ВК6, ВК8, ВК10);
- 2) титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12);
- 3) титанотанталовольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8-Б, ТТ20К9).

Потребительские свойства инструментальных металлических порошковых материалов вольфрамовой группы по твердости (HRA 73...75), величине модуля Юнга ( $E = 500000$  МПа) и температуре эксплуатации ( $t_s = 620...720$  °С) превосходят аналогичные показатели быстрорежущих сталей, однако уступают им по показателям прочности ( $\sigma_b = 900...1000$  МПа,  $\sigma_{изг.} = 1400...1650$  МПа).

В марках таких материалов первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав (ВК – вольфрамовая, Т – титановольфрамовая, ТТ – титанотанталовольфрамовая); цифры в вольфрамовой группе – количество кобальта; первые цифры в титановольфрамовой группе – количество карбида титана, а вторые – количество кобальта; первые цифры в титанотанталовольфрамовой группе – количество карбидов титана и тантала, а вторые – количество кобальта. В марках после тире может быть указана крупность порошков: ОМ – особо мелкие порошки; М – мелкие порошки; В – крупнозернистый карбид вольфрама; ВК – особо крупный карбид вольфрама.

Инструменты из металлических порошковых материалов используются для чистовой и черновой обработки труднообрабатываемых материалов, бурения скальных пород и др. с собственными показателями HRC 65...69. Получаемая чистота обрабатываемой поверхности из-за высокой жесткости порошковых материалов лучше, чем после резания инструментами из быстрорежущих сталей. Стойкость режущего инструмента из порошковых сталей по сравнению со стойкостью инструмента из аналогичных литых сталей в 1,2...2 раза выше.

*Инструментальные металлические порошковые материалы второй группы (безвольфрамовые)* изготавливают на основе карбида титана TiC (сплав ТН-20) или карбонитрида титана Ti(NC) (сплав КНТ-16) с Ni и Mo. Никель и молибден образуют связывающую матрицу. Безвольфрамовые материалы, обладая более низкими, чем вольфрамовые материалы, потребительскими свойствами, используются для изготовления инструментов для обработки сталей и цветных металлов и бурения менее прочных горных пород.

Технологическим недостатком инструментальных металлических порошковых материалов является невозможность обработки их резанием, так как они не поддаются термической обработке и не изменяют своей твердости. Таким образом, изделия из твердых сплавов с учетом технологии их изготовления делают только простой формы (короткие сверла) или в виде пластин-накладок, закрепляемых в режущем инструменте или штампе. На рабочие поверхности многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) нередко наносят тонкие износостойкие карбидные (TiC) или нитридные (TiN) покрытия, повышающие срок службы инструмента в 3...4 раза.

## 2.6. Обработка металлов давлением

Обработкой металлов давлением называют процесс получения изделий, основанный на использовании пластических свойств металлов и их сплавов. При обработке давлением наряду с изменением формы изменяется строение исходного металла (сплава) и его физико-химические и механические свойства.

**Обработка металлов давлением** – высокопроизводительный процесс, позволяющий получать изделия с весьма точными размерами, хорошей чистотой поверхностью малыми отходами металла и более высокими механическими свойствами по сравнению с отливками. К способам обработки металлов давлением относят прокатку, волочение, прессование, ковку и штамповку. Обработку давлением подвергают слитки, сортовой прокат и листы, изготовленные из стали, алюминиевых, магниевых, медных и других сплавов.

Заготовки перед обработкой давлением нагревают, до повышения пластичности металла, в результате его сопротивление деформации уменьшается в 10...15 раз по сравнению с холодным состоянием. При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше чем при холодной. Это позволяет снизить стоимость изготавливаемых изделий. Для каждого металла и сплава температура горячей обработки имеет свои верхний и нижний пределы, образующие область нагрева, называемую **температурным интервалом обработки**.

В процессе горячей обработки давлением происходит образование мелких зерен, уменьшаются или уничтожаются пороки литого металла (например, завариваются неровные раковины, пустоты с неокисленными поверхностями), кристаллы стали вытягиваются и ориентируются в направлении течения металла, создается волокнистая макроструктура, вследствие чего механические свойства стали вдоль волокон становятся выше, чем поперек волокон. Это свойство используют при изготовлении деталей; заготовку деформируют так, чтобы направление возникающих в детали максимальных растягивающих напряжений совпадало с направлением волокон, причем волокна должны огибать контур изделий и не должны пересекать их.

Для нагрева заготовок применяют пламенные и электрические печи. Пламенные печи работают на твердом, жидком и газообразном топливе. В них нагревают как мелкие, так и крупные заготовки. По характеру распределения температуры в рабочем пространстве печи делятся на камерные (температура во всем рабочем пространстве одинакова) и методические (температура в рабочем пространстве повышается от загрузочного окна к окну выдачи нагретых заготовок). В пламенных печах заготовки соприкасаются с продуктами горения, поэтому металл угорает. Для исключения или уменьшения образования окалины применяют безокислительный нагрев металла в расплавленных солях, в среде защитных газов, в муфельных печах, защищают поверхность заготовки специальными покрытиями из стекла, оксида лития.

Электрические печи сопротивления имеют металлические или карборундовые элементы сопротивления, которые подключают к электрической сети. Печи чаще применяют для нагревания цветных металлов и сплавов, имеющих

невысокую температуру начала обработки давлением. В таких печах температуру можно регулировать.

**Прокаткой** называется процесс обработки металла между вращающимися валками прокатного стана. Металл при прокатке движется благодаря трению между поверхностями валков и металла со скоростью до 50 м/с. Прокатное производство металлургического завода представляет собой сложный технологический процесс, который делится на четыре основных передела: подготовка слитка к прокатке, получение полупродукта, получение готовых изделий и охлаждение, резка и правка проката.

Для получения прокатных изделий исходным материалом служат слитки или литые заготовки, поступающие с установок непрерывной разливки. Слитки бывают различной формы, размеров и массы. Для достижения высокой производительности станов готового проката слитки металла массой до 28 т предварительно обжимают и придают им необходимую форму. Слитки квадратного профиля называются **блюдами** и обжимаются на блюмингах; слитки прямоугольного профиля называются **слябами** и обжимаются на слябингах. Полупродукт в виде блюмов используется для получения сортового проката (рис. 2.11), а слябы – для получения листа.

Готовый продукт получается на сортовых станах горячего и холодного проката. Рельсобалочные станы предназначены для получения из блюмов рельсов, балок, швеллеров и других крупных профилей; сортовые станы – для изготовления сортового проката простого и фасонного профилей; проволочные станы – для прокатки проволоки диаметром 5...10 мм; листопрокатные станы – для производства листа; трубопрокатные станы – для получения бесшовных труб и т. д. При производстве прокатных изделий заготовка, проходя через ряд специальных установок, приобретает заданную форму. Например, для получения круга последовательно меняют сечение заготовки: квадрат – овал – круг.

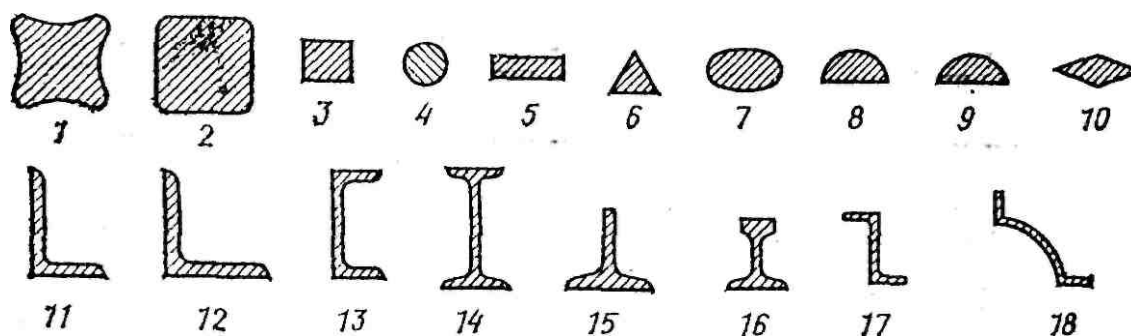


Рис. 2.11. Некоторые виды профилей проката

- 1 – блюмс; сталь; 2 – квадратная с закругленными углами; 3 – квадратная; 4 – круглая; 5 – полосовая; 6 – треугольная; 7 – овальная; 8 – полукруглая; 9 – сегментовая; 10 – ромбовидная; 11 – неравнобокая угловая; 12 – равнобокая угловая; 13 – швеллер; 14 – двутавровая балка; 15 – тавровая сталь; 16 – рельс; 17 – зетовая сталь; 18 – колонная (квадратная) сталь

Особое место в прокатном производстве занимает холодная прокатка стали для получения листов и лент высокой прочности с хорошим качеством поверх-



ности. Технологический процесс холодной прокатки состоит из термической обработки заготовки, холодной прокатки, термической обработки готового листа.

В последние годы большое распространение получает изготовление фасонных гнутых профилей на непрерывных профилегибочных станах. Тонкостенные, легкие, сложной конфигурации, обеспечивающие наилучшую работу конструкции, фасонные профили находят применение в автомобилестроении, авиастроении, строительстве и т.п. Замена проката гнутыми профилями весьма экономична как по рациональности форм, так и по расходу металла.

**Волочение** – процесс обработки металлов давлением с протаскиванием заготовки через отверстие матрицы, сечение которого меньше исходного сечения заготовки. В результате волочения получают, изделие с постоянным сечением по всей длине. При волочении за счет уменьшения поперечного сечения заготовки увеличивается ее длина. Волочение производят на волочильных станах, которые по принципу работы подразделяются на две группы: 1) с прямолинейным движением тянущих устройств (цепные, реечные, винтовые); 2) с круговым движением протягиваемого металла (барабанные). Волочильный стан состоит из двух основных частей: матрицы (волоки) и тянущего устройства. Через фильеру при помощи тянущего устройства протягивается заготовка.

На станах с прямолинейным движением изготавливают прутки, профили и трубы. На станах с круговым движением производят волочение проволоки и труб малого диаметра с одновременным наматыванием их на барабаны в бухты. Волочильные, прямолинейные станы бывают однопрутковые и многопрутковые, когда одновременно происходит волочение нескольких прутков.

Барабанные станы делятся на станы однократного волочения, где заготовка проходит одну фильеру, и многократного волочения, где заготовка проходит последовательно через несколько фильер (2...15 и более) с уменьшающимся сечением отверстий. На станах однократного волочения, в основном, изготавливают толстую проволоку диаметром 0,4...8 мм; на станах многократного волочения – проволоку меньшего сечения.

**Ковка** заключается в получении детали из нагретой заготовки путем деформирования ее ударными нагрузками, передаваемыми молотом; или статическими нагрузками путем нажатия пресса. Полученная деталь называется поковкой.

**Штамповкой** называют процесс деформации металла в штампах. Различают объемную и листовую штамповку. При объемной штамповке предварительно нагретую заготовку деформируют в замкнутой полости штампа, форма и размеры которой определяют форму и размеры получаемой поковки. Горячую объемную штамповку производят на молотах, прессах или горизонтально-ковочных машинах. Листовая штамповка – деформация в холодном состоянии листовой исходной заготовки в штампе, имеющем матрицы с прижимным кольцом и пуансон. Этот вид штамповки проводят на специальных штамповочных прессах. Штамповкой изготавливают закладные детали для сборного железобетона, корпуса оборудования и машин.

## 2.7. Сварка металлов

*Сваркой* называют процесс получения неразъемных соединений металлических изделий с применением местного нагрева. Металлические части в местах соединения нагреваются до плавления или до пластического состояния. Сваркой достигается резкое снижение трудоемкости, ускорение процесса производства работ при изготовлении конструкций. В настоящее время в нашей стране до 90 % металлоконструкций изготавливаются сварными.

Свариваемость металлов неодинакова и зависит от их физических свойств, методов и режимов, применяемых при сварке. Повышенное количество углерода и растворенных газов приводит к пористости в месте сварки, так как углерод, соединяясь с кислородом, образует газообразные продукты. Лучше всего свариваются малоуглеродистые стали ( $C < 0,2\%$ ). Стали с содержанием углерода более 0,4 % при сварке необходимо предварительно подогреть с последующим отжигом. Ухудшает свариваемость перегрев металла вследствие образования игольчатой структуры, которая снижает прочность и повышает хрупкость сварного шва.

В результате разогрева вблизи зоны сварки образуется зона термического влияния, в которой меняется структура металла. Размеры зоны термического влияния зависят от вида сварки, качества электродов; при газовой сварке она может достигать 20...25 мм, а при электродуговой 2...8 мм. В малоуглеродистых сталях металл в зоне термического влияния не меняет механических свойств, но в некоторых сталях в результате резкого охлаждения могут появиться закалочные структуры и трещины.

При сварке легированных сталей нельзя допускать перегрева, так как может произойти выгорание специальных элементов, выделение карбидов, самозакаливаемость сварной зоны, могут появиться усадочные трещины. Трудность сварки чугуна является следствием повышенного содержания углерода и невысокой его пластичности. Сварка чугуна производится, как правило, с подогревом до 600...700 °С, чтобы устранить внутренние напряжения и предотвратить образование трещин рядом со сварным швом.

В зависимости от вида энергии, используемой для нагрева металла, различают химическую (газовую, термическую) и электрическую (дуговую, контактную) сварки. Металл при сварке может доводиться до жидкого или пластического состояния. В зависимости от способа подачи присадочного металла и флюсов к месту сварки. Различают ручной, полуавтоматический и автоматический способы сварки.

Наиболее распространены *электродуговая* сварка плавлением с применением металлического электрода и *электродоткосная* сварка. *Газовую* сварку применяют для сварки чугуна, цветных металлов и стальных деталей малой толщины.

*Электродуговая сварка* основана на использовании теплоты от электрической дуги, возникающей между двумя проводниками (электродами) при пропускании электрического тока. При применении переменного тока расход энергии меньше, чем при постоянном, оборудование проще и дешевле. При посто-

янном токе горение дуги более стабильно, чем при переменном токе. Устойчивость дуги при переменном токе можно увеличить повышением напряжения, увеличением частоты и применением специальной обмазки на электродах. Можно создавать дугу также между двумя электродами вблизи свариваемого изделия и расплавлять металл и электрод.

При электродуговой сварке одним полюсом, как правило, является свариваемая деталь, а другим – угольный или металлический электрод (рис. 2.12). В случае применения угольного электрода (рис. 2.12, а) необходим присадочный металл, для чего расплавляют специальный пруток, а при металлическом электроде (рис. 2.12, б) расплавляется электрод.

Температура электрической дуги зависит от электродов: для металлических она составляет 2400...2600°С, угольных 3800...3900°С. В центре дуги по ее оси температура достигает 7000°С. Полезно используется только 60...70% теплоты. Для зажигания дуги электрод замыкается на изделие. При сварке металлическим электродом его конец и свариваемое изделие расплавляются, капли металла электрода стекают, заполняют сварной шов и удерживаются на нем силами поверхностного натяжения. Расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла при переменном токе меньше (3...4 кВт·ч/кг), чем при постоянном токе (6...10 кВт·ч/кг).

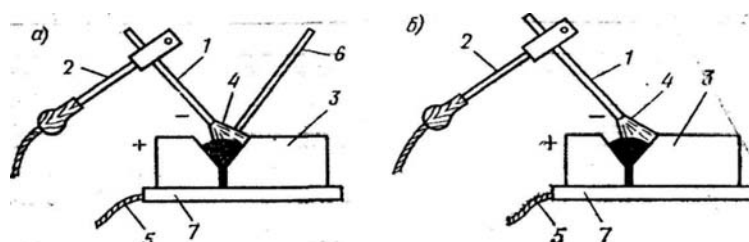


Рис. 2.12. Схема дуговой электросварки

а – способ Н.Н. Бенардоса; б - способ Н.Г. Славянова; 1 – электрод; 2 – держатель; 3 – свариваемая деталь; 4 – электрическая дуга; 5 – гибкий провод; 6 – присадочный металл; 7 – плита

Электроды могут быть плавящимися (стальными, чугунными, алюминиевыми) и неплавящимися (угольными, вольфрамовыми). В зависимости от толщины свариваемого металла электроды применяются диаметром 1...12 мм и длиной 300...450 мм. Качество электродов зависит от марки применяемого металла и вида обмазки. На электроды наносят различного вида обмазки для повышения устойчивости горения электрической дуги путем ионизации воздушного промежутка, создания вокруг расплавленного металла и дуги защитного слоя из газов и шлака, необходимого для защиты металла от окисления и азотирования, а также обеспечивающего раскисление металла и уменьшение скорости его охлаждения.

В случае необходимости сварки металла толщиной 100...120 мм и более за один проход используют *электрошлаковую сварку*. Такая сварка происходит за счет теплоты, выделяющейся при прохождении электрического тока через расплавленный флюс (шлак), нагретый до температуры, превышающей температуру плавления свариваемого металла.

Электродуговая сварка под водой достигается применением специального электрода с толстой водонепроницаемой обмазкой, плавящейся медленнее этого электрода. Обмазка обеспечивает устойчивость горения дуги под водой из-за образования газового пузыря. В состав обмазки входят железный сурик, мел, титановая руда, полевой шпат, растворимое стекло.

**Электроконтактная сварка** основана на нагревании места сварки электрическим током высокой плотности (десятки и сотни тысяч ампер) с одновременным сдавливанием деталей для облегчения взаимного проникновения атомов свариваемых металлов. Преимуществом электроконтактной сварки перед другими видами сварки является возможность полной механизации и автоматизации. Высокая плотность тока и незначительное напряжение (0,5...10 В) создают в месте контакта быстрый нагрев до плавления. Схемы различных видов электроконтактной сварки показаны на рис. 2.13.

**Стыковая контактная сварка** обеспечивает соединение отдельных металлических частей деталей по всей поверхности соприкосновения. Качество стыковой контактной сварки определяется выбором правильного режима электрической мощностью (5...15 кВт на  $1 \text{ см}^2$ ), длительностью сварки (4...40 с при стальных стержнях, диаметром 6...50 мм), скоростью оплавления, давлением осадки.

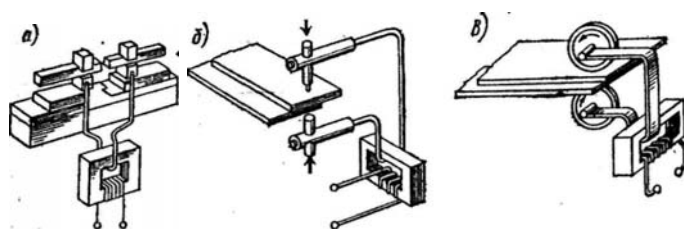


Рис. 2.13. Схема различных видов контактной сварки  
а – стыковая; б – точечная; в – роликовая

**Точечная сварка** – самый распространенный вид электроконтактной сварки. Она применяется при соединении деталей в отдельных местах в виде небольших площадок (точек). Необходимая для разогревания теплота создается электрическим током, подводимым медными электродами, между которыми помещается и зажимается свариваемая деталь. Точечная сварка широко используется при сваривании пересечений арматуры для железобетонных конструкций, прокатных и штампованных профилей сортовой стали малой толщины. Качество сварки достигается правильным выбором длительности нагрева (от десятых до тысячных долей секунды), давления между электродами во время нагрева и после него, диаметр медного электрода и других факторов. Для точечной сварки выпускаются автоматические и неавтоматические машины; их мощность зависит от толщины свариваемых изделий.

**Шовная или роликовая сварка** позволяет делать соединение листового металла непрерывным швом. При шовной сварке применяются электроды в виде роликов (диаметр 40...350 мм, ширина обода 4...6мм). Этот вид сварки по типу применяемых машин и по приемам не отличается от точечной. Режим шовной сварки определяется шагом образующих шов точек (1,4...4,5 мм), уси-

лием приложенным к роликам, диаметром роликов, силой сварочного тока, скоростью сварки. При непрерывной роликовой сварке металл и электроды сильно нагреваются, поэтому более распространенной является сварка с чередующимся кратковременным включением и выключением электрического тока, но непрерывным перемещением детали.

**Газовая сварка** основана на получении необходимой теплоты для расплавления свариваемых деталей за счет химической реакции горения газов (ацетилен, водорода, бутана, природного газа, паров бензина, керосина и т.п.). Наиболее широко в практике применяют газ ацетилен. Ацетилен к месту сварки доставляют в баллонах под давлением 1,6...2,2 МПа, которое снижается до рабочего давления редуктором. Ацетилен может быть получен и на месте потребления в специальных генераторах путем воздействия воды на карбид кальция. При соотношении кислорода к ацетилену 1,1 : 1,2 достигается температура горения 3100°C. Изменение соотношения кислорода и ацетилена приводит к нарушению нормального горения: при избытке кислорода пламя становится окислительным, а при избытке ацетилена сварочное пламя насыщается раскаленными частичками углерода и температура резко снижается.

Ацетилен и кислород смешиваются в специальной горелке, на выходе из которой происходит горение. Наибольшее распространение получили горелки инжекторного типа, в которых струя кислорода при выходе из горелки создает разрежение, благодаря чему и происходит принудительное засасывание ацетилена. В зависимости от толщины свариваемого металла наконечники и горелки меняются.

При газовой сварке для создания сварочного шва вводят присадочные прутки. Такие прутки должны иметь химический состав, близкий к составу свариваемого металла. Для повышения производительности сварки и улучшения качества шва применяют многопламенные горелки с несколькими мундштуками.

Для соединения трубопроводов, рельсов, инструмента и т.д. применяют **газопрессовую сварку**, при которой детали нагревают многопламенными горелками до перехода металла в пластичное состояние или до оплавления, а затем сваривают при сильном обжатии деталей.

## 2.8. Защита металлов от коррозии

### 2.8.1. Виды коррозии

**Коррозия** – процесс химического или электрохимического разрушения металлов под действием окружающей среды. Установлено, что от коррозии ежегодно теряется безвозвратно около 10 % всех производимых металлов.

**Химическая коррозия** происходит в результате окислительного и восстановительного процессов, протекающих одновременно. Химическое взаимодействие металлов с внешней средой состоит в основном из окисления (с образованием окалины), диффузии атомов (ионов) металла сквозь оксидные пленки и встречного перемещения атомов (ионов) кислорода к металлу. Химическая коррозия возможна в любой внешней среде, но наблюдается, главным образом,

в воздухе при высокой температуре, в жидких неэлектролитах (нефти, бензине, керосине, расплавленной сере). Химическая коррозия в газообразной среде при высокой температуре называется также *газовой коррозией*.

**Электрохимическая коррозия** – наиболее распространенный вид коррозии металлов. Она происходит при взаимодействии металлов с жидкими электролитами (водой, водными растворами солей, кислот, щелочей, расплавами солей и щелочей). При соприкосновении металла с водными растворами между ними начинается взаимодействие, так как катионы металлов, находящиеся на поверхности кристаллических решеток, не удерживаются и переходят в окружающую среду. В сухом газе катионы поверхность покинуть не могут. Металл, потерявший положительный заряд, заряжается отрицательно оставшимися электронами, а слой раствора, прилегающий к металлу, заряжается положительно – возникает скачок потенциала. Этот процесс постепенно доходит до получения определенного значения потенциала, и затем растворение металла прекращается. В случае нарушения равновесия, связанного с перемещением электронов, процесс коррозии продолжается.

Установлен ряд напряжений для различных элементов (табл. 2.5), согласно которому при контакте двух металлов всегда разрушается более электроотрицательный металл. Например, при контакте цинка с железом разрушается цинк. Коррозии способствуют неоднородности металла, при этом образуются микропары. Например, в перлите феррит более электроотрицателен, чем цементит, феррит и будет разрушаться в соответствующих условиях.

Таблица 2.5

**Значение потенциалов металлов**

Элемент	Нормальный потенциал по отношению к водороду	Элемент	Нормальный потенциал по отношению к водороду
Натрий	-2,71	Никель	-0,23
Бериллий	-1,96	Олово	-0,136
Магний	-1,55	Свинец	-0,127
Алюминий	-1,3	Водород	-0,0
Марганец	-1,1	Сурьма	+0,2
Цинк	-0,762	Висмут	+0,226
Хром	-0,51	Медь	+0,344
Железо	-0,439	Ртуть	+0,799
Кадмий	-0,402	Серебро	+0,799
Кобальт	-0,27	Золото	+1,29

На скорость растворения металла в электролите влияют примеси, способы обработки, концентрация электролитов. Металл, находящийся под нагрузкой, корродирует значительно быстрее ненагруженного, так как нарушается целостность защитной пленки и образуются микротрещины. Активному протеканию процесса коррозии способствуют углекислый, в особенности, сернистый газы, хлористый водород, различные соли.

## 2.8.2. Защита металлов от коррозии

Защиту от коррозии следует начинать правильным подбором химического состава и структуры металла. На практике для защиты металла от коррозии применяют *легирующие* и *защитные покрытия*.

Легирующие элементы образуют с основным металлом сплавы, твердые растворы, которые повышают коррозиестойкость металла. Незначительная добавка меди и хрома (менее 1 %) значительно повышает сопротивление стали коррозии, а введением до 20 % различных легирующих добавок можно получить нержавеющие стали.

К числу мероприятий по борьбе с коррозией металла относятся:

1) очистка металлов от примесей, ускоряющих коррозионные процессы (удаление серы из железных сплавов);

2) легирование элементами, которые переводят металл в пассивное состояние (например, стандартный электродный потенциал углеродистой стали при введении 12,6% хрома изменяется с  $-0,6$  В до  $+1,8$  В, и сталь становится устойчивой к коррозии не только в сухих газовых средах, но и в атмосфере, воде и многих промышленных средах, содержащих кислород и другие окислители);

3) нанесение на изделия защитных покрытий.

Защиту от коррозии следует начинать правильным подбором химического состава и структуры металла. Однако наибольшее распространение в практике для защиты металла от коррозии получили легирование и *защитные покрытия*.

Защитные покрытия (пленки) могут быть *металлическими*, *оксидными*, *битумными*, *полимерными*, *лакокрасочными*, *стеклоэмалевыми*, *бетонными* и др.

Металлические покрытия представляют собой механическую (катодное покрытие) или электрохимическую (анодное покрытие) защиту.

**Катодное покрытие** – это покрытие металлом, который более электроположителен, чем основной (лужение железа оловом). Разрушение основного металла может произойти только в том случае, если на покрытии образуется трещина или отверстие, и пленка уже не будет механически защищать металл.

**Анодное покрытие** – это покрытие более электроотрицательным металлом, чем основной (например, *цинкование* и *хромирование* стали). В случае повреждения электрохимическое растворение металла покрытия препятствует коррозии основного металла.

Наносить катодное и анодное покрытие можно методом погружения детали в расплавленный металл, температура плавления которого ниже температуры плавления детали. Более универсальный метод покрытия – гальванический, основанный на электролитическом осаждении металлических осадков из растворов солей, причем основной металл является катодом, осажденный металл – анодом.

При **оксидировании** естественную оксидную пленку всегда имеющуюся на металле, делают более прочной путем ее обработки сильным окислителем, например, водным раствором  $\text{NaOH} + \text{NaNO}_3$  при  $125 \dots 140$  °С в течение  $40 \dots 60$  мин. Изделие, покрытое оксидной пленкой толщиной  $2 \dots 5$  мкм, окрашивается в

сине-черный цвет. **Воронение** – частный случай оксидирования. При воронении в поверхности также создается оксидная пленка, но более сложными приемами, связанными с многократной термической обработкой при 300...400 °С в присутствии древесного угля.

**Фосфатирование** – состоит в получении на изделии поверхностной пленки из нерастворимых солей железа или марганца в результате обработки металла фосфатами железа или марганца.

**Плакирование** – наложение на основной металл тонкого слоя защитного металла (биметалла) и закрепление его путем горячей прокатки (например, на железомедный сплав, на дуралюминий чистый алюминий).

**Металлизация** – покрытие поверхности, детали расплавленным металлом, распыленным сжатым воздухом. Преимущество этого метода защиты металла в том, что покрывать расплавом можно уже собранные конструкции, а недостаток заключается в том, что получается шероховатая поверхность.

**Лакокрасочные покрытия** основаны на механической защите металла пленкой из различных красок и лаков.

При временной защите металлических изделий от коррозии (транспортировании, складировании) используют для покрытия металла невысыхающие масла (технический вазелин, лак этиноль), а также **ингибиторы** – вещества, замедляющие протекание коррозии. Из ингибиторов наиболее распространен нитрит натрия.

Ванны, раковины, декоративные изделия для защиты от коррозии покрывают эмалью, т.е. наплавляют на металл при 750...800°С различные комбинации силикатов (кварц, полевопшпат, буру, глину и др.).

## 2.9. Металл для крепления горных выработок

Металл является одним из наиболее совершенных крепежных материалов, так как обладает высокой прочностью, возможностью многократного использования, долговечностью, огнестойкостью, значительной деформируемостью без потери несущей способности, высоким коэффициентом конструктивного качества, хорошо поддается обработке. Сталь является упруго-пластическим материалом, поэтому металлические крепи могут претерпевать пластические деформации без потери несущей способности. После выправления деформированных элементов металлическая крепь может быть повторно использована для крепления горных выработок. Недостатком металла как крепежного материала являются подверженность его коррозии, которая сильно проявляется в подземных условиях, и более высокая по сравнению с крепежным лесом стоимость.

Для крепи применяют чугунное и стальное литье, прокатную сталь различных профилей и типоразмеров, сортовую сталь, а также готовые металлические изделия (метизы). Все сорта металлов и метизов, применяемые в качестве крепежного материала, должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов. Чугунное и стальное литье применяют в основном для тубингов (ребристые сегменты кольцевой крепи), башмаков, фигурных накладок и других элементов крепи.



Для изготовления металлических рамных крепей применяется преимущественно специальный желобчатый шахтный профиль проката (балки) СВП (специальный взаимозаменяемый профиль) из горячекатаной стали марки Ст5 следующих типоразмеров: 14, 17, 19, 22, 27, 33 кг/м (рис. 2.14).

Кроме указанных специальных шахтных профилей проката, при изготовлении металлических крепей применяются в меньших объемах профили проката общего назначения – двутавровые балки, швеллеры, рельсы, угловая равнобокая сталь и др.

Специальные шахтные профили проката, обладая примерно одинаковыми моментами сопротивления относительно обеих главных осей, более полно, чем профили общего назначения (двутавр, швеллер), отвечают условиям нагружения крепей в горных выработках и поэтому получили широкое применение на шахтах для крепления капитальных и подготовительных горных выработок.

Профили проката общего назначения изготавливаются из стали марки Ст3, специальные шахтные профили – из стали марки Ст5 и в последнее время из низколегированных сталей 20Г2АФ, 36Г2С и некоторых других марок.

Для армирования обычных и предварительно напряженных элементов железобетонных крепей горных выработок применяется горячекатаная гладкого и периодического профиля сталь и стальная проволока периодического профиля.

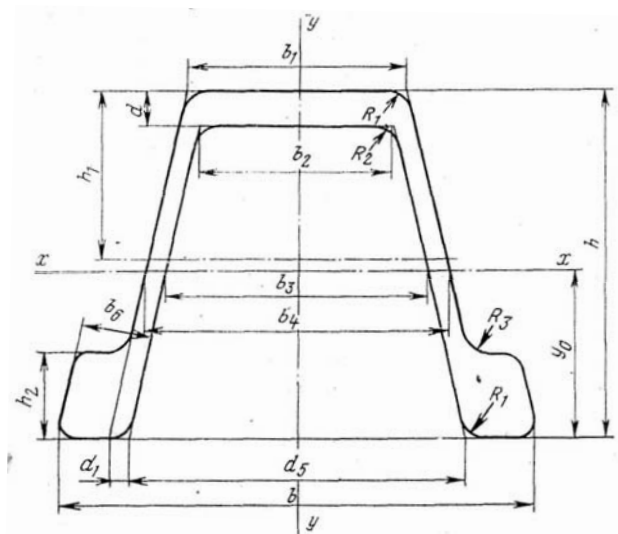


Рис. 2.15. Специальный (шахтный) желобчатый профиль СВП

Арматурную горячекатаную сталь в зависимости от механических свойств подразделяют на классы: А-I, А-II, А-III, А-IV. Стержни арматурной стали класса А-I – круглые, гладкие; стержни классов А-II, А-III и А-IV – периодического профиля. Стержни периодического профиля арматурной стали А-II (марки Ст5, 18Г2С) имеют выступы, идущие по винтовым линиям с одинаковым заходом на обеих сторонах стержней. Стержни периодического профиля арматурной стали класса А-III (марки 25Г2С, 35ГС) и класса А-IV (марки 20ХГ2Ц, 20ХГСТ и 80С) имеют выступы, идущие по винтовым линиям: с одной стороны стержня правого захода, а с другой – левого.

Для отличия концы стержней арматурной стали класса А-IV на участке 30...40 см окрашивают красной краской.

Холоднотянутую арматурную проволоку выпускают с гладкой поверхностью (классы В-I, В-II) и периодического профиля. Для обозначения арматурной проволоки периодического профиля к букве «В» (волоченная) добавляют букву «р» (рифленая): например Вр-I, Вр-II.

Арматурная сталь должна отвечать требованиям соответствующих стандартов (ГОСТ). Ее поверхность не должна иметь раковин, выбоин, царапин, следов обработки, окалины и смазки (допускается к применению арматура с тонкой пленкой окиси после газовой сварки, неотслаивающейся окалиной).

Для зарубежной горной промышленности характерным является применение большого числа различных форм и типоразмеров специальных горячекатаных и гнутых профилей.

В Великобритании, Германии и Франции применяют для изготовления арочной крепи специальные желобчатые профили проката семи типоразмеров (от 13 до 44 кг/м), двутавровые широкополочные профили массой до 55 кг/м, а также гнутые из листовой стали желобчатые профили десяти типоразмеров (от 13 до 37 кг/м) и замкнутые сварные профили из швеллеров и двутавров. В Чехии и Венгрии выпускаются для изготовления крепи колоколообразные взаимозаменяемые профили проката десяти типоразмеров (от 10 до 36 кг/м).

Для изготовления специальных профилей проката за рубежом применяют углеродистые и низколегированные стали как нормализованные, так и улучшенные. Применяемые легирующие элементы (в особенности марганец, кремний и алюминий) несущественно влияют на удорожание стали, но значительно улучшают ее свойства. Основным преимуществом улучшенных сталей является увеличение их пластических свойств, повышение предела текучести и временного сопротивления, возможность многократной правки деформированной крепи в холодном состоянии.

На современном уровне развития металлургической промышленности сталь с пределом прочности 850 МПа и пределом текучести 600 МПа является наиболее экономически выгодным материалом для рамной крепи выработок. Применение более прочных сталей ограничивается устойчивостью профиля, которая зависит от формы профиля и величины пролета балки. Высококачественные стали целесообразно применять для более устойчивых профилей.

## 3. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В главе представлены основные сведения о сырье, технологии производства и использовании строительных материалов в горной промышленности и народном хозяйстве.

В соответствии с материалами главы студент должен:

- классифицировать и обоснованно выбирать материалы применяемые в горной промышленности и строительстве;
- знать технологию и условия применения материалов;
- знать требования безопасности при использовании материалов.

### 3.1. Природные каменные материалы

#### 3.1.1. Общая характеристика

**Горные породы** – главный источник получения строительных материалов. Горные породы используют в промышленности строительных материалов как сырье для изготовления керамики, стекла, теплоизоляционных и других изделий, а так же для производства неорганических вяжущих веществ – цементов, извести и гипсовых.

Сотни миллионов кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве заполнителей бетонов и растворов. Широко используют природные каменные материалы для облицовки зданий и сооружений, устройства полов, лестниц, мощения дорог.

В зависимости от условий формирования горные породы делят на три генетические группы:

- 1) магматические породы, образовавшиеся в результате охлаждения и затвердевания магмы;
- 2) осадочные породы, возникшие в поверхностных слоях земной коры из продуктов выветривания и разрушения различных горных пород;
- 3) метаморфические, являющиеся продуктом перекристаллизации и приспособления осадочных горных пород к изменяющимся в земной коре физико-химическим условиям.

#### 3.1.2. Магматические породы

##### 3.1.2.1. Классификация магматических пород

Вследствие различия в химическом составе магм и различных условий и сред, в которых происходило остывание и затвердевание магмы, образовывались магматические породы разного строения и свойств – *глубинные* и *излившиеся* (*плотные* и *пористые*).

**Глубинные породы** образовались в результате медленного и равномерного остывания магмы под большим давлением. Такие условия могли возникнуть в природе тогда, когда магма остывала и оставалась на большой глубине в земной коре. Эти условия благоприятствовали образованию в данной породе минералов с зернисто-кристаллической структурой, прочно сросшихся между собой

без всякого цементирующего вещества (гранитное строение). Характерным для этих пород является массивность залегания, высокая плотность, а следовательно, большая прочность при сжатии, малое водопоглощение, значительная морозостойкость и высокая теплопроводность.

**Излившиеся породы** образовались в результате менее равномерного и более быстрого охлаждения магмы при относительно быстром и неравномерном сбросе давления или даже при атмосферном давлении. Такие условия могли возникнуть в случае, когда магма остывала, излившись в виде лавы на поверхность земли или близко к поверхности. В этих условиях охлаждения крупные кристаллические зерна образоваться не успевали и возникали другие генетические структуры: скрытокристаллическая, стекловатая (аморфная), порфировая. Для порфировой структуры характерно неоднородное строение, когда в аморфную или мелкокристаллическую массу включены крупные кристаллические соединения – «вкрапленники», образовавшиеся в магме еще в глубинных слоях во время ее поднятия к поверхности земли.

Из сказанного видно, что из одной и той же магмы, но при различных условиях остывания могут образоваться глубинные и излившиеся породы (называемые аналогами), близкие по химическому составу, но отличающиеся друг от друга структурой и свойствами (табл. 3.1). В тех случаях, когда излившиеся породы образовались в большой толще, их строение и свойства сходны с глубинными породами. Если же образование излившихся пород происходило в сравнительно тонком слое и ближе к поверхности или на поверхности земли, то они имеют неоднородное, стекловатое и сравнительно пористое строение.

Разновидностью излившихся горных пород являются породы, образовавшиеся при извержении вулканов. В этом случае магма под большим давлением в виде раздробленных частиц выбрасывалась в атмосферу и, увлекаемая газами, очень быстро охлаждалась и падала на поверхность земли в виде затвердевших частиц и кусков разной крупности, образуя обломочные рыхлые породы пористой и стекловатой структуры (вулканический пепел, песок, пемза). Некоторая часть этих рыхлых пород слеживалась, спекалась или перемешивалась с золой, образуя цементированные вулканические породы мелкопористого строения (вулканические туфы, трассы, туфовую лаву).

### **3.1.2.2. Химический и минеральный составы магматических пород**

Большинство магматических пород, применяемых в строительстве, содержит химические соединения трех типов кремнезем, силикаты и алюмосиликаты в виде порообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, слюда и железисто-магнезиальные минералы). Каждый минерал кроме химического состава характеризуется определенными и различными физическими свойствами (плотностью, твердостью, прочностью, стойкостью, наличием спайности<sup>1</sup>, блеском, цветом и др.). Поэтому преобладание в породе тех или других минералов, их размеры и расположение отражаются на строительных свойствах каменного материала.

---

<sup>1</sup> Спайность – способность некоторых минералов при ударе раскалываться по гладким, блестящим плоскостям, которые называют плоскостями спайности»

**Кварц** – диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) в кристаллической форме. Он отличается высокой плотностью – около  $2650 \text{ кг/м}^3$ , твердостью – 7, прочностью при сжатии – до 2000 МПа и стойкостью. При выветривании магматических пород стойкие зерна кварца не разрушаются и образуют пески. Кварц обладает несовершенной спайностью, имеет различную окраску (бесцветную, желтую, молочную) и стеклянный блеск. При обычной температуре кварц не взаимодействует с кислотами (кроме плавиковой и горячей фосфорной) и щелочами. При повышенных температурах в среде насыщенного пара кварц взаимодействует со щелочами, например с  $\text{Ca(OH)}_2$ , образуя гидросиликаты. При нагревании до  $575$  и  $870^\circ\text{C}$  он переходит в другие кристаллические формы, скачкообразно увеличиваясь в объеме. Плавится кварц при  $1710^\circ\text{C}$  и при быстром охлаждении расплава дает кварцевое стекло.

**Полевые шпаты** – алюмосиликаты, образовавшиеся в результате взаимодействия оксидов кремния и алюминия с оксидами щелочных металлов. Характерная особенность полевых шпатов – ярко выраженная спайность по двум направлениям. Наиболее распространенными разновидностями полевых шпатов являются: ортоклаз (прямораскалывающийся)  $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$  и плагиоклазы, (косораскалывающиеся) в виде альбита  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$  и анортита  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  и их смеси. Полевые шпаты входят в состав большинства магматических (до  $2/3$  их массы), многих метаморфических и некоторых осадочных горных пород. Они имеют различную окраску от белого и серого до розового и темно-красного цветов, плотность  $2500\text{...}2760 \text{ кг/м}^3$ , твердость 6, предел прочности при сжатии до 170 МПа, температуру плавления  $1170\text{...}1550^\circ\text{C}$ . Стойкость полевых шпатов значительно ниже, чем кварца. Под влиянием многократных резких смен температуры и воздействия воды и углекислоты полевые шпаты разрушаются (выветриваются).

**Слюды** – минералы с весьма совершенной спайностью в одном направлении, которые способны расщепляться на тончайшие упругие пластинки. По химическому составу они представляют собой водные алюмосиликаты сложного состава. Наиболее часто в составе горных пород присутствуют две разновидности слюды – *мусковит* (светлая алюминиевая слюда) и *биотит* (железисто-магнезиальная слюда темного цвета). Плотность слюд  $2760\text{...}3200 \text{ кг/м}^3$ , твердость 2...3, стойкость биотита меньше, чем мусковита. При выветривании биотит переходит в гидратированную разновидность слюды – вермикулит. Присутствие слюд в горных породах понижает прочность и стойкость породы, затрудняет ее шлифовку и полировку.

**Железисто-магнезиальные минералы** за их темный цвет (от темно-зеленого до черного) называют темноокрашенными минералами. По химическому составу они представляют собой железисто-магнезиальные силикаты. Среди минералов этой группы наиболее распространенными порообразующими минералами являются амфиболы (чаще роговые обманки), пироксены (например, авгиты) и оливины. Минералы этой группы отличаются большой плотностью  $3000\text{...}3600 \text{ кг/м}^3$ , твердостью 5,5...7,5, высокой ударной вязкостью, повышенной стойкостью против выветривания (кроме оливина). Эти же свойства они придают и содержащим их горным породам.

### 3.1.2.3. Важнейшие виды магматических пород и их строительные свойства

Краткая характеристика важнейших для строительства видов и свойств плотных магматических пород приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

**Характеристика важнейших магматических горных пород**

Характеристика по содержанию SiO <sub>2</sub> , %	Породы		Важнейшие породообразующие минералы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа
	глубинные	излившиеся			
Кислые (65...76)	Гранит	Кварцевый порфир, липарит	Кварц, полевые шпаты, слюда	2600-2800	100-250
Средние (52...65)	Сиенит	Бескварцевый порфир, трахит	Полевые шпаты, слюда	2600-2800	100-280
	Диорит	Андезит, порфирит	Полевые шпаты, темноокрашенные минералы	2800-3000	150-300
Основные (<52)	Габбро, лабрадорит	Диабаз, базальт	Темноокрашенные минералы, полевые шпаты	2900-3300	200-500

Подразделение изверженных пород по содержанию SiO<sub>2</sub> на кислые, средние и основные имеет практическое значение. Так, с уменьшением содержания SiO<sub>2</sub>, т. е. по мере перехода от гранитов к габбро или от порфиров к диабазам, возрастают плотность, прочность, ударная вязкость, понижается температура плавления этих пород, а цвет становится темнее.

Кроме перечисленных в табл. 3.1 в природе существуют переходные породы, например *гранопорфиры*, *граносиениты*, *габбродиабазы* и т. д.

**Гранит** и близкие к нему переходные породы (гранитоиды) состоят из кварца, полевых шпатов, слюды, иногда роговой обманки или авгита. Это самые распространенные из всех магматических пород (до <sup>2</sup>/<sub>3</sub> всех глубинных пород). Цвет породы определяется цветом полевых шпатов (от серого до красного разных оттенков). Имея высокие показатели плотности и прочности при сжатии (табл. 3.1), гранит является хрупким, так как его прочность при растяжении в 40...60 раз меньше прочности при сжатии. У гранита малое водопоглощение – менее 1 %, высокая морозостойкость – более 200 циклов, хорошая сопротивляемость истиранию, высокая теплопроводность. Граниты хорошо обрабатываются (обтесываются, шлифуются и полируются). Наиболее высокими показателями свойств обладают мелкозернистые граниты. Гранит используют для облицовки монументальных зданий и гидротехнических сооружений, плит для полов, ступеней, материалов для дорог, крупного заполнителя для бетонов, бутового камня и т.п.

**Сиенит** в отличие от гранита не содержит кварца, а состоит в основном из полевого шпата и темноокрашенных минералов (до 15 %). По внешнему виду сиенит похож на гранит, но в нем выражена среднезернистая структура, а окраска несколько темнее. Свойства сиенита близки к свойствам гранита, но он менее стоек к выветриванию и легче обрабатывается.

**Диорит** примерно на 3/4 состоит из полевых шпатов и до 25 % содержит темноокрашенных минералов. Диорит характеризуется мелко и среднезернистым строением и серо-зеленым или темно-зеленым цветом. По строительным свойствам диорит не уступает гранитам, обладает высокой ударной вязкостью и хорошо полируется. Чаще всего диорит применяют при облицовочных работах и в дорожном строительстве.

**Габбро** состоит в основном из полевого шпата (до 50%) и темноокрашенных минералов, чаще авгита, а также роговой обманки, оливина. Габбро представляет собой поликристаллическую породу от темно-серого до черного цвета. Габбро, состоящее из известково-натриевого плагиоклаза – лабрадора, называется лабрадоритом. Характерной особенностью этой породы является иризация лабрадора (синего, голубого, золотистого цветов) на плоскостях спайности или поверхности полированной породы. Габбро применяют в виде штучных изделий для облицовок, дорожных покрытий, щебня для бетонов и других целей.

**Порфиры** – излившиеся горные породы, близкие по химическому составу к гранитам (кварцевый порфир), сиенитам (бескварцевый порфир), диоритам (порфирит) и характеризующиеся порфировой структурой. Вследствие неоднородного строения порфиры менее устойчивы к выветриванию, слабее сопротивляются истиранию, чем глубинные породы. Другие строительные свойства порфиров близки к свойствам глубинных пород.

**Трахит** – излившаяся порода, имеющая тот же минеральный состав, что и сиениты, но более пористая, так как отвердевала на поверхности земли. Его применяют в качестве стенового материала и щебня для бетонов. Разновидность трахита – бештаунит – используют как заполнитель в кислотостойких бетонах.

**Андезит** – аналог диорита, но отличается от них порфировой структурой. Плотные андезиты применяют в виде кислотоупорных плит и щебня для кислотоупорного бетона.

**Диабаз** по минеральному составу аналогичен габбро. Окраска – от темно-зеленой до черной. Структура кристаллическая с зернами разной крупности, иногда порфировая. Диабазы, особенно мелкозернистые, имеют высокую прочность – до 450 МПа, большую ударную вязкость и малую истираемость, способные раскалываться на куски сравнительно правильной формы. Используют диабаз для изготовления дорожных материалов (брусчатки, шашки, бортового камня), щебня для бетона, иногда для облицовочных работ, а также в качестве сырья для каменного Литья и кислотоупорных изделий.

**Базальт** (как и диабаз, аналог габбро) представляет собой плотную тяжелую породу, имеющую скрытокристаллическое или стекловатое, а иногда порфировое строение. Базальт имеет темно-серый или почти черный цвет, характеризуется высокой прочностью до 500 МПа. Вследствие наличия в стекловатой

массе трещин и пор, возникших при остывании магмы, или при порфировой структуре прочность базальтов может резко колебаться, иногда снижаясь до 100 МПа. Большая твердость и хрупкость базальтов затрудняет их обработку. Их широко используют как дорожный материал, в качестве щебня для бетона, для кислотоупорных материалов, а также каменного литья и производства минеральной ваты.

Порошкообразные частицы (до 1 мм) называют **вулканическими пеплами**, крупностью до 5 мм – вулканическими песками, а от 5 до 30 мм (реже крупнее) – пемзой. Эти породы имеют пористое строение, небольшую плотность и малую теплопроводность – 0,13...0,23 Вт/(м·°С), прочность при сжатии – 2...3 МПа.

Пемзу и пемзовые пески используют как наполнитель в легких бетонах, при производстве тепло- и звукоизоляционных материалов и в качестве шлифующего материала. Так как эти породы состоят из аморфного кремнезема и вулканического стекла, то в тонкоизмельченном виде их используют в качестве активных добавок к минеральным вяжущим веществам.

**Вулканические туфы** образовались в результате последующего уплотнения, спекания или цементации природными цементами вулканического пепла. К наиболее уплотненным вулканическим туфам относятся трассы. Если же при извержении к жидкой лаве примешивается значительное количество вулканических пеплов и песков, то образуются породы, называемые туфовой лавой. Большинство вулканических туфов и туфовых лав имеет пористее строение, небольшую плотность и малую теплопроводность. Эти породы обладают разнообразной окраской и легко поддаются технологической обработке. Одним из их типичных представителей является арктикский туф, добываемый в Армении. Арктикский туф имеет розовато-фиолетовую окраску, плотность 750...1400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 6...10 МПа, теплопроводность около 0,34 Вт/(м·°С); достаточную морозостойкость.

Туфы применяют для кладки стен в виде пиленых камней правильной формы и бута, а в дробленном виде – в качестве наполнителей для легких бетонов.

### **3.1.3. Осадочные горные породы**

#### **3.1.3.1. Классификация осадочных горных пород**

В составе литосферы на долю осадочных пород приходится лишь около 5 %, однако они занимают до 75 % площади поверхности Земли. Характерным для осадочных пород является слоистость залегания (их называют пластовыми) и в большинстве случаев более пористое строение и меньшая прочность, чем у плотных магматических пород. В зависимости от условий образования осадочные породы подразделяют на три группы: *механические отложения* (обломочные), *химические осадки*, *органогенные отложения*.

**Механические отложения** (рыхлые и цементированные) образовались в результате разрушения других пород под воздействием процесса выветривания (действие воды, ветра, колебаний температуры, замораживания и оттаивания и



других атмосферных факторов). В результате даже самые прочные массивные магматические породы разрушаются, образуя обломки разных размеров: глыбы, куски и более мелкие частицы.

Наряду с механическими разрушениями в результате взаимодействия составных частей горных пород с веществами, находящимися в окружающей среде, может происходить химическое разрушение. Так, полевые шпаты под действием воды, содержащей диоксид углерода, разрушаются, образуя водные силикаты алюминия, в частности минерал каолинит –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , водный кремнезем и углекислые соли калия, натрия, кальция:



Продукты разрушения остаются на месте или чаще переносятся водными потоками, ветром, ледниками в другие места и после осаждения образуют рыхлые скопления пластов обломочных осадочных пород (песка, глины, гравия, природного щебня). Некоторые из них в последующем подвергаются цементированию природными цементами, выпавшими в толще рыхлых осадков из омывающих их растворов, образуя сплошные (сцементированные) горные породы различной плотности (песчаники, конгломераты, брекчии).

**Химические осадки** образовались в результате выпадения в осадок веществ, перешедших в состав водных растворов в процессе разрушения горных пород. Они являются следствием изменения условий среды, взаимодействия растворов различного состава и испарения (гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известковые туфы).

**Органогенные отложения** – породы, образующиеся в результате отложения отмирающего растительного мира и мелких животных организмов водных бассейнов. Многие морские организмы при жизни извлекают из воды соли кальция, растворенный кремнезем для построения своих скелетов, раковин, панцирей, стеблей. После отмирания, осаждаясь на дно и уплотняясь, они образуют пластовые отложения органогенных пород. Для строительных целей используют, мел, известняки разных видов, диатомиты и трепелы.

### 3.1.3.2. Химический и минеральный составы осадочных пород

Средневаловой химический состав всех осадочных пород близок к составу магматических пород, но между собой отдельные осадочные породы различаются значительно больше, чем магматические. Осадочные породы, применяемые для строительных целей, чаще всего содержат следующие химические соединения: кремнезем в кристаллическом и аморфном состояниях (безводный и водный), алюмосиликаты (главным образом водные), карбонаты (безводные), сульфаты (безводные и водные).

Из этих соединений и состоят основные минералы осадочных пород, используемых в строительном деле: кварц, опал, каолинит, кальцит, магнезит, доломит, гипс, ангидрит.

**Кварц** (кристаллический кремнезем) благодаря высокой стойкости при выветривании остается химически неизменным и входит в состав многих осадочных пород (песков, песчаников, глин и др.)

**Глины и каолины** представляют собой осадочные горные породы тонкоземлистого строения, которые независимо от их минерального и химического состава способны при смешивании с водой образовывать пластическое тесто, переходящее после обжига в водостойкое и прочное камневидное тело, образовалось в результате выветривания, главным образом, полевошпатных пород, глины состоят из плотной смеси различных глинистых материалов, представляющих собой водные алюмосиликаты со слоистой кристаллической структурой. Наиболее распространенными из них являются каолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; монтмориллонит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , и др.

**Кальцит** ( $\text{CaCO}_3$ ) имеет совершенную спайность по трем направлениям, плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$  твердость 3. Кальцит растворяется в кислотах, в обычной воде – мало (около 0,03 г/л). Это распространенный минерал, слагающий различные виды известняков. Окраска белая, серая, иногда он прозрачен.

**Магнезит** ( $\text{MgCO}_3$ ) имеет плотность  $2900 \dots 3100 \text{ кг/м}^3$ , твердость 3,5...4,5. Он распространен значительно меньше кальцита и образует породу того же названия. Его применяют для изготовления огнеупорных изделий, частично для получения вяжущих веществ.

**Доломит** ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) по физическим свойствам близок к кальциту, но более тверд – 3,5...4, плотен ( $\rho_m = 2900 \text{ кг/м}^3$ ) и прочен. Цвет доломита от белого до темно-серого в зависимости от примесей. Он встречается чаще, чем магнезит, образуя породу того же названия или входя в состав известняков и других осадочных пород. Применяют доломит также как и известняк, а также для производства огнеупоров и теплоизоляционных материалов.

**Гипс** ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – минерал кристаллического строения, его кристаллы имеют зернистое, столбчатое, пластинчатое, игольчатое или волокнистое строение. Он белого цвета, иногда окрашен примесями. Обладает спайностью в одном направлении. Плотность гипса  $2300 \text{ кг/м}^3$ , твердость 2, сравнительно легко растворяется в воде. Гипс образует породу того же названия.

**Ангидрит** ( $\text{CaSO}_4$ ) – безводная разновидность гипса, образует породы одноименного названия. Плотность ангидрита  $2900 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$ , твердость 3...3,5.

**Гипс и ангидрит** внешне и по своим физико-механическим свойствам мало отличаются друг от друга. Их применяют для производства вяжущих веществ, а некоторые разновидности – для внутренней облицовки зданий.

**Мел** – порода органогенного происхождения, обычно белого цвета, землистого сложения, представлена микроскопическими раковинами простейших организмов. По химическому составу почти целиком состоит из карбоната кальция, имеет небольшую прочность. Применяют в качестве белого пигмента в красочных составах, при приготовлении замазки, а также при производстве извести и портландцемента.

В качестве строительного камня главным образом применяют известняки различных видов, доломиты и песчаники. Состав и некоторые свойства этих пород приведены в табл. 3.2.

**Известняки** в большинстве случаев являются органогенными породами, но встречаются известняки химического происхождения (известковые туфы). Известняки в основном сложены из минерала кальцита, но часто содержат раз-

личные примеси (кремнезем, глину, доломит, оксиды железа, органические соединения), в зависимости от которых цвет известняков может быть от белого до темно-серого с различными оттенками.

Таблица 3.2

**Состав и свойства некоторых осадочных пород**

Порода	Основные минералы	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Предел прочности при сжатии, МПа
		истинная	средняя	
Известняк плотный	Кальцит, доломит	2600...2800	1800...2600	15...100 (иногда до 180)
Известняк пористый:				
ракушечник	То же	2600...2800	900...1800	0,4...15
известковый туф	Кальцит	2600...2800	1400...1800	5...15 (иногда до 80)
Доломит	Доломит	2500...2900	2200...2800	15...200
Песчаник:				
кремнистый	Кварц, опал	2500...2900	2300...2600	30...200 и >
известковый	Кварц, кальцит	2500...2900	2300...2600	30...200 и >

При содержании глины не более 6 % породу называют известняком при наличии 6...20 % глинистых примесей – *мергелистым известняком*, а при большем содержании глины – *мергелем*. Мергель неводостоек и неморозостоек, поэтому как строительный камень не применяется, но является ценным сырьем для производства цемента.

**Плотные известняки** (плотность более 1800 кг/м<sup>3</sup>), состоящие из мелких зерен кальцита, связанных непосредственным сцеплением кристаллов или различными природными цеменами (известковым, известково-кремнистым), используют в виде бутового камня (для фундаментов, стен неотопливаемых зданий или жилых домов в районах с теплым климатом), плит и фасонных деталей для облицовки стен, цоколей и карнизов, ступеней, а также в качестве щебня для бетона, основания для дорог и сырья для получения извести и портландцемента.

**Известняки-ракушечники** – пористые горные породы характеризуются небольшой плотностью, низкой прочностью и малой теплопроводностью. Их применяют в виде камней правильной формы для кладки стен, а наиболее плотные разновидности – для облицовки стен, а также в качестве щебня для легкого бетона. Песчаники, конгломераты и брекчии – породы, образовавшиеся из рыхлых отложений разрушившихся горных пород в результате цементации их различными природными цеменами (известковым, кремнистым, глинистым, железистым и др.)

В результате цементации песков образуются песчаники, зерен гравия – конгломераты, природного щебня – брекчии. В качестве строительного камня применяют наиболее прочные и стойкие известковые и кремнистые песчаники, а также конгломераты и брекчии на этих природных цеменатах. Большинство

песчаников – плотные, тяжелые и теплопроводные материалы. Их используют главным образом для кладки фундаментов, стен неотапливаемых зданий, ступеней, тротуаров, облицовки зданий, а также в виде щебня для бетонов и других целей. Конгломераты и брекчии, обладающие декоративностью, используют в качестве облицовочного камня.

### 3.1.4. Метаморфические породы

**Метаморфические (видоизмененные) породы** образуются в природе в результате изменения состава и строения осадочных и изверженных пород. Процессы метаморфизма проходят при повышенных температурах без расплавления или растворения, при воздействии высоких давлений и сдвиговых деформаций. Такие условия возникают тогда, когда исходные породы в результате горообразовательных процессов могут переместиться с поверхности в глубь земной коры. В результате может произойти перекристаллизация минералов, глубоко измениться строение, т. е. образоваться совершенно новые породы, более плотные и в большинстве случаев с ясно выраженной кристаллической структурой. Эти породы могут быть целиком видоизмененными (например, мрамор) или с заметным содержанием исходной породы (мраморовидные известняки).

Минеральный состав метаморфических пород часто идентичен исходным магматическим или осадочным породам.

Текстура метаморфических пород может быть сланцеватой (гнейсы, глинистые сланцы) и массивной (мрамор и кварциты). Сланцеватое строение характерно для видоизмененных пород, образовавшихся в условиях одностороннего давления. Сланцеватость понижает строительные свойства метаморфических пород, в частности морозостойкость и прочность в направлении, параллельном сланцеватости, но придает им способность относительно легко раскалываться по плоскостям сланцеватости на более или менее тонкие слои.

Массивная зернистая текстура характерна для пород образовавшихся при многостороннем давлении, когда исходные осадочная порода в результате перекристаллизации и уплотнения становится монолитной, состоящей из тесно сросшихся кристаллических зерен. Такие породы отличаются очень высокой плотностью по сравнению с осадочными породами, из которых они образовались.

В строительстве из метаморфических пород применяют *гнейсы, глинистые сланцы, мраморы, кварциты*.

**Гнейсы** по минеральному составу и свойствам сходны с породами гранитного типа, из которых они образовались. Из-за сланцеватого строения менее долговечны. В строительстве их чаще всего используют в виде бутовых плит для кладки фундаментов, устройства тротуаров и дорог.

**Глинистые сланцы** – типичные сланцевые метаморфические породы, образовавшиеся из глин; цвет черный или темно-серый. Глинистые сланцы не размокают в воде, стойки против выветривания, легко раскалываются на тонкие ровные плитки (3...10 мм), применяемые как кровельный материал (природный шифер).

**Мраморы** образовались в результате видоизменения известняков (реже – доломитов) и состоят из прочно сросшихся кристаллов кальцита, иногда с примесями зерен доломита, марганцевых, железистых и углеродистых соединений, придающих им различную окраску. При неравномерном распределении примесей мраморы имеют пеструю окраску с различными узорами, придающими камню декоративность. Мраморы отличаются высокой плотностью – до  $2900 \text{ кг/м}^3$ , малым водопоглощением до 0,7% большой прочностью при сжатии – до 300 МПа но обладают небольшой твердостью – 3. Мрамор хорошо шлифуется и полируется, распиливается на тонкие плиты. Его широко применяют для внутренней облицовки стен, изготовления ступеней, подоконных досок и других изделий. Разновидности мрамора, непригодные для штучных изделий, или отходы при обработке мрамора в виде крошки используют в качестве заполнителя для отделочных растворов и бетонов. Для наружной облицовки зданий большинство мраморов применять не рекомендуется, так как под влиянием атмосферных агентов (воды, сернистого газа, изменений температуры и др.) поверхность мрамора теряет декоративный вид и подвергается заметной коррозии (становится тусклой, шероховатой и более пористой).

**Кварциты** образовались в результате видоизменения кремнистых песчанников. Они имеют плотную структуру и состоят из перекристаллизованных зерен кварца, сцементированных кварцевым цементом. Окраска – белая, красная, темно-вишневая. Кварциты обладают высокой плотностью – около  $2700 \text{ кг/м}^3$ , небольшим водопоглощением – менее 0,2 %, значительной прочностью при сжатии – до 400 МПа, большой твердостью – 7 и долговечностью. Кварциты применяют для наружной облицовки повышенной стойкости, подферменных камней в мостах, иногда в виде щебня и бута, а также как сырье для изготовления динасовых огнеупоров.

### 3.2. Основные каменные материалы, применяемые без обработки

Каменные материалы разделяют по плотности: на тяжелые – плотностью более  $1800 \text{ кг/м}^3$  и легкие – менее  $1800 \text{ кг/м}^3$ ; по пределу прочности при сжатии (МПа) – на марки: для тяжелых – от 10 до 100, для легких – от 0,4 до 20; по морозостойкости – на марки: Мрз 15...500 (тяжелые) и Мрз 10...25 (легкие); по водостойкости – на группы с коэффициентом размягчения не ниже 0,6; 0,75; 0,9, 1.

В зависимости от назначения и условий применения природные каменные материалы оценивают также по *твердости, истираемости и сопротивлению ударным нагрузкам* (например, дорожные материалы), *стойкости против различных химических воздействий внешней среды и т.п.*

**По степени обработки** различают каменные материалы: *грубообработанные* (бутовый камень, щебень, гравий, песок) и *профилированные* (пиленые штучные камни и блоки для стен; камни, плиты и профильные изделия для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений, полов; дорожного строительства и т.п.).

**Бутовый камень** (бут) – куски камня размером 150...500 мм по наибольшему измерению. Рваный бут (неправильной формы) добывается преимущественно

венно взрывным способом, а плитняковый (постелистый) получают из пород пластового залегания раскалыванием камнекольным инструментом. Из бута возводят плотины, подпорные стенки, фундаменты и стены неотапливаемых зданий. Вследствие неправильной формы камней бутовая кладка трудоемка и требует повышенного расхода раствора. В индустриальном строительстве ее заменяют сборными бетонными и железобетонными элементами. В связи с этим значительную часть добываемого бута перерабатывают в щебень или используют в бутобетонах (бетон с включением в его состав бутового камня).

**Валунный камень** – крупные обломки (более 300 мм) горных пород ледникового происхождения, характеризуется окатанной формой, используется для получения булыжного камня и щебня.

**Щебень** – куски камня размером 5...70 мм, получаемые дроблением гранита, диабазы, известняка, доломита, кварцита. Встречается и природный щебень называемый дресвой.

**Гравий** – рыхлый грубообработанный каменный материал, образовавшийся в результате естественного разложения осадочных пород и состоящий из достаточно окатанных обломков размером 5 – 70 мм.

Гравий применяют в качестве крупного заполнителя в бетоне для приготовления гравийно-щебеночной смеси, используемой при сооружении железнодорожного пути, автомобильных дорог.

**Песок** – зерна различных минералов (кварца, полевого шпата и т.д.) размером 0,14...5 мм. В промышленности применяются в основном природные пески, которые образуются в результате естественного разрушения массивных горных пород и в зависимости от происхождения и условий залегания делятся на горные, речные и морские. А по минералогическому составу на кварцевые, полевошпатные, известковые, доломитные.

**Строительные пески** – наиболее крупная функциональная группа природных песков используемых для всех видов бетонов и строительных растворов, а также для устройства дорог и других строительных работ.

Нормальным песком для строительных работ считается кварцевый песок с размером 0,5...0,9 мм и плотностью не более 1400 кг/м<sup>3</sup>. Для бетона наиболее пригоден крупный песок, содержащий достаточное количество средних и мелких зерен, что обеспечит минимальное количество пустот, и небольшую площадь поверхности песчинок. А это в свою очередь снизит расход цемента.

**Глины** – см. ниже.

### 3.3. Керамические материалы и изделия

#### 3.3.1. Общие сведения

Керамическими называют искусственные каменные материалы, изготавливаемые из минерального сырья путем формования, сушки и последующего обжига при высоких температурах.

Изготовление строительной керамики (кирпича, а затем черепицы) началась около 5000 лет назад.

Материал, из которого состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют **керамическим черепком**.

По структуре различают керамические изделия с пористым и со спекшимся (плотным) черепком. Пористыми условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка по массе превышает 5% (в среднем 8...20%): кирпич сплошной, пустотелый и легкий, керамические камни, черепица, облицовочные плитки, дренажные трубы и т.п. Спекшимся считают черепок с водопоглощением меньше 5% (чаще 2...4%) как правило, он практически водонепроницаем. К плотным изделиям относят дорожный кирпич, плитки для полов, фарфоровые изделия.

Распространенность глин в природе, а также большая прочность, значительная долговечность, красивый внешний вид многих видов керамики позволили применять керамические материалы почти во всех конструктивных элементах зданий и сооружений.

По конструктивному назначению различают керамические изделия:

- для стен (кирпич и керамические камни);
- облицовки фасадов (лицевой кирпич и камни, плитки);
- внутренней облицовки стен и полов (плитки), перекрытий (пустотелые камни);
- кровли (черепица);
- санитарно-техническое оборудование (изделия из строительного фаянса);
- дорог и подземных коммуникаций (дорожный кирпич, трубы и т.п.);
- теплоизоляции (легкий кирпич, фасонные изделия);
- кислотоупорные изделия (кирпич, плитки, трубы и т.п.);
- огнеупоры,
- заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит).

### **3.3.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий**

Сырьевую массу для изготовления керамических изделий обычно составляют из пластичных материалов (глины, каолины) и непластичных материалов (отошающих и выгорающих добавок, плавней). Глины и каолины объединяют общим названием – глинистые материалы. В производстве некоторых искусственных обжиговых материалов используют диатомиты, трепелы, а также шлаки, золы, сланцы в чистом виде или с добавкой глин, порообразующих и других добавок.

Наряду с глинообразующими минералами в глинах встречаются: кварцы, полевой шпат, серный колчедан, гидроксиды железа, карбонаты кальция и магния, соединения титана, ванадия, органические примеси. Перечисленные примеси влияют как на технологию керамических изделий, так и на их свойства. Например, тонко распределенный углекислый кальций и оксиды железа понижают огнеупорность глин. Если в глине имеются крупные зерна углекислого кальция, то при обжиге из них образуются включения извести, которые гидратируют с увеличением объема («дутики»), что вызывает образование трещин или разрушение изделий.

Наиболее чистые глины, состоящие преимущественно из каолинита, называют *каолинами*; после обжига они сохраняют белый цвет.

*Бентонитами* называют высокодисперсные породы с преобладающим содержанием монтмориллонита.

В состав глин входят различные по крупности зерна, но характерные для глин высокие пластичность и связующая способность обусловлены наличием в них очень мелких частиц пластинчатой формы, размер которых не превышает 0,005 мм. Эти частицы называют глинистым веществом. Малая величина частиц и, следовательно, большая суммарная поверхность, а также их пластинчатая форма обеспечивают сцепление частиц и позволяют им сдвигаться относительно друг друга без потери сцепления. Чем больше в глине содержится глинистого вещества, тем она пластичнее. Высокопластичные глины содержат частиц менее 0,005 мм – 80...90 %. В большинстве глин имеются и более крупные частицы, не обладающие свойством пластичности. При величине зерен 0,005...0,05 мм их относят к пыли, а при размерах 0,05...2 мм – к песку.

Керамические свойства глин характеризуются пластичностью, связностью и связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

**Пластичность** – способность глиняного теста деформироваться под влиянием внешних механических воздействий без нарушения сплошности (без разрыва или образования трещин) и сохранять полученную форму после прекращения этих воздействий. На этом свойстве и основана возможность формования изделий.

При смачивании сухой глины молекулы воды (диполи) втягиваются между чешуйчатыми частицами глинистых минералов (рис. 3.1) и адсорбируются на их поверхности, образуя тонкие слои воды и вызывая набухание глины. Эти слои воды играют роль смазки, облегчающей скольжение, поэтому глина, смешанная с водой, дает легко формующуюся пластичную массу. Чем пластичнее глины, тем больше они требуют воды для получения удобоформуемого глиняного теста и тем выше их воздушная усадка. Высокопластичные глины имеют водопотребность более 28 % и воздушную усадку 10...15 %. Глины средней пластичности характеризуются водопотребностью 20...28% и воздушной усадкой 7...10%. У малопластичных глин водопотребность менее 20 %, а воздушная усадка 5...7 %.

Техническим показателем число пластичности:

$$Пл = \omega_t - \omega_p,$$

где  $\omega_t$  и  $\omega_p$  – значения влажности, соответствующие пределу текучести и пределу раскатывания глинистого жгута (рис. 3.2), %.

Изделия из весьма пластичных глин ( $Пл > 15$ ) при высыхании сильно уменьшаются в объеме и дают трещины, что в производстве недопустимо. Малопластичные (тощие) глины ( $Пл < 7$ ) неудобны в работе, так как тесто из таких глин с трудом формуется, поэтому нередко приходится регулировать пластичность глины. Излишняя пластичность глин может быть устранена путем введения в них непластичных (отошающих) добавок или добавлением малопластичных глин. При недостаточной пластичности глину отмучивают, освобождая ее



от песка, подвергают вылеживанию на открытом воздухе, измельчают на специальных машинах, обрабатывают паром, вакуумируют, а также добавляют пластичную глину. В результате повышается дисперсность глин, улучшается их набухаемость и повышаются пластичность и формовочная способность.

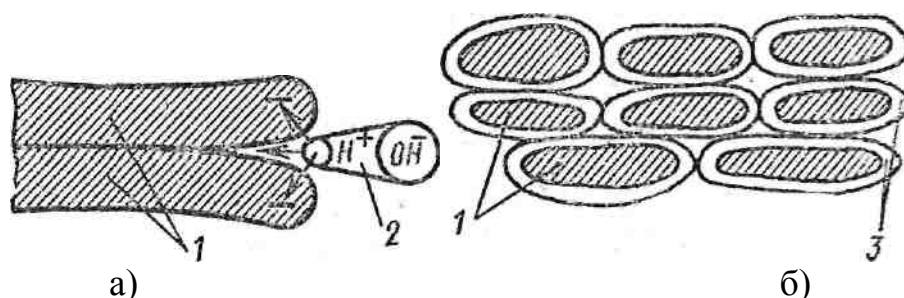


Рис. 3.1. Схема расклинивающего действия адсорбированной воды:  
 а – в начале увлажнения; б – в увлажненной глине;  
 1 – слипшиеся глинистые частицы с отрицательными зарядами на концах;  
 2 – дипольная молекула воды; 3 – адсорбированный слой воды

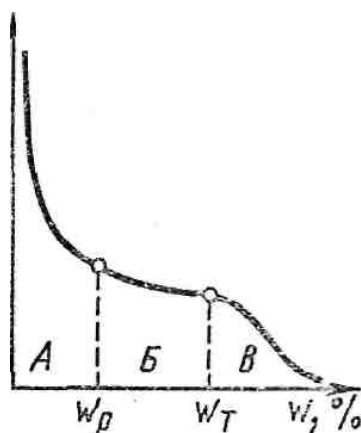


Рис. 3.2. Изменение деформативных свойств глины в зависимости от ее влажности: А – область хрупкого состояния; Б – пластичного;  
 В – вязкотекучего

**Связность** – усилие, необходимое для разъединения частиц глины. Как уже указывалось, связность глин обусловлена малой величиной и пластинчатой формой частиц глинистого вещества. Высокой связностью обладают глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций.

**Связующая способность** глины выражается в том, что глина может связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочное изделие – сырец.

**Воздушная усадка глин** – уменьшение размеров и объема сырцового изделия в процессе сушки, вода испаряется, толщина водных оболочек вокруг глинистых частиц сокращается и отдельные частицы глины сближаются между собой, в результате чего происходит воздушная усадка.

**Огневая усадка глин** – изменение размеров и объема при обжиге изделия. При обжиге наиболее легкоплавкие соединения глины переходят в состояние жидкости, которая обволакивает нерасплавившиеся частицы и частично запол-

няет промежутки между ними. Частичное плавление глины и действие сил поверхностного натяжения жидкой фазы вызывают сближение твердых частиц обжигаемой глины и объем ее уменьшается, т. е. происходит огневая усадка.

Огневая усадка может быть 2...6 %. Полной усадкой глин называют сумму воздушной и огневой усадок. Полная усадка обычно составляет 5...18 %. Для получения изделий с заданными размерами полную усадку учитывают при формировании, соответственно увеличивая размеры сырца.

**Огнеупорность** – свойство глин выдерживать действие высокой температуры без деформации. Глины вследствие неоднородности состава не имеют определенной температуры плавления. При действии высоких температур они размягчаются и постепенно деформируются. По огнеупорности различают глины трех групп: огнеупорные (огнеупорность выше 1580°C), тугоплавкие (1350...1580 °C) и легкоплавкие (ниже 1350 °C).

К огнеупорным относятся каолиновые глины, содержащие мало примесей. Такие глины используют для производства фарфора, фаянса и огнеупорных изделий. Тугоплавкие глины содержат оксиды железа, кварцевый песок и другие примеси, в значительно большем количестве, чем огнеупорные. Их применяют для производства тугоплавкого, облицовочного и лицевого кирпича, плиток для полов и канализационных труб. Легкоплавкие глины наиболее разнообразны по минеральному составу, содержат значительное количество примесей. Их используют в производстве кирпича, черепицы, легких заполнителей и т. д.

### 3.3.3. Стеновые материалы

Несмотря на определенные успехи в производстве промышленных стеновых материалов (крупных блоков, панелей), на долю мелкоштучных изделий (кирпича и мелких блоков) приходится все еще около  $\frac{2}{3}$  общего выпуска каменных стеновых материалов, в том числе выпуск керамического кирпича составляет почти половину всех стеновых материалов.

Наряду с кирпичом керамическим обыкновенным в группу стеновых керамических материалов входят различные виды более эффективных керамических материалов (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий, пустотелые камни), а также крупноразмерные стеновые кирпичные блоки и панели заводского изготовления.

#### ***Кирпич керамический обыкновенный.***

**Кирпич** имеет форму прямоугольного параллелепипеда с ровными гранями и прямыми ребрами и углами размером 250×120×65(88) мм, реже 288×138×65 (модульный). Для кирпича толщиной 88 мм и модульного обязательно наличие круглых или щелевых пустот (рис. 3.3), чтобы масса одного кирпича не превышала 4 кг. Формируют кирпич пластическим и реже полусухим способами. Плотность кирпича 1600...1900 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность 0.70...0,82 Вт/(м °C). Более высокие показатели этих свойств относятся к кирпичу полусухого прессования. Прочность кирпича характеризуется пределом прочности при сжатии и изгибе и обозначается марками: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250 и 300. По морозостойкости кирпич подразделяют на четыре марки: F 15, 25, 35 и 50.

Кирпич должен быть нормально обожжен, так как недожог (алый кирпич) обладает недостаточной прочностью, малой водостойкостью и морозостойкостью, а пережженный кирпич (железняк) отличается повышенными плотностью, теплопроводностью и, как правило, имеет искаженную форму.

### 3.3.4. Керамические материалы и изделия различного назначения

#### *Кирпичи и камни керамические специального назначения.*

Для кладки и футеровки промышленных дымовых труб выпускают *лекальный кирпич*, отличающийся от обычного кривизной.

Для устройства подземных коллекторов выпускают *камни трапецидальной формы*, а для мощения дорог и улиц, полов промышленных зданий, облицовки набережных и т.п. – дорожный кирпич (клинкерный). Эти изделия отличаются высокой плотностью, прочностью до 100 МПа и морозостойкостью не менее 30...100 циклов.

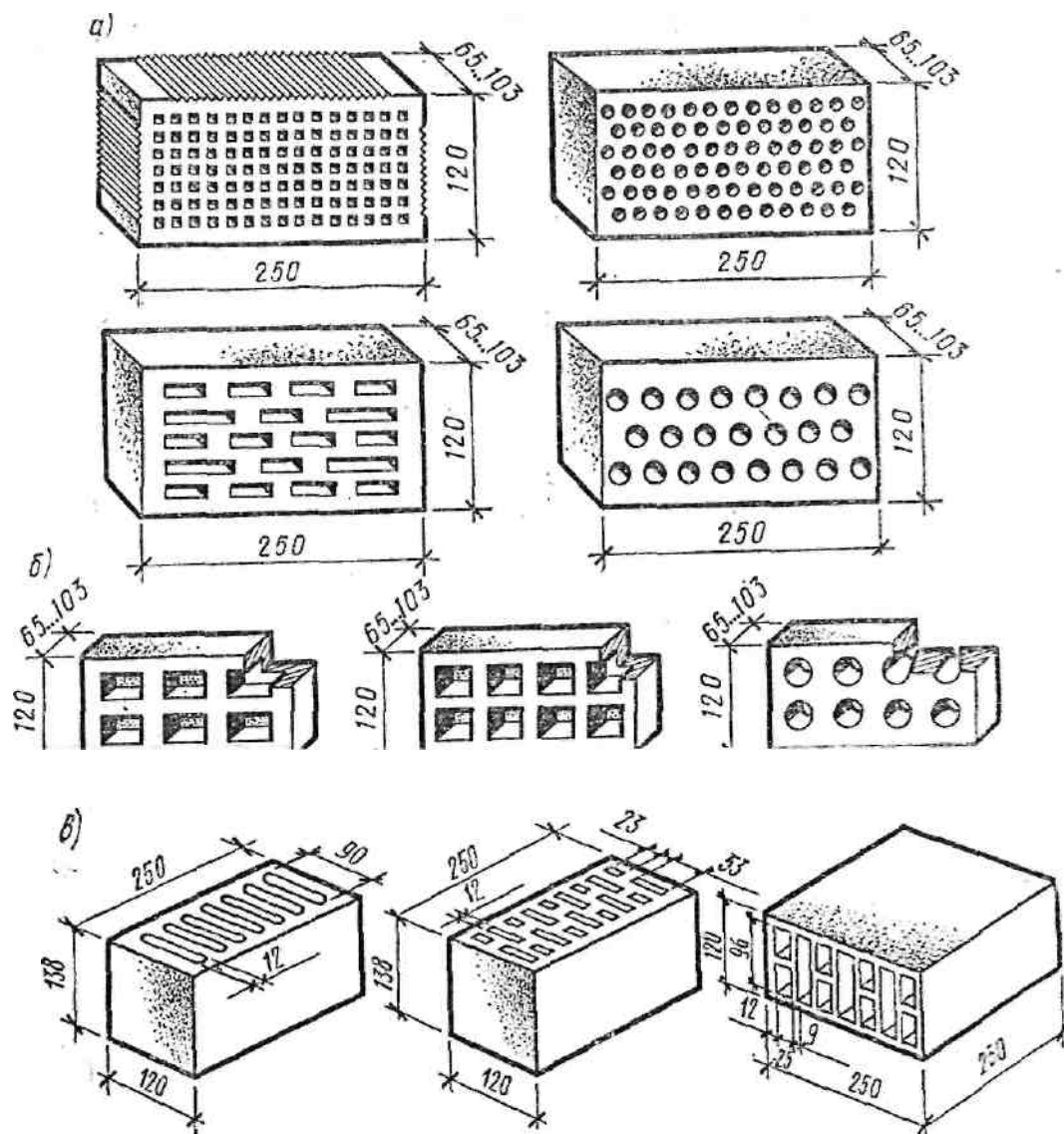


Рис. 3.3. Типы пустотелого кирпича и керамических камней:  
 а – кирпич пластического формования; б – кирпич полусухого прессования;  
 в – камни с 7 и 18 вертикальными и с 11 горизонтальными пустотами

### ***Кровельные материалы.***

***Глиняная черепица*** – старейший вид кровельных материалов. Наиболее распространена черепица штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская и коньковая. Для производства черепицы используют те же глины, что и для кирпича. Ленточную черепицу изготавливают пластическим формованием на ленточных прессах со специальным мундштуком, а штампованную пазовую – полусухим прессованием в металлических или гипсовых формах на специальных прессах. Черепица может иметь красновато-розовую или светло-желтую окраску. Специальные виды черепицы покрывают глазурью различных тонов. Черепица долговечна и огнестойка. Недостатками черепицы являются большая масса (до 65 кг/м<sup>2</sup> покрытия), хрупкость, а также большая трудоемкость возведения черепичной кровли и необходимость ее устройства с большим уклоном (более 30°) для быстрого стока воды.

### ***Керамические трубы.***

***Канализационные керамические трубы*** изготавливают из огнеупорных или тугоплавких глин без добавок или с отошающими добавками. Поверхность труб снаружи и внутри покрывают кислотоустойчивой глазурью. Канализационные трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,2 МПа. Их применяют для отвода сточных вод, кислотных и щелочных растворов на химических заводах, а также для дворовой канализации.

***Дренажные трубы*** выпускают с внутренним диаметром 25...250 мм и длиной до 500 мм неглазурованными без раструбов или же глазурованными с раструбом и перфорацией на стенках. Для изготовления труб используют кирпичные глины повышенной пластичности или глины с добавками. Водопоглощение черепка труб – не более 15%, морозостойкость – не менее 15 циклов. Их применяют при ирригационных работах, а также для осушения грунтового основания под зданиями и сооружениями.

***Санитарно-техническая керамика.*** К санитарно-техническим относят изделия из фаянса, полуфарфора и фарфора. Для производства этих трех разновидностей керамических материалов, обладающих различной пористостью, используют беложгущиеся огнеупорные глины и каолины (около 50 % состава формовочной массы), кварц (для устойчивости при обжиге) и полевой шпат (для лучшей спекаемости) в различных соотношениях для каждого вида изделий. Формуют санитарно-технические изделия преимущественно методом литья. Изделия из фаянса (унитазы, умывальники, смывные бачки и др.) имеют пористый черепок с водопоглощением 10...12 % и пределом прочности при сжатии около 100 МПа. По сравнению с фаянсом черепок полуфарфора более спекшийся с водопоглощением 3...5 % и прочностью при сжатии 150...200 МПа. Фарфор отличается еще большей плотностью, что позволяет изготавливать из него тонкостенные изделия водопоглощением 0,2...0,5 % и прочностью до 500 МПа. Изделия покрывают глазурью.

***Теплоизоляционные керамические изделия.*** В эту группу керамических изделий входят кирпич легкий, трепельный (диатомовый), ячеистые штучные изделия, керамзит.

**Теплоизоляционные трепельные** (диатомовые) изделия изготавливают пластическим методом из трепела или диатомита, иногда с выгорающими добавками. По средней плотности изделия подразделяют на марки 500, 600, 700. Теплопроводность таких изделий при температуре  $350^{\circ} - 0,18...0,27$  Вт/(м $\cdot^{\circ}$ С). Их применяют для теплоизоляции до  $900^{\circ}$  С.

**Керамзит** представляет собой ячеистый материал в виде гравия. Сырьем для его производства служат глины, содержащие оксиды железа и органические примеси

**Огнеупорные материалы** изготавливают в виде кирпича, блоков, плит и фасонных элементов из различных сырьевых компонентов по технологии, близкой к керамической (формование или прессование, сушка, обжиг). Их разделяют на *огнеупорные* ( $1580...1770^{\circ}$ С), *высокоогнеупорные* ( $1770...2000^{\circ}$ С) и *высшей огнеупорности* (выше  $2000^{\circ}$  С), а в зависимости от химико-минерального состава – на *кремнеземистые*, *алюмосиликатные*, *магнезиальные*, *хромистые*, *углеродистые*. Наибольшее распространение в строительстве получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупорные изделия.

**Кремнеземистые (динасовые) огнеупоры** изготавливают из кварцевых пород (кварц, кварцит, кварцевый песок) с добавкой глины. Эти огнеупоры имеют высокую огнеупорность (до  $1730^{\circ}$  С), достаточную прочность ( $15...35$  МПа), но малую термическую стойкость. Применяют динасовые изделия для кладки сводов и стен мартеновских и стекловаренных печей.

**Алюмосиликатные огнеупоры** в зависимости от содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в обожженном продукте разделяют на три вида: полукислые, шамотные, высокоглиноземистые. *Полукислые* огнеупоры изготавливают обжигом кварцевых пород на глинистой или каолиновой связке или обжигом глин и каолинов с большим содержанием кварцевого песка. Огнеупорность изделий на каолиновой связке не ниже  $1710^{\circ}$ С, на глиняной – не ниже  $1580^{\circ}$  С. Их применяют для футеровки коксовых печей, вагранок и др. *Шамотные огнеупоры* получают из огнеупорных глин и каолинов, отощенных шамотом из той же глины. Огнеупорность шамотных материалов  $1730^{\circ}$ С, а прочность при сжатии  $10...12,5$  МПа. Они отличаются термической стойкостью и шлакоустойчивостью. Применяют их для кладки доменных печей, стен и пода керамических печей, облицовки топок паровых котлов, дымоходов и т. д. *Высокоглиноземистые огнеупоры* изготавливают из высокоглиноземистого глинистого сырья с содержанием глинозема более 45 % (бокситы, диаспор, корунд и др.) обжигом для спекания или методом литья из расплава. Эти изделия имеют огнеупорность до  $2000^{\circ}$ С и высокую шлако- и стеклоустойчивость. Применяют их для кладки стекловаренных печей.

**Магнезиальные изделия** состоят в основном из периклаза  $\text{MgO} - 80...85\%$ , огнеупорность их достигает  $2000^{\circ}$ С.

**Легковесные огнеупоры** – материалы с высокой пористостью ( $45...85\%$ ) и малой плотностью ( $1,3...0,4$  г/см $^3$ ), обладают высокой огнеупорностью, малой теплопроводностью и достаточной прочностью. Их применяют для футеровки промышленных печей разного назначения. При этом значительно (в  $2...4$  раза) сокращается продолжительность разогрева (холостой ход печи), в  $2...3$  раза

уменьшается толщина ограждающих стен и на 20...70 % снижаются удельные расходы топлива на тепловые процессы.

Для этих же целей используют алюмосиликатные и другие волокна, обладающие высокой прочностью, термической стойкостью и малой теплопроводностью.

### 3.3.5. Каменные материалы для крепления горных выработок

**Естественные камни** для крепления горных выработок применяют редко и используют главным образом при кладке фундаментов под крепи из искусственных камней, бетона и железобетона. В качестве крепежного материала наиболее пригодны камни из изверженных пород, а также крепкие песчаники и известняки. Обычно применяют необработанный, естественный камень неправильной формы, называемый бутовым.

**Искусственные камни** – штучный крепежный материал, изготавливаемый заводским способом. Для крепления горных выработок применяют в основном бетонные камни (бетониты и блоки) и иногда керамический кирпич, но чаще всего последний используют для перемычек.

**Кирпич** формуют из глины с добавкой песка с последующим: обжигом в специальных печах. Стандартные размеры кирпича  $250 \times 120 \times 65$  мм. Объемная масса кирпича  $1,6...1,9$  т/м<sup>3</sup>. Отклонения размеров не должны превышать: по длине  $\pm 5$  мм, по ширине и толщине  $\pm 3$  мм, а искривления поверхностей и ребер  $\pm 3$  мм. Марки применяемого кирпича, соответствующие средней прочности при сжатии, 150, 175 и 200. На 1 м<sup>3</sup> кирпичной кладки расходуется 400 шт кирпича и  $0,27...0,3$  м<sup>3</sup> раствора. Кирпич должен быть нормально и однородно обожжен, иметь однородное строение. Не допускается в нем наличие трещин, включение камней и извести.

**Бетониты** – искусственные камни из обычного бетона или шлакобетона массой до 40 кг/шт. Бетониты изготавливают на виброударных станках с последующим пропариванием в специальных камерах. Прочность бетонитов должна быть не ниже 15 МПа. Масса бетонитов колеблется от 20 до 40 кг. По форме различают прямоугольные и клиновидные бетониты. Отклонения от основных размеров не должны превышать  $\pm 3$  мм. Бетониты с искривлением граней и ребер более 4 мм к применению не допускаются. Прямоугольные бетониты применяют для кладки прямых стен крепи горизонтальных и наклонных выработок; для устройства искусственных жестких полос для охраны и повторного использования выемочных горных выработок. А для устройства податливых полос применяют силикатные газобетонные облегченные прямоугольные блоки размером  $200 \times 300 \times 600$  мм. Клиновидные бетониты применяют для кладки сводов горизонтальных и наклонных выработок, для сооружения криволинейных конструкций крепи.

Бетонные камни больших размеров, требующие для укладки и установки механических приспособлений, называют **бетонными блоками**. Масса бетонных блоков достигает 200...300 кг и более. Крепь из бетонитов и блоков способна воспринимать в отличие от крепи из монолитного бетона давление горных пород сразу же после ее возведения. Существенный недостаток примене-

ния бетонитов в качестве крепежного материала – большие затраты немеханизированного труда на крепление. При бетонных блоках этот недостаток исключается, поскольку их укладка механизмуется. Бетонные блоки имеют сквозные отверстия, диаметром 50 мм, для захвата исполнительным органом крепеукладчика. После укладки блоков эти отверстия используют для укрепления кронштейнов и подвесок кабелей, трубопроводов и т.д. Блоки снабжены монтажными петлями из проволоки диаметром 8 мм, используемыми при погрузке и разгрузке блоков на заводах-изготовителях и в шахте.

Блоки изготовляют в многогнездных (до 10...12 гнезд) металлических формах с уплотнением бетонной смеси на виброплощадке и с последующим пропариванием отформованных блоков в закрытых камерах. Изготовленные блоки маркируют краской на лицевой плоскости с указанием типоразмера блока.

Бетонные блоки должны иметь чистые контактные поверхности. Наличие раковин, заколов, и наплывов на лицевой и контактных поверхностях не допускается. Отклонение от основных размеров блоков не должно превышать: по высоте  $\pm 3$  мм, по длине  $\pm 5$  мм и по толщине  $\pm 10$  мм.

### 3.4. Неорганические вяжущие вещества

#### 3.4.1. Общие сведения

Для получения многих искусственных строительных материалов или склеивания штучных материалов в изделия и конструкции широко используют неорганические (известь, гипсовые вяжущие, растворимое стекло, цементы) и органические (битумы, дегти, смолы, клей) вяжущие вещества.

**Неорганические вяжущие вещества** представляют собой искусственные тонкоизмельченные порошки, способные при смешивании с водой (в отдельных случаях с растворами некоторых солей) образовывать пластично-вязкую и легкоформуемую массу (вяжущее тесто), которая в результате физико-химических процессов постепенно затвердевает и переходит в камневидное тело.

В большинстве случаев в вяжущее тесто вводят заполнители, что способствует экономии вяжущего и улучшению свойств искусственного камня. Неорганические вяжущие вещества, в зависимости от их способности твердеть в определенной среде, делят на *воздушные* и *гидравлические*.

**Воздушные вяжущие** (известь воздушная, гипсовые и магнезиальные вяжущие, растворимое стекло) твердеют и длительно сохраняют прочность лишь в воздушной среде.

Вяжущие вещества, способные твердеть и длительно сохранять или повышать прочность не только на воздухе, но еще лучше в воде, называют **вяжущими водного твердения** или **гидравлическими вяжущими** (гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности, глиноземистый и расширяющийся цементы, гипсоцементно-пуццолановые и некоторые местные вяжущие вещества). Число разновидностей гидравлических вяжущих непре-

рывно увеличивается в результате использования новых видов сырья и применения новых способов производства.

В отдельную группу выделяют **вяжущие вещества автоклавного твердения** (известково-кремнеземистые, известково-нефелиновые, бесклинкерные шлаковые и зольные вяжущие материалы), хотя по существу они тоже относятся к гидравлическим вяжущим. Такие вяжущие эффективно твердеют только в среде нагретого насыщенного пара в автоклавах, где температура 175°C и более и давление 0,9...1,6 МПа.

В самостоятельную группу **кислотостойких вяжущих** входит кислотоупорный цемент.

Прочность вяжущих изменяется во времени, поэтому оценивают вяжущие по прочности, набранное за определенное время твердения в условиях, установленных стандартом. Этот показатель принимают за марку вяжущего. Например, марка гипсовых вяжущих определяется по прочности образцов спустя 2 ч после их изготовления, а портландцемента через 28 сут твердения.

Условно принято различать два периода в процессе твердения вяжущего вещества – схватывание и собственно твердение. Момент, когда пластичное вяжущее тесто начинает загустевать и теряет пластичность, соответствует **началу схватывания**. Далее вяжущее тесто все больше и больше уплотняется, полностью загустевает и постепенно превращается в твердое камневидное тело, необладающее еще практически заметной прочностью. Этот момент считают **концом схватывания**.

Некоторые вяжущие схватываются в течение нескольких минут, а затвердевают за несколько часов (например, гипсовые). Наиболее медленно твердеет воздушная гашеная известь, которая в обычных условиях заметно затвердевает лишь через несколько недель или месяцев. Большинство цементов схватывается в течение десятков минут или нескольких часов, а интенсивно твердеет в сроки до месяца, хотя процесс твердения при благоприятных условиях продолжается многие годы. Все операции по транспортированию и укладке смесей на основе вяжущих должны заканчиваться до начала схватывания. Повторное перемешивание, особенно с добавлением воды, с целью придания пластичности схватывающейся смеси приводит к существенному снижению прочности затвердевшей смеси.

Неорганические вяжущие, получаемые искусственно путем обжига природного сырья, появились в глубокой древности.

Некоторые из них (воздушную известь, гипс и их смеси) уже использовали для возведения египетских пирамид и других сооружений. Римляне, сооружая водопроводы, морские сооружения, использовали вяжущие, состоящие из смеси воздушной извести со специальными измельченными добавками (вулканическими пеплами, обожженной глиной), которые сохраняли прочность в воде.

Применение вяжущих веществ в России относится к X в. При сооружении Десятинной церкви в Киеве (990 г.) использовали известь, там же при возведении Софийского собора (XI в.) применяли известь с добавкой цемянки (толченого кирпича). На известковом растворе сложены стены Московского Кремля (конец XV в.).



В XVIII в. появились более водостойкие вяжущие – гидравлическая известь и романцемент, которые получали обжигом известняков с повышенным содержанием глинистых веществ, а также мергелей и искусственных смесей известняка и глины. Свойства этих вяжущих, опыт их производства и применения описаны в работах русских ученых акад. В.М. Севергина (1807) и проф. А. Шарлевиля (1822).

Дальнейшим толчком развития производства и применения вяжущих веществ явилось изобретение цемента более высокой прочности и водостойкости, названного портландцементом.

Изобретение портландцемента часто приписывают английскому каменщику Д. Аспдину, который в 1824 г. получил патент на изготовление вяжущего вещества обжигом смеси извести с глиной. За сходство по цвету с естественным камнем из каменоломен под г. Портлэнд в Англии он назвал это вяжущее портландцементом. Однако Аспдин не обжигал смесь до спекания (частичного плавления). Поэтому вяжущее, полученное им, по технологии и свойствам являлось разновидностью романцемента и, следовательно, не походило на современный портландцемент. В то же время в России военный техник Е.Г. Челиев в 1817–1825 гг. изготавливал цемент из смесей извести или известковой штукатурки с глиной, производя их обжиг до частичного расплавления компонентов с последующим измельчением полученного продукта. При затворении вяжущего водой рекомендовалось вводить небольшое количество гипса. Свои работы Е.Г. Челиев завершил изданием книги (1825), в которой описал и научно обосновал применявшийся им способ изготовления цемента, принципиально не отличающийся от технологии современного портландцемента. Исторически справедливо считать основоположником портландцемента Е.Г. Челиева.

### **3.4.2. Сырьевые материалы и основы технологии неорганических вяжущих веществ**

Исходными материалами для производства неорганических вяжущих веществ являются различные горные породы, а также некоторые массовые побочные продукты металлургической, энергетической, химической и других отраслей промышленности (шлаки, золы и т.д.).

Для изготовления гипсовых вяжущих веществ применяют горные породы, состоящие из двухводного гипса и ангидрита

Производство магнезиальных вяжущих базируется на природном магнезите доломите.

Карбонатные горные породы в виде известняков, мела, доломитов и мергелей являются основой для получения воздушной и гидравлической извести, романцемента, портландцемента. В производстве портландцемента и его разновидностей чаще используют искусственные смеси известняков или мела и глинистых пород. Для этой же цели, а также для получения смешанных клинкерных и бесклинкерных цементов применяют кремнеземистые горные породы (диатомит, трепел, опоку, вулканические трассы и туф).

Высокоглиноземистые породы (бокситы), состоящие в основном из гидрооксида алюминия, применяют в смеси с известняками для производства глиноземистого цемента.

Широко используют для изготовления различных вяжущих веществ массовые отходы промышленности (доменные и другие металлургические шлаки, шлаки и золы от пылевидного сжигания различных видов твердого топлива, нефелиновый шлам и т.п.). При этом отпадает необходимость организации карьеров, они не требуют топлива на обжиг, многие из этих материалов к тому же находятся в рыхлом или порошкообразном состоянии, что уменьшает расходы энергии на размол. Кроме того, использование отходов способствует охране природы и среды обитания. Все это предопределяет высокую технико-экономическую эффективность использования таких полупродуктов в промышленности вяжущих веществ и способствует охране окружающей среды.

Для регулирования схватывания и твердения вяжущих в них вводят добавки, ускоряющие или замедляющие эти процессы. Для улучшения свойств вяжущего, и предохранения цементов от быстрой потери активности при дальних перевозках и длительном хранении используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), вводимые в вяжущее в количестве 0,1...0,3 % от массы вяжущего.

Придание вяжущим специальных свойств достигают введением в них полимерных органических веществ и других добавок.

### **3.4.3. Воздушные вяжущие вещества**

#### **3.4.3.1. Гипсовые вяжущие вещества**

Гипсовыми вяжущими веществами называют материалы, для получения которых используют сырье, содержащее сернокислый кальций. Чаще это природные гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , реже – некоторые побочные продукты химической промышленности (фосфогипс, борогипс).

**Производство.** Создавая соответствующие условия дегидратации двуводного гипса, можно получить различные гипсовые вяжущие вещества, которые разделяют на две группы: низкообжиговые (собственно гипсовые) и высокообжиговые (ангидритовые) – ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс.

При нагревании двуводного гипса до  $180^\circ\text{C}$  двуводный гипс превращается в полуводный:



а при дальнейшем нагревании до  $200^\circ\text{C}$  полностью обезвоживается, превращаясь в безводный растворимый ангидрит  $\text{CaSO}_4$ .

Модификации полуводного и безводного растворимого гипса значительно отличаются по своим вяжущим свойствам.

При дальнейшем нагревании до  $450...750^\circ\text{C}$  безводный гипс медленно переходит в нерастворимый ангидрит, не обладающий вяжущими свойствами, но если его размолоть и ввести некоторые вещества – катализаторы, он приобретает способность медленно схватываться и твердеть.

При нагревании до  $800...1000^\circ\text{C}$  нерастворимый ангидрит частично разлагается на оксид кальция, сернистый газ и кислород. Полученный продукт, размолотый в порошок, вследствие появления небольшого количества оксида кальция (3...5 %), выполняющего роль катализатора, вновь приобретает свойства схватываться и твердеть.

Для получения гипсовых вяжущих сырье обжигают в печах (вращающихся, шахтных и др.) При обжиге в открытых аппаратах, сообщаемых с атмосферой, вода из сырья удаляется в виде пара и гипсовое вяжущее преимущественно состоит из мелких кристаллов  $\beta$ -модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Твердение гипсовых вяжущих проходит по следующей схеме.

*На первом этапе* (подготовительном) частицы полуводного гипса, приходя в соприкосновение с водой, начинают растворяться с поверхности до образования насыщенного раствора. Одновременно начинается гидратация полуводного гипса до реакции.



Этот период характеризуется пластичным состоянием теста.

*На втором этапе* (коллоидации) наряду с гидратацией растворенного полугидрата и переходом его в двухводный гипс происходит прямое присоединение воды к твердому полуводному гипсу. Это приводит к возникновению двухводного гипса в виде высокодисперсных кристаллических частичек. Этот период характеризуется загустеванием теста (схватыванием).

*На третьем этапе* (кристаллизации) образовавшийся неустойчивый гель перекристаллизовывается в более крупные кристаллы, которые срастаются между собой в кристаллические сростки, что сопровождается твердением системы и ростом ее прочности.

Указанные этапы не следуют строго друг за другом, а налагаются один на другой и продолжаются до тех пор, пока весь полуводный гипс не перейдет в двухводный (практически через 20...40 мин после затвердения). К этому времени достигается максимальная прочность системы во влажном состоянии. Дальнейшее увеличение прочности гипсового камня происходит вследствие его высыхания.

Стандартами на гипсовые вяжущие установлено 12 марок (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. При этом минимальный предел прочности при изгибе для каждой марки вяжущего, по возрастанию, должен отвечать значению соответственно от 1,2 до 8 МПа.

Гипсовые вяжущие относительно быстро схватываются и твердеют. Различают быстротвердеющий (А), нормальнотвердеющий (Б) и медленно твердеющий (В) гипсы со сроками схватывания, соответственно, начало – не ранее 2, 6 и 20 мин, конец – не позднее 15, 30 мин (для В – не нормируется)

### **3.4.3.2. Известь строительная воздушная**

*Сырье и производство.* Для получения воздушной извести пригодны карбонатные породы (известняки, мел, ракушечник, доломитизированные известняки), в которых содержание примесей глины, кварцевого песка и т.п. не превышает 6 %.

Обжиг такого сырья производится до полного удаления диоксида углерода, в результате получают продукт, состоящий в основном из  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ . Чем выше суммарное содержание свободных оксидов кальция и магния, тем выше качество извести. В зависимости от содержания оксида магния различают сле-

дующие виды воздушной извести: кальциевую – MgO не более 5%, магниевую – 5...20 %, доломитовую – 20...40 %.

Обжиг сырья производят в шахтных печах, реже во вращающихся или установках для обжига во взвешенном состоянии и кипящем слое. Основные реакции, происходящие при обжиге:



Реакции разложения этих карбонатов обратимы и зависят от температуры и парциального давления углекислого газа. При термической диссоциации карбоната кальция давление углекислого газа достигает атмосферного при температуре около 900°C, а карбоната магния – около 400 °C. Это и есть теоретически нормальные температуры обжига карбонатов. Практически для удовлетворительного хода обжига температуру печного пространства доводят до 1000...1200 °C (диссоциация карбонатов резко ускоряется).

При оптимальной температуре обжига чистого известняка до полного удаления CO<sub>2</sub> (теоретически 44 %) его масса уменьшается почти в 2 раза, объем же продукта лишь на 10...12 %. Получаемая в виде кусков известь представляет собой весьма пористый материал, состоящий в основном из мелких кристаллов (0,5...2мкм) оксида кальция и частично оксида магния, что и предопределяет ее высокую реакционную способность при взаимодействии с водой.

Известь, выходящую из печи обычно в виде кусков различной величины (комья), называют **комовой негашеной известью**. Это – полупродукт, который для превращения в вяжущее предварительно измельчают химическим путем – гашением водой (**гашеная известь**) или механическим путем – размолотом в мельницах (**молотая негашеная известь**).

**Гашение извести** заключается в том, что вода, соприкасаясь с кусками негашеной извести, поглощается ею, всасываясь в поры, и одновременно химически взаимодействует с оксидами кальция и магния, образуя их гидроксиды:



При этом 1 кг извести-кипелки выделяет 1160 кДж теплоты, которая переводит часть воды в парообразное состояние. Пар вызывает в извести внутренние растягивающие напряжения, под действием которых происходит ее измельчение в тонкий порошок (тоньше, чем у цемента).

В зависимости от количества воды, взятой при гашении, можно получить гидратную известь-пушонку, известковое тесто или известковое молоко.

Для получения извести-пушонки, представляющей собой тонкий белый порошок, теоретически достаточно 32,13% воды от массы извести-кипелки. Практически воды берут в 2...3 раза больше (60...80 %), так как при гашении часть ее испаряется. Порошок извести-пушонки состоит из очень тонких частиц и в 2...3 раза и более превышает объем исходной извести-кипелки.

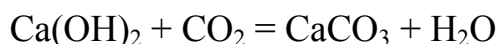
При гашении извести в тесто расход воды увеличивают до 2...3 ч (по массе) на 1 ч извести-кипелки; при еще большем количестве воды получают известковое молоко.

**Известковое тесто** в виде пастообразной концентрированной водной суспензии (плотность около 1400 кг/м<sup>3</sup>) содержит примерно 50 % воды и 50 % очень мелких частиц гидроксидов кальция и магния.

**Известковое молоко** имеет вид жидкости и плотность менее 1300 кг/м<sup>3</sup>.

В строительстве известь, как правило, применяют в смеси с песком или другими заполнителями в виде растворов или бетонов.

Растворы и бетоны на гашеной извести твердеют на воздухе при обычных температурах в результате главным образом двух одновременно протекающих процессов – карбонизации и кристаллизации гидроксидов кальция, вызванной испарением воды. В процессе карбонизации, т. е. взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом воздуха, образуется карбонат кальция и выделяется вода:



Прочность при сжатии растворов на гашеной извести через 28 сут твердения на воздухе редко превышает 0,5...1,0 МПа. При длительном твердении (десятки и даже сотни лет) прочность возрастает до 5...7 МПа и более. Это объясняется не только дальнейшей карбонизацией и кристаллизацией извести, но и накоплением с течением времени гидросиликатов кальция, которые образуются, хотя и крайне медленно, при взаимодействии гидроксида кальция с диоксидом кремния кварцевого песка.

Процесс образования гидросиликатов кальция в системе известь – кварцевый песок можно резко ускорить и, следовательно, получить более высокую прочность изделий на известковом вяжущем путем тепловлажностной обработки в автоклавах.

Превращение в твердое камневидное тело известковых растворных или бетонных смесей на молотой негашеной извести обусловлено гидратационным твердением такой извести.

В отличие от гашеной извести, молотая известь обладает способностью быстро схватываться и твердеть. Прочность при сжатии растворов через 28 сут твердения на воздухе в обычных условиях достигает 2...3 МПа и более.

Важным свойством воздушной извести, особенно гашеной, является высокая пластичность, которая связана с ее высокой водоудерживающей способностью. Вода, адсорбционно удерживаясь на поверхности тонкодисперсных частиц гидроксида кальция, создает своеобразную смазку, уменьшающую трение между ними.

**Применение.** Традиционным является использование извести для изготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях. Широкое применение воздушная известь нашла в производстве различных плотных и ячеистых автоклавных материалов в виде силикатного кирпича и крупных изделий. Воздушную известь используют также в производстве местных вяжущих веществ и для получения дешевых красочных составов.

При работе с известью на всех стадиях ее изготовления и применения необходимо учитывать, что она является щелочью. Попадание извести на кожу, слизистые оболочки и в легкие вредно для здоровья человека, поэтому при работе с известью необходимо принимать меры безопасности.

### 3.4.4. Гидравлические вяжущие вещества

#### 3.4.4.1. Портландцемент

Портландцемент и его разновидности являются основным вяжущим материалом в современном строительстве.

**Портландцемент** – продукт тонкого измельчения клинкера, получаемого обжигом до спекания, т. е. частичного плавления сырьевой смеси, обеспечивающей преобладание в нем высокоосновных силикатов кальция (70...80 %). Для регулирования схватывания и некоторых других свойств при помоле клинкера в цемент добавляют небольшое количество гипса (1,5...3,5 %).

**Сырье и производство.** Для получения доброкачественного портландцемента химический состав клинкера, а, следовательно, и состав сырьевой смеси должны быть устойчивы.

Многочисленные исследования и практический опыт показывают, что элементарный химический состав клинкера должен находиться в следующих пределах (% по массе):  $\text{CaO}$  – 63...66;  $\text{SiO}_2$  – 21...24;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 4...8;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2...4, их суммарное количество составляет 95...97 %. Следовательно, для производства портландцемента следует применять такие сырьевые материалы, которые содержат много карбоната кальция и алюмосиликатов (известняки, глины, известковые мергели). Чаще используют искусственные сырьевые смеси из известняка или мела и глинистых пород при соотношении между ними в сырьевой шихте примерно 3:1 (% по массе):  $\text{CaCO}_3$  – 75...78 и глинистого вещества – 22...25. Вместо глины или для частичной ее замены используют также отходы различных производств (доменные шлаки, нефелиновый шлак и т.п.). Нефелиновый шлак, получающийся при производстве глинозема, уже содержит 25...30 %  $\text{SiO}_2$  и 50...55 %  $\text{CaO}$ ; достаточно к нему добавить 15...20 % известняка, чтобы получить сырьевую смесь. При этом производительность печей повысится примерно на 20 %, а расход топлива снизится на 20...25 %. Для обеспечения нужного химического состава сырьевой смеси применяют корректирующие добавки, содержащие недостающие оксиды.

В качестве топлива используют природный газ, реже мазут и твердое топливо в виде угольной пыли. Стоимость топлива составляет до 26 % себестоимости готового цемента, поэтому на цементных заводах много внимания уделяется его экономии.

Технология портландцемента в основном сводится к приготовлению сырьевой смеси надлежащего состава, ее обжигу до спекания (получают клинкер) и помолу в тонкий порошок.

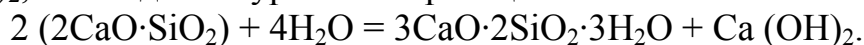
Сырьевую смесь готовят сухим или мокрым способом. В соответствии с этим различают и способы производства цемента – сухой и мокрый. В Украине на ранее построенных цементных заводах преобладает мокрый способ производства цемента, но в настоящее время внедряется сухой. Важнейшим преимуществом сухого способа производства является не только снижение расхода теплоты на обжиг в 1,5...2 раза, чем при мокром, но и более высокие удельные съемы в печах сухого способа.

**Твердение.** Цементное тесто, приготовленное путем смешивания цемента с водой, вначале (в течение 1...3 ч после затворения) пластично и легко формуется. Потом наступает схватывание, заканчивающееся обычно через 5...10 ч после затворения; в период схватывания цементное тесто загустевает, утрачивая подвижность, но его механическая прочность еще невелика. Переход цементного теста в твердое состояние означает конец схватывания и начало твердения, которое характерно возрастанием прочности. Твердение при благоприятных условиях длится годами – вплоть до полной гидратации цемента.

**Химические реакции.** Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. Уже в начальной стадии гидратации цемента происходит быстрое взаимодействие с водой, сопровождающееся образованием гидросиликата кальция и гидроксида:



После затворения гидроксид кальция образуется из алита, так как белит гидратируется медленнее алита и при его взаимодействии с водой выделяется меньше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , что видно из уравнения реакции:



**Гидросиликат кальция**  $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  образуется при полной гидратации чистого трехкальцевого силиката в равновесии с насыщенным раствором гидроксида.

Термин "**гидротация**" объединяет процессы взаимодействия цемента с водой, происходящие при его схватывании и твердении.

При увеличении степени гидратации цемента возрастает объем новообразований и уменьшается пористость цементного камня, при этом повышается прочность и долговечность бетона. Совершенствуя технологию бетона, нужно добиваться наиболее полного использования вяжущего, что эквивалентно его экономии.

Скорость химических реакций, протекающих при твердении цемента, а также полнота использования цемента и его прочность увеличиваются при повышении тонкости помола цемента.

Для непрерывного повышения прочности цементного камня необходима влажная теплая среда. Твердение практически прекращается, если цементный камень будет находиться в сухой среде или при отрицательной температуре. Замерзший камень после оттаивания способен к дальнейшему твердению, но в этом случае не всегда может быть достигнута такая же прочность, как при твердении в нормальных условиях.

Производственные требования часто вызывают необходимость регулировать процесс формирования структуры цементного камня и бетона, ускорять или замедлять его.

Помимо выбора цемента надлежащего минерального состава и тонкости помола ускорение твердения бетона достигается тепловлажностной обработкой (пропариванием, автоклавной обработкой), введением специальных добавок и их сочетанием.

**Свойства.** К основным свойствам портландцемента относятся тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объе-

ма и прочность (марка) цемента. При необходимости оценивают и другие свойства: плотность и насыпную плотность, тепловыделение, стойкость в различных условиях среды и т.п.

**Тонкость помола** – один из факторов, определяющих быстроту твердения и прочность цементного камня. Обычный портландцемент измельчают довольно тонко – остаток на сите № 008 (4900 отв/см<sup>2</sup>) не должен превышать 15%, что соответствует удельной поверхности цемента 2500...3000 см<sup>2</sup>/г.

**Водопотребность портландцемента** характеризуется количеством воды (% массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста нормальной густоты, т.е. заранее заданной стандартной пластичности, определяемой погружением в тесто цилиндра пестика прибора. Водопотребность зависит от минерального состава и тонкости помола цемента и колеблется в пределах 22...26 %.

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяют на тесте нормальной густоты. Начало схватывания цементного теста должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы этого прибора в тесто нормальной густоты. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера вводят добавку двуводного гипса, а в случае необходимости – специальные добавки – замедлители или ускорители схватывания.

Процесс твердения цементного камня сопровождается объемными деформациями: набуханием при твердении в воде, усадкой при твердении на воздухе. Эти неизбежные изменения объема учитываются в производстве строительных работ, предусматривая устройство усадочных швов. Неравномерное изменение объема цементного камня при твердении связано с наличием в клинкере свободных оксидов кальция и магния, которые при гидратации расширяются, вызывая местные деформации. По стандарту равномерность изменения объема определяют в образцах-лепешках, изготовленных из теста нормальной густоты, которые через 24 ч предварительного твердения кипятят 3 ч в воде. Лепешки не должны деформироваться, на них не допускаются радиальные трещины. Цемент, не обладающий равномерностью изменения объема, нельзя применять в строительстве.

**Прочность портландцемента** (марка) является главным свойством, характеризующим его качество. В зависимости от предела прочности при сжатии (кгс/см<sup>2</sup>) и с учетом предела прочности при изгибе стандартных образцов-балочек, размером 40×40×160 мм, через 28 сут твердения портландцемент разделяют на марки: 400, 500, 550, 600.

**Фактическую прочность**, полученную при испытании на осевое сжатие половинок указанных образцов, называют активностью (маркой) цемента.

Прочность цемента при нормальных условиях твердения наиболее интенсивно нарастает в первые 7 сут твердения. Уже к третьим суткам она составляет 30...35 %, а к седьмым – 60...70%, в зависимости от марки цемента.



#### 3.4.4.2. Виды цементов

Твердение всех гидравлических вяжущих веществ в воздушной среде сопровождается уменьшением объема цементного камня (усадкой). Усадочные деформации могут привести к образованию трещин в бетонах, что нарушает монолитность конструкций и снижает их долговечность. Для расширяющихся и безусадочных цементов характерно равномерное приращение объема цементного камня в начальный период твердения, что компенсирует усадочные явления. Линейное расширение у расширяющихся цементов обычно составляет 0,3...0,1 %, у безусадочных – 0,01...0,1 %.

Многочисленные виды расширяющихся цементов, представляют собой смешанные цементы, состоящие из основного вяжущего вещества (глиноземистый или портландцемент) и компонентов, обеспечивающих увеличение объема цементного камня в начальный период твердения (в большинстве случаев гипс, высокоосновные гидроалюминаты кальция, глиноземистые шлаки).

В процессе твердения цементов образуется трехсульфатный гидросульфат алюмината кальция  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot(31\text{...}32)\text{H}_2\text{O}$  и возникает связанный с этим эффект расширения.

Наибольшее применение в нашей стране нашли следующие расширяющиеся цементы: на основе глиноземистого цемента – *водонепроницаемый расширяющийся цемент* (ВРЦ), *водонепроницаемый безусадочный цемент* (ВБЦ), *гипсоглиноземистый цемент*; на основе портландцемента – *расширяющийся портландцемент* (РПЦ), а на основе портландцемента и глиноземистого цемента – *напрягающий цемент* (НЦ).

**Водонепроницаемый расширяющийся цемент** (ВРЦ) получают смешиванием или совместным помолом глиноземистого цемента (70%), полуводного гипса (20%) и молотого специально изготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$  (10%).

**Водонепроницаемый безусадочный цемент** (ВБЦ) состоит из тех же компонентов, что и ВРЦ, но взятых в других соотношениях. Эти цементы быстро схватываются (начало схватывания – несколько минут, конец – не позднее 5...10 мин) и быстро твердеют, достигая к 3 сут 60...80 %-ной марочной прочности. Они образуют цементный камень высокой водонепроницаемости (выдерживает давление воды до 0,7 МПа), за что и получили второе название водонепроницаемых цементов. Водонепроницаемые расширяющиеся и безусадочные цементы применяют для гидроизоляции и заделки швов тубингов, раструбных труб, стыков и трещин в бетонных и железобетонных конструкциях, подливок под машины и фундаментных болтов и т.п. Нельзя применять эти цементы в конструкциях, эксплуатируемых в среде с недостаточной влажностью или при температуре более 80 °С.

**Расширяющийся портландцемент** (РПЦ) получают из (% по массе): портландцементного клинкера – 58...63, высокоглиноземистого доменного шлака – 5...7, двуводного гипса – 7...10 и активной минеральной добавки – 20...25, которые совместно размалывают в тонкий порошок – цемент. РПЦ характеризуется более быстрым нарастанием прочности, чем портландцемент,

особенно при кратковременном пропаривании изделий, высокой плотностью и водонепроницаемостью цементного камня до 1,2 МПа и более. Применяют РПЦ там же, где и другие расширяющиеся цементы, а также в производстве сборных железобетонных изделий, что позволяет сократить время тепловой обработки до 4...6 ч.

**Напрягающий цемент** (НЦ) изготавливают на основе клинкеров портландцемента (65...70%) и глиноземистого цемента (16...20%) с добавлением двуводного гипса (14...16 %) путем совместного помола до удельной поверхности не менее 3500 см<sup>2</sup>/г.

Напрягающий цемент быстро схватывается (через 2...7 мин) и быстро твердеет, приобретая через сутки нормального твердения прочность до 20 МПа. Характерной особенностью этого цемента являются не только значительная величина, но и большая энергия расширения, обеспечивающие самонапряжение камня до 3...4 МПа. Это свойство НЦ позволяет использовать его для изготовления так называемых самонапряженных железобетонных конструкций, в которых натяжение арматуры возникает при расширении твердеющего цемента. При этом арматура может получить двух- и трехосное напряжение, чего трудно добиться обычными приемами натяжения арматуры.

Напрягающий цемент рекомендуется применять для изготовления напорных труб и других тонкостенных железобетонных изделий и конструкций с напряженной арматурой.

### 3.4.5 Бетоны

#### 3.4.5.1. Общие сведения и основные свойства бетонов и бетонных смесей

**Бетоны** – искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей, взятых в определенных пропорциях. До затвердевания эта смесь называется **бетонной смесью**.

*Вяжущее вещество* и *вода* являются активными составляющими бетона; в результате реакции между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей.

**Заполнители** (песок, гравий, щебень) в большинстве случаев не вступают в химическое соединение с цементом и водой. Эти материалы образуют жесткий скелет бетона и уменьшают его усадку, вызываемую усадкой цементного камня при твердении. В легких бетонах пористые заполнители уменьшают плотность и теплопроводность бетона.

Для приготовления заполнителей используют преимущественно местные горные породы и отходы производств (шлаки и др.). Применение этих дешевых заполнителей снижает стоимость бетона и делает его, в основном, местным материалом, так как привозной цемент составляет 10...15% массы бетона, а заполнители и вода – 85...90%. В случае отсутствия местных доброкачественных заполнителей для бетона, их приходится привозить со специальных карьеров или заводов.

В бетон могут вводиться специальные добавки, улучшающие свойства бетонной смеси и бетона, повышающие подвижность бетонной смеси, регулирующие сроки схватывания, ускоряющие твердение бетона в раннем возрасте, повышающие его морозостойкость.

Основным технологическим свойством бетонной смеси является *удобоукладываемость*.

*Удобоукладываемость* бетонной смеси оценивается по указателям подвижности и жесткости в соответствии с методами испытаний, приведенными в ГОСТ 10181-76 (табл. 3.3).

*Подвижность* бетонной смеси следует выбирать в соответствии с видом конструкции. Основными свойствами затвердевшего бетона являются *прочность при сжатии, растяжении и изгибе, деформации усадки и расширения, водонепроницаемость, водопоглощение, морозостойкость*. В некоторых случаях определяют *прочность при срезе и смятии, сцепление бетона с арматурой, упругопластические свойства, огнестойкость*.

Таблица 3.3

#### Классификация бетонных смесей по степени их удобоукладываемости

Состояние смеси	Подвижность, см	Жесткость, с
Особо жесткая	0	Более 200
Жесткая.	0	60...200
Умеренно жесткая	0	30...60
Малоподвижная	1 ...5	15...30
Подвижная	6...14	5...15
Литая	Более 15	–

Изменение расхода цемента при данном водосодержании в определенных пределах почти не влияет на жесткость или подвижность бетонной смеси (табл. 3.4).

Таблица 3.4

#### Минимальный расход цемента, обеспечивающий получение нерасслаиваемой бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>

Состояние смеси	Предельная крупность зерен заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая	160	150	140	130
Жесткая	180	160	160	140
Умеренно жесткая	190	170	160	140
Малоподвижная	200	180	160	160
Подвижная	220	200	180	160
Литая	250	220	150	180

*Прочность*. Активность и содержание в бетоне цемента прямо сказываются на прочности бетона. Однако увеличение содержания цемента в бетоне положительно влияет только до определенных пределов, после которых прочность мало изменяется, а другие свойства бетона могут ухудшаться. Так, с по-

вышением расхода цемента увеличиваются усадка и ползучесть бетона, а также его экзотермия в начальный период твердения. В определенных условиях это может вызвать появление усадочных и температурных трещин.

Повышение активности цемента позволяет сократить его расход, за исключением случаев, когда содержание цемента назначается из условий плотности бетона.

Прочность бетона во многом зависит от содержания в нем воды затворения (рис. 3.4).

Качество заполнителей также оказывает существенное влияние на прочность бетона. Чем мельче песок, тем большими будут его удельная поверхность, водопотребность бетонной смеси и расход цемента. Для ориентировочного представления о возможном перерасходе цемента на рис. 3.5 приведен график примерной зависимости среднего расхода цемента в бетоне марки М150 от крупности песка при условии применения цемента марки М300 и одинаковой подвижности бетонной смеси.

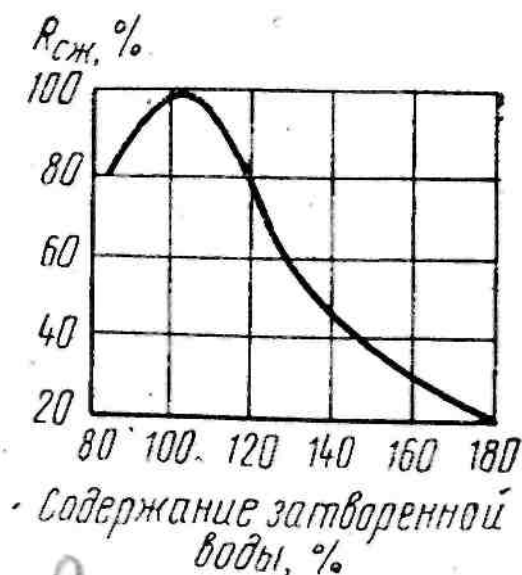


Рис. 3.4. Влияние количества воды затворения бетонной смеси на прочность бетона

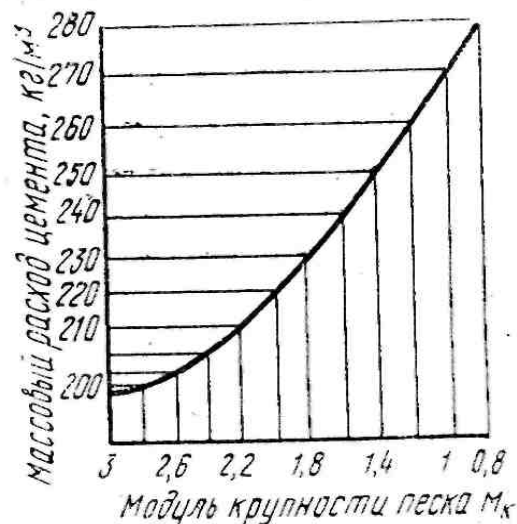


Рис. 3.5. Расход цемента для бетона марки М150 на песках различной крупности

Снижение прочности бетона на мелких и очень мелких песках и связанный с этим перерасход цемента зависят от марки применяемого бетона, активности и тонкости помола цемента.

Использование щебня, гравия и щебня из гравия, не отвечающих нормативным рекомендациям по зерновому составу, приводит к увеличению пустотности смеси крупного заполнителя и, как следствие, к снижению прочности бетона на 5...16%.

Наибольшая крупность заполнителя в бетоне определяется наименьшим сечением конструкции, расположением в ней арматуры и густотой армирования. При этом предельная крупность зерен не должна быть более 1/3 наименьшего размера конструкции и не более 3/4 расстояния в свету между стержнями арматуры.

Использование гравия вместо щебня снижает прочность бетона, особенно высоких марок, на 10...20%.

Большое влияние на прочность бетона оказывает соотношение мелкого и крупного заполнителя. Оптимальным соотношением будет такое, при котором достигается наименьшая водопотребность при заданной удобоукладываемости. Обычно для подвижной бетонной смеси соотношение между мелким и крупным заполнителем определяют исходя из полного заполнения пустот в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен гравия или щебня.

Рост прочности бетона во времени возможен только при определенных температурно-влажностных условиях, исключающих преждевременное испарение воды из бетона (табл. 3.5). Чем раньше защищен бетон от высыхания, тем выше конечная прочность. Нарастание прочности бетона при тепловой обработке зависит от температуры изотермического процесса, вида применяемого цемента, его минералогического состава и удельной поверхности, значения водоцементного отношения в бетонной смеси и ее жесткости

Таблица 3.5

#### Рост прочности бетона на портландцементе

Возраст бетона, сут	Относительный предел прочности при сжатии, %	Возраст бетона, лет	Относительный предел прочности при сжатии, %
7	60...70		
28	100	1	175
90	125	2	200
180	150	4...5	225

Сопротивление бетона растяжению и изгибу зависит от тех же факторов, что и при сжатии. Прочность бетона при растяжении составляет 0,06...0,11 прочности при сжатии. Прочность при изгибе несколько выше, чем прочность при растяжении, и составляет 0,1...0,2 прочности при сжатии.

**Усадка и расширение.** В процессе твердения происходят объемные изменения бетона. Твердение бетона на воздухе, за исключением бетонов на безусадочном и расширяющемся цементах, сопровождается уменьшением объема, т. е. усадкой. При твердении бетона в воде вначале объем его несколько увеличивается, но в более поздние сроки набухание прекращается и начинается усадка. Большую усадку имеют бетоны из жирных смесей, на быстротвердеющих высокомарочных цементах и с мелкими пористыми заполнителями, содержащие большое количество воды затворения.

Особенно велика усадка, в начальный период твердения, достигающая за первые сутки 60...70% месячной усадки.

Усадка бетона на обычном цементе при среднем его расходе 250...300 кг/м<sup>3</sup> колеблется в пределах 0,1...0,3 мм/м. В мелкозернистом бетоне усадка достигает 0,5 мм/м и более. При неизменных температурно-влажностных условиях усадочные деформации стабилизируются в течение 1...1,5 года.

Усадка не нормируется, но ее необходимо учитывать во избежание развития в бетоне внутренних напряжений, вызывающих появление усадочных мик-

ротрещин, ухудшающих механические свойства бетона, снижающих его стойкость в агрессивной среде и увеличивающих проницаемость.

Объемные изменения в бетоне могут быть вызваны нагреванием теплом, выделяющимся при экзотермических реакциях цемента с водой. Особенно значительны температурные расширения бетона в массивных сооружениях.

Изменение объема бетона может привести к значительным деформациям конструкций. Чтобы предотвратить появление трещин, в крупных бетонных конструкциях устраивают деформационные швы. Для уменьшения экзотермии бетона применяют цементы с малым выделением тепла при твердении.

**Водонепроницаемость** бетона определяется его плотностью. Плотность, а следовательно и водонепроницаемость бетона, повышаются с увеличением расхода цемента при постоянном расходе воды или с уменьшением водоцементного отношения при условии, что бетонная смесь остается удобоукладываемой. При заданном расходе цемента водонепроницаемость тем выше, чем лучше гранулометрический состав заполнителей, (чем меньше их пустотность) и чем лучше уплотнена, бетонная смесь при укладке.

Высокой водонепроницаемостью характеризуются бетоны на расширяющемся и глиноземистом цементах.

**Водопоглощение** бетона зависит от плотности его структуры и происходит при сорбционном увлажнении или непосредственном контакте с водой в результате капиллярного подсоса влаги или проникания ее через открытые поры. Для обычного тяжелого бетона водопоглощение зависит от расхода цемента и водоцементного отношения и составляет 4...8% массы.

**Морозостойкость.** При замораживании бетона в насыщенном водой состоянии в нем возникают растягивающие напряжения вследствие увеличения объема воды при замерзании примерно на 10%, так как плотность льда (0,917) меньше плотности воды. Величина этих напряжений может превзойти собственную прочность бетона на растяжение, что приводит к нарушению его монолитного строения и к образованию волосяных трещин. При последующем насыщении бетона водой и замораживании, образование льда в микротрещинах приводит к дальнейшему нарушению структуры бетона и понижению его прочности. Морозостойкость бетона тем выше, чем больше его плотность. При применении морозостойких заполнителей морозостойкость бетона определяется морозостойкостью цементного камня. С увеличением водоцементного отношения уменьшается плотность и прочность цементного камня, а следовательно, понижается его морозостойкость.

#### **3.4.5.2. Классификация бетонов**

Бетоны классифицируют по следующим признакам: по плотности заполнителя, виду вяжущего вещества, крупности заполнителя, прочности, морозостойкости, назначению.

Основную классификацию бетонов производят по плотности, зависящей, главным образом, от плотности цементного камня, вида заполнителей и структуры бетона.

С этим связаны основные свойства бетона – прочность, морозостойкость, водонепроницаемость, теплопроводность и др. По плотности крупных заполнителей бетоны разделяются на пять видов:

1) особотяжелый, содержащий такие тяжелые заполнители, как стальные опилки или зерна (стальбетон), железные руды или барит (баритовый бетон); плотность этих бетонов, выше  $2600 \text{ кг/м}^3$ ;

2) тяжелый (обычный), содержащий плотные заполнители (кварцевый песок, щебень или гравий из плотных каменных пород); плотность этого бетона  $2100 \dots 2600 \text{ кг/м}^3$ ;

3) облегченный, например, с кирпичным щебнем или крупнопористый (беспесчаный); плотность  $1800 \dots 2000 \text{ кг/м}^3$ ;

4) легкий, содержащий пористые заполнители (шлак, пемзу, туф и т.п.), обычной плотной структуры или крупнопористый; его плотность  $1200 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$  (чаще  $1300 \dots 1500 \text{ кг/м}^3$ );

5) особо легкий, очень пористый, ячеистый (пенобетон, газобетон) или крупнопористый с легкими заполнителями; плотность меньше  $1200 \text{ кг/м}^3$  (чаще  $500 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ ).

В зависимости от вида вяжущих веществ бетоны подразделяются на цементный, цементно-полимерный, силикатный (на извести), шлакощелочной и другие виды бетона.

**Бетон** – один из основных строительных материалов. Он ценен тем, что ему можно придавать самые разнообразные свойства, изменяя в широких пределах прочность, плотность, теплопроводность, и изготавливать из него сборные конструкции, изделия и монолитные сооружения различной формы и назначения. Бетон широко используют в гражданском, промышленном, гидротехническом, теплоэнергетическом, дорожном и других видах строительства.

В зависимости от применения различают бетоны: *обычный* – для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, перекрытий, сводов, мостов и т.п.); *гидротехнический* – для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений и т.п.; *бетон для стен зданий* (главным образом, легкий бетон) и легких перекрытий; *теплоизоляционный особо легкий* (пено- и газобетон); *бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий; специального назначения*, например *кислотоупорный, жароупорный, непроницаемый для гамма-лучей* и др.

Ниже подробно рассматривается тяжелый (обычный) бетон, чаще всего применяемый в промышленном, гидротехническом и дорожном строительстве и горно-рудной промышленности.

### **3.4.5.3. Основные требования к бетонам и проектирование состава бетона**

В зависимости от назначения бетоны должны удовлетворять следующим требованиям:

– бетоны для обычных железобетонных конструкций должны иметь заданную прочность (главным образом, при сжатии), для сооружений, находящихся на открытом воздухе, кроме того, важна морозостойкость;

– бетоны для гидротехнических сооружений должны обладать высокой плотностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, достаточной прочностью, малой усадкой, малым выделением теплоты при твердении, стойкостью против выщелачивающего действия фильтрующих вод и, в ряде случаев, стойкостью по отношению к действию минерализованных вод;

– бетоны для стен отапливаемых зданий и лёгких перекрытий должны иметь небольшие плотность и теплопроводность, прочность в соответствии с расчетом;

– бетоны для полов должны характеризоваться малой изнашиваемостью и достаточной прочностью на изгиб, а бетоны для дорожных и аэродромных покрытий – и морозостойкостью.

Кроме того, ко всем бетонам и бетонным смесям предъявляются следующие общие требования: до затвердения бетонные смеси должны легко перемешиваться, транспортироваться и укладываться (обладать подвижностью и удобоукладываемостью), не расслаиваться; бетоны должны иметь определенную скорость твердения в соответствии с заданными сроками распалубки изделия или конструкции; расход цемента должен быть минимальным.

Получить бетон, удовлетворяющий всем поставленным требованиям, можно при правильном подборе материалов, точном расчете состава, при механизированных способах приготовления, укладки и уплотнения бетонной смеси, а также при правильном уходе за уложенным бетоном в начальный период его твердения. В этот период, для ускорения твердения бетона, часто применяется искусственная тепловлажностная обработка.

Проектирование состава бетона имеет цель установить такой расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, при котором наиболее экономично обеспечивается получение удобоукладываемой бетонной смеси и заданной прочности бетона, а в ряде случаев, необходимой морозостойкости, водонепроницаемости и специальных свойств бетона.

Состав бетонной смеси выражают в виде соотношения по массе, реже по объему (менее точно) количества цемента, песка и щебня (или гравия) с указанием водоцементного отношения. Количество цемента принимают за единицу. Поэтому в общем виде состав бетонной смеси выражают соотношением цемент : песок : щебень =  $1 : x : y$  при  $B/C = z$  (например,  $1:2,4:4,5$  при  $B/C = 0,45$ ). На бетонных заводах, материалы дозируют по массе и состав бетона выражают в виде расхода материалов на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси, например цемента 260, песка 700, щебня 1260 кг и воды 170 л.

Различают два состава бетона: номинальный (лабораторный), принимаемый для материалов в сухом состоянии, и производственный (полевой) – для материалов с естественной влажностью. К моменту расчета состава бетонной смеси нужно определить качество исходных материалов, воды, песка и щебня (гравия) согласно требованиям ГОСТов.

Состав тяжелого бетона удобно рассчитывать по методу «абсолютных объемов», разработанному проф. Б.Г. Скрамтаевым и его школой. В основу этого метода положено условие, что тяжелый бетон, уплотненный в свежем состоянии, приближается к абсолютной плотности, т. е. сумма абсолютных объе-



мов исходных материалов в  $1 \text{ м}^3$  равна объему уплотненной бетонной смеси:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ(Г)}{\rho_{щ(г)}} = 1$$

где  $Ц, В, П, Щ(Г)$  – содержание цемента, воды, песка и щебня (гравия), кг, в  $1 \text{ м}^3$ ;  $\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{п}, \rho_{щ(г)}$  – плотность этих материалов,  $\text{кг/м}^3$ .

Неточность, допущенную в расчете, исправляют опытным путем, уточняя состав бетона по фактической объемной массе пробного замеса.

Исходными данными для расчета состава бетона являются: заданная марка бетона  $R_b$ ; характеристика бетонной смеси по степени подвижности, или жесткости, а также характеристики исходных материалов – активность  $R_{ц}$  и плотность цемента, насыпная масса и плотность песка и щебня (или гравия) и пустотность щебня или гравия. В задании, в зависимости от условий, в которых будет находиться бетон в сооружении или конструкции, к бетону могут предъявлять также и другие требования, например степень морозостойкости, стойкости к воздействию агрессивных вод, водонепроницаемости.

Состав бетона рассчитывают в следующем порядке:

- определяют цементно-водное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной прочности;
- определяют расход воды;
- рассчитывают потребный расход цемента, а затем щебня (или гравия) и песка;
- проверяют подвижность (жесткость) бетонной смеси; при отклонении этих показателей от проектных состав бетонной смеси корректируют;
- готовят образцы для определения прочности и испытывают их в заданные сроки;
- пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный.

**Расход воды.** Оптимальное количество воды, л, на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси (водосодержание) должно обеспечивать, необходимую подвижность (или жесткость) бетонной смеси. Ориентировочно его устанавливают по данным табл. 3.6, в которой учитывается также качество исходных материалов.

Для хорошей укладываемости отношение  $В/Ц$  применяют  $0,4 \dots 0,7$  (для химического взаимодействия достаточно  $0,15 \dots 0,2$ ). Избыточная вода не вступившая во взаимодействие с цементом испаряется из бетона, образуя поры, что ведет к снижению плотности и, соответственно, прочности бетона. Исходя из этого, прочность бетона можно повысить путем уменьшения водоцементного отношения и усиленного уплотнения.

**Расход цемента.** По определенному из формулы значению  $Ц/В$  и принятой по табл. 3.6 водопотребности, бетонной смеси рассчитывают ориентировочный расход цемента, кг, на  $1 \text{ м}^3$  бетона, по формуле:

$$Ц = \frac{Ц}{В} В.$$

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона должен быть не менее минимального, допускаемого СНиП 1-В.3-62. Если расход цемента окажется ниже допускаемого, то необходимо довести его до нормы или ввести тонкомолотую добавку.

Таблица 3.6

### Водосодержание бетонной смеси

Характеристика бетонной смеси		Водосодержание бетонной смеси, л/м <sup>3</sup> , при крупности гравия, мм		
осадка конуса, см	удобоукладываемость, с	10	20	40
0	150...200	145	130	120
0	90...120	150	135	125
0	60...80	160	145	130
0	30...50	165	150	135
0	15...30	175	160	145
1		185	170	155
2		190	175	160
3		195	180	165
5		200	185	170
7		205	190	175
8		210	195	180
10		215	200	185

**Расход заполнителей.** Для определения расхода песка и щебня (гравия) задаются двумя условиями:

1) сумма абсолютных объемов всех составных частей бетона, л, равна 1 м<sup>3</sup> (1000 л) уплотненной бетонной смеси:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(\Gamma)}} + B = 1000.$$

2) цементно-песчаный раствор заполнит пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен, т.е.

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + B = V_{пуст.щ(\Gamma)} \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} \alpha,$$

где  $V_{пуст.щ(\Gamma)}$  – пустотность щебня (гравия) в стандартном рыхлом состоянии (в формулу подставляют в виде относительного значения);  $\rho_{н.щ(\Gamma)}$  – насыпная масса щебня (гравия), кг/л;  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня; для жестких смесей  $\alpha = 1,05...1,1$ ; для подвижных смесей  $\alpha = 1,25...1,4$  и более; коэффициент  $\alpha$  называют еще коэффициентом избытка раствора.

Решая совместно эти два уравнения, находим формулу для определения потребности в щебне (или гравии):

$$Щ(\Gamma) = \frac{1000}{V_{пуст.щ(\Gamma)} \frac{\alpha}{\rho_{н.щ(\Gamma)}} + \frac{1}{\rho_{щ(\Gamma)}}}.$$

После определения расхода щебня (гравия) рассчитывают расход песка, кг, на  $1 \text{ м}^3$  как разность между проектируемым объемом бетонной смеси и суммой абсолютных объемов крупного заполнителя, цемента и воды:

$$П = \left[ 1000 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{Щ}{\rho_{щ}} \right) \right] \rho_n.$$

При применении воздухововлекающих добавок учитывают количество вовлеченного воздуха.

Если щебень (гравий) составляют из нескольких фракций, то необходимо заранее установить оптимальное отношение между ними, пользуясь графиком наилучшего зернового состава или подбирая смесь с минимальным количеством пустот.

**Проверка подвижности бетонной смеси.** После предварительного расчета состава бетона делают пробный замес и определяют осадку конуса или жесткость. Если бетонная смесь получилась менее подвижной, чем требуется, то увеличивают количество цемента и воды без изменения цементно-водного отношения. Если подвижность будет больше требуемой, то добавляют небольшими порциями песок и крупный заполнитель, сохраняя отношение их постоянным. Таким путем добиваются заданной подвижности бетонной смеси.

**Уточнение расчетного состава бетона.** Расчетный состав бетона уточняют на пробных замесах. Для этого производят опытные затворения бетона при трех значениях водоцементного отношения, из которых одно принимают расчетным, а два других соответственно больше и меньше на 10...20%. Количество цемента, воды, песка и щебня (гравия) для бетона с водоцементным отношением, не равным расчетному, определяют по описанному выше методу. Из каждого замеса бетонной смеси готовят, по три образца-куба размером  $20 \times 20 \times 20$  см, которые выдерживают в нормальных условиях и испытывают в возрасте 28 сут при определении марки бетона (или в другие сроки). По результатам испытаний строят графики зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения, по которым выбирают значение  $Ц/В$ , обеспечивающее получение бетона заданной марки. При пробных замесах проверяют также подвижность или жесткость бетонной смеси (она должна удовлетворять проектной), определяют объемную массу и, по результатам испытания пробных замесов, вносят соответствующие коррективы в рассчитанный состав бетона, песка и щебня (гравия). При этом учитывают влажность заполнителей. Количество влажных заполнителей изменяют настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшалось на значение, равное содержанию воды в заполнителях.

При перемешивании бетонной смеси мелкие зерна компонентов ее располагаются в пустотах между крупными зернами, песок располагается в пустотах между щебнем (гравием), а пустоты в песке заполняются цементным тестом. Объем бетонной смеси поэтому будет всегда меньше, чем сумма насыпных объемов составляющих его сухих материалов. В связи с этим вводят понятие "коэффициент выхода бетона". Он равен отношению объема полученной бетонной смеси  $V_{\sigma.c}$  в уплотненном состоянии к сумме насыпных объемов сухих

ИСХОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ:

$$\beta = \frac{V_{б.с}}{V_u + V_n + V_{щ(г)}},$$

где  $V_u, V_n, V_{щ(г)}$  – насыпные объемы цемента, песка, щебня (гравия), л.

Коэффициент выхода бетона – важная технико-экономическая характеристика качества заполнителей и бетона: чем он выше, тем экономичнее бетон. Обычно для крупнозернистых бетонов  $\beta = 0,67...0,7$ , а для мелкозернистых  $\beta = 0,7...0,8$ .

Пользуясь значением  $\beta$ , рассчитывают потребность материалов на замес бетономешалки определенного объема (или для выполнения заданного объема строительного-монтажных работ):

$$C_V = \frac{\beta V}{1000} C; B_V = \frac{\beta V}{1000} B;$$
$$P_V = \frac{\beta V}{1000} P; Щ_V(\Gamma_V) = \frac{\beta V}{1000} Щ(\Gamma);$$

где  $C_V, P_V, Щ_V(\Gamma_V), B_V$  – соответственно количество цемента, песка, щебня (гравия), кг и воды, л, требуемое на замес бетономешалки объемом  $V$ , кг.

#### 3.4.5.4. Выбор цемента для бетона

При выборе цемента для бетона учитывают требования, предъявляемые к бетону (прочность, морозостойкость, химическую стойкость и др.), а также технологию изготовления изделий. Марку цемента рекомендуется выбирать в зависимости от проектной марки бетона при сжатии:

Марка бетона:	M100	M200	M250	M300
Марка цемента:	300	300...400	400	400...500
Марка бетона:	M400	M500	M600 и выше	
Марка цемента:	500...600	600	600	

На практике наиболее широко применяют портландцемент марок 400...500. Приготовление бетона с использованием более высокой марки цемента обеспечивает его экономию в среднем на 10...15 % при повышении марки цемента на 10 МПа.

Для изготовления морозостойких бетонов, а также бетонов, подвергающихся сульфатной коррозии, рекомендуется применять сульфатостойкий портландцемент. Для быстротвердеющего бетона используют быстротвердеющий цемент (БТЦ).

Для бетона сборных изделий и конструкций рекомендуется применять цементы с повышенным содержанием  $C_3S$  и  $C_3A$ , обеспечивающие быстрое твердение в условиях тепловлажностной обработки, применяемой на заводах сборного железобетона для ускорения твердения цемента.

### 3.4.5.5. Заполнители для бетона

**Песок.** Природный песок, применяемый для изготовления обычного бетона, представляет собой образовавшуюся в результате выветривания горных пород рыхлую смесь зерен (крупностью 0,14...5 мм) различных материалов, входящих в состав изверженных (реже осадочных) горных пород. При отсутствии пригодного природного песка изготавливают искусственный песок путем дробления твердых горных пород, но этот песок стоит гораздо дороже.

Чаще всего встречаются кварцевые пески с примесью полевого шпата, листочков слюд и зерен других минералов, реже – полевошпатовые, известняковые и другие пески. Кварцевые пески пригодны для бетона любых марок. Остальные пески, в особенности известняковые и ракушечные, должны быть предварительно проверены на прочность в растворе или бетоне требуемой марки.

По условиям залегания пески разделяют на *речные, морские и горные* (овражные).

В большинстве случаев зерна речного и морского песка истираются при переносе водой и имеют, поэтому, округлую форму. Зерна горных (овражных) песков, наоборот – остроугольные. Речные и морские пески обычно более чистые, т. е. содержат меньше глинистых и органических примесей, чем овражные. В морском песке часто имеются примеси известняковых зерен и обломков раковин, которые легко разрушаются и могут понизить прочность бетона.

Желательно применять песок с остроугольными зёрнами, так как он лучше сцепляется с цементным камнем, придавая бетону большую прочность. В то же время этот песок должен быть как можно чище. Поскольку промывка песка сложна и дорога, обычно предпочитают речной песок. Вообще же выбор песка для бетона производится всегда с учетом всех его свойств и стоимости.

Для обычного бетона требования к природному песку следующие:

а) содержание в песке зерен, проходящих через сито 0,14 мм, не должно превышать 10 %, а содержание глинистых, илистых и пылевидных примесей, определяемых отмучиванием, не должно превышать 3 % по массе. Наиболее вредна примесь глины, обволакивающей зерна песка, так как она препятствует сцеплению с цементным камнем. От этой глины песок можно освободить только тщательной промывкой;

б) органические примеси (гумусовые и др.) допускают только в самом небольшом количестве, так как они во взаимодействии с органическими кислотами, понижают прочность и даже разрушают цемент.

**Крупными заполнителями** в бетоне являются *гравий, щебень*, а также *щебень из гравия*.

**Гравий** представляет собой зерна размерами 5...70 мм, имеющие округлую, окатанную форму и гладкую поверхность. Обычно в гравии содержится некоторое количество песка; при содержании песка 25...40 % материал называют песчано-гравийной смесью.

**Щебень** получают дроблением горных пород на куски размерами 5...70 мм. Зерна щебня имеют угловатую форму и более развитую, чем у гравия, ще-

роховатую поверхность. Благодаря этому сцепление с цементным камнем у щебня выше, чем у гравия. Для высокопрочного бетона предпочтительнее применять щебень. Для бетонов средней прочности бывает более выгодно применять дешевый местный гравий, а не привозной щебень.

Для характеристики зернового состава крупного заполнителя необходимо знать его наибольшую и наименьшую крупности. Наибольшая крупность заполнителя  $D$  соответствует размеру отверстий стандартного сита, на котором полный остаток еще не превышает 10 % по массе. Наименьшая крупность  $d$  определяется размером отверстий первого из сит, полный остаток на котором превышает 95 %, т. е. через него проходит не более 5 % просеиваемой пробы. Наименьшая крупность обычно равна 5 мм.

Для того чтобы заполнитель при бетонировании равномерно, без зависаний, распределялся в объеме конструкции, его наибольшую крупность нужно назначать с учетом вида и размеров конструкции и густоты армирования.

При бетонировании плит наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть не более половины толщины плиты. Для бетонной смеси, укладываемой в скользящую опалубку, размер зерен заполнителя принимают не более  $1/2$  наименьшего размера поперечного сечения конструкции. В железобетонных конструкциях наибольшая крупность заполнителя должна быть не более  $3/4$  наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры. Крупность заполнителей в бетонных смесях, подаваемых по хоботам и виброхоботам, должна быть не более  $1/3$  их диаметра.

Щебень и гравий применяют, как правило, фракционированными, для чего их разделяют на фракции 5...10, 10...20, 20...40 и 40...70 мм. При необходимости составляют смесь из двух-трех фракций. Зерновой состав каждой фракции заполнителя, обеспечивающий минимальный расход цемента в бетоне, должен соответствовать следующим требованиям:

Размер отверстий контрольных сит	Полный остаток на ситах, % по массе
$d = 5(3)$ мм	95...100
$d = 10$ мм и более	90...100
$0,5(d+D)$ для одной фракции	40...80
$0,5(d+D)$ для смеси фракций	50...70
$D$	0...10
$1.25D$	0

В крупных заполнителях, как и в песке, ограничивают содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц, к которым относят зерна размером не более 0,05 мм. В гравии таких частиц должно быть не более 1...2 % по массе, в щебне – не более 1...3 %, в том числе глины в комьях – не более 0,25 %.

Прочность крупных заполнителей нормируют с учетом прочности бетона. Так, прочность щебня из естественного камня должна быть выше прочности бетона хотя бы в 1,5...2 раза. Во всех случаях предел прочности щебня из изверженных горных пород должен быть не ниже 80, из метаморфических пород – не ниже 60, из осадочных пород – не ниже 30 МПа.

### 3.4.5.6. Вода. Добавки к бетону

В технологии бетонных работ воду используют для следующих целей:

- 1) приготовления бетонных и растворных смесей;
- 2) поливки конструкций в процессе твердения бетона;
- 3) промывки заполнителей.

Качество воды оценивают по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества, либо вызывают появление в структуре бетона новообразований, уменьшающих его прочность и долговечность.

**Водородный показатель воды** (рН) должен находиться в пределах от 4 до 12,5, т. е. может допускаться вода, дающая слабокислую либо слабощелочную реакцию. Вредными примесями в воде считаются органические вещества, растворимые соли, в особенности содержащие ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^{-}$ , а также взвешенные частицы глины, пыли, песка, почвы.

Недопустимы в воде *примеси нефтепродуктов, масел, жиров*. Эти вещества могут осаждаться на поверхности цементных частиц, замедляя их гидратацию; если же они адсорбируются на зернах заполнителей, то препятствуют образованию прочного контакта с цементным камнем и тем самым уменьшают прочность бетона. Для того чтобы довести прочность бетона до проектной, потребуется в этом случае увеличить расход цемента, что вызовет необоснованное удорожание бетона. Проще и дешевле использовать чистую воду, на поверхности которой нет пленки масел, нефтепродуктов или жиров.

Таким образом, для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона можно без предварительной проверки применять питьевую воду, а также речную, озерную воду или воду из искусственных водоемов, не загрязненную сточными выбросами, солями и маслами.

Морская вода содержит растворимые соли, сульфат-ионы и хлор-ионы в большом количестве. Ее употребляют для затворения бетона массивных неармированных конструкций лишь в тех случаях, когда на их поверхности допускается появление высолов.

Болотные и сточные (бытовые и промышленные) воды нельзя применять без их очистки. Кроме того, на использование сточных вод должно быть обязательно получено разрешение санэпидемстанции.

С развитием технологии бетона все большее распространение получают различного рода добавки, которые улучшают свойства бетонной смеси и повышают качество затвердевших бетонов и строительных растворов.

В зависимости от функционального назначения и достигаемого эффекта различают добавки, *регулирующие реологические свойства бетонных смесей, схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, пористость бетона*, придающие бетону специальные свойства, сокращающие расход цемента, добавки полифункционального действия.

Добавки для регулирования реологических<sup>2</sup> свойств бетонных смесей подразделяют на пластифицирующие, стабилизирующие и водоудерживающие.

---

<sup>2</sup> Реология – наука о деформациях и течении вещества

**Пластифицирующими** называют добавки, увеличивающие подвижность (или снижающие жесткость) бетонных смесей без снижения прочности бетона. Пластифицирующие добавки представляют собой поверхностно-активные вещества

Наибольшее применение получила добавка ЛСТ – лигносульфонаты технические (прежнее название СДБ). Поставляется обычно в жидком виде, иногда – в твердом, легко растворяется в воде. Для пластификации бетонных смесей ее вводят в небольшом количестве – от 0,1 до 0,5% массы цемента. В расчете на 1 м<sup>3</sup> бетона расход добавки составляет обычно 0,5...1 кг.

Особенно эффективно использовать эту добавку в жирных бетонных смесях, т. е. смесях с большим содержанием вяжущего. При введении ЛСТ и других пластифицирующих добавок можно решить одну из следующих задач:

- 1) улучшить удобоукладываемость бетонной смеси при сохранении расхода цемента и прочности бетона;
- 2) уменьшить расход воды, а расход цемента оставить прежним; при этих условиях прочность бетона увеличится;
- 3) уменьшить расход воды и цемента при сохранении прежней удобоукладываемости, при этом прочность бетона останется неизменной, но расход цемента сократится на 8...10%.

В этом большое значение пластифицирующих добавок: вводимые в состав бетона в небольших количествах, они улучшают удобоукладываемость смеси и тем самым снижают затраты труда и энергии на бетонных работах; в то же время они позволяют получить существенную экономию цемента.

Отечественная промышленность начала выпускать добавки нового типа – **суперпластификаторы**. В большинстве это синтетические полимерные материалы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,2...1,2 % от массы цемента. В отличие от традиционных добавок суперпластификаторы обладают более сильным разжижающим действием и не замедляют твердения бетона.

Суперпластификатор «10-30» выпускают на базе производных меламиновой смолы; супер пластификаторы «40-03» и НСП являются производными нафталинсульфокислоты, а добавки «ОП-7», «20-03», СПД производят с использованием вторичных продуктов химического синтеза.

Резко увеличивая подвижность бетонных смесей, суперпластификаторы облегчают их транспортирование и укладку. При необходимости сохранить подвижность сокращают расход воды в бетонной смеси, а это позволяет получить бетон с высокой прочностью (до 80 МПа). Весьма эффективны суперпластификаторы при перекачивании смесей бетононасосами.

Рассмотренные добавки поверхностно-активных веществ можно использовать, в качестве стабилизирующих (предупреждающих расслоение) и вододерживающих (уменьшающих водоотделение бетонных смесей).

**Добавки.** Среди добавок, регулирующих схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, выделяют: *ускоряющие* либо *замедляющие схватывание*; *ускоряющие твердение*; *противоморозные*.

В практике производства бетонных работ часто возникает необходимость в ускорении или замедлении схватывания и твердения бетона. Например, при



возведении сооружений из монолитного бетона и железобетона для интенсификации темпов бетонирования надо, чтобы бетон быстрее набирал опалубочную прочность. Высокая скорость твердения бетона нужна и при аварийно-восстановительных работах.

В то же время нередко случаи, когда схватывание бетонной или растворной смеси намеренно замедляют, например, при перевозке в автосамосвалах на большие расстояния, перекачивании бетононасосами, укладке бетона в жаркую погоду.

На практике чаще используют следующие ускорители твердения бетона: хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , нитриты кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$  и натрия  $\text{NaNO}_2$ . Нередко применяют и многокомпонентные добавки: нитрит-нитрат кальция, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др.

Действие ускорителей объясняется тем, что они понижают растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющегося при гидратации цемента; это приводит к дальнейшей гидратации клинкерных минералов и увеличивает в конечном итоге количество новообразований в цементном камне. В результате прочность бетона, содержащего добавку-ускоритель, в первые 3...7 суток твердения значительно больше, чем прочность бетона без добавки.

Из замедлителей схватывания лучше всего применять добавки, уменьшающие одновременно водопотребность и расход цемента, а также пластифицирующие бетонные смеси. В этом отношении хорошие результаты дают органические вещества (ЛСТ) и кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11.

#### **3.4.5.7. Тяжелый бетон**

**Тяжелым** называют бетон плотной (слитной) структуры, приготовляемый на цементном вяжущем, плотных мелком и крупном заполнителях. Это – характерный представитель материалов конгломератного (составного) типа, включающий в себя заведомо разнородные компоненты – зерна заполнителя, скрепленные вяжущим веществом.

В структуре бетона отчетливо выделяется три элемента: заполнитель, цементирующее вещество и зона контакта между ними.

Характер макроструктуры зависит от соотношения между компонентами и однородности их распределения в бетоне. Следует учитывать также воздушные пустоты, возникающие из-за недоуплотнения бетонной смеси, и усадочные трещины, которые могут образоваться в процессе твердения в цементирующем веществе и контактной зоне (рис. 3.6).

Если объемная доля цементирующего вещества относительно мала, то бетон характеризуется так называемым контактным расположением зерен заполнителя. В этом случае уменьшается вероятность трещинообразования в тонких прослойках цементирующего вещества. При увеличении расхода цемента возрастает объем цементирующего вещества и, как следствие, утолщаются прослойки между зернами заполнителя – возникает структура с плавающим расположением зерен.

Тяжелые бетоны подразделяются на *пластичные*, укладываемые в форму (опалубку) при умеренном уплотнении, и *жесткие*, укладка которых требует

механического уплотнения.

Марки, бетона характеризуются пределом прочности бетонного образца куба размером  $150 \times 150 \times 150$  мм после 28 сут твердения в нормальных условиях и обозначаются М 50, М 75, М 100, М 150, М 200, М 250, М 300, М 350, М 400, М 450, М 500, М 550, М 600, М 700, М 800.

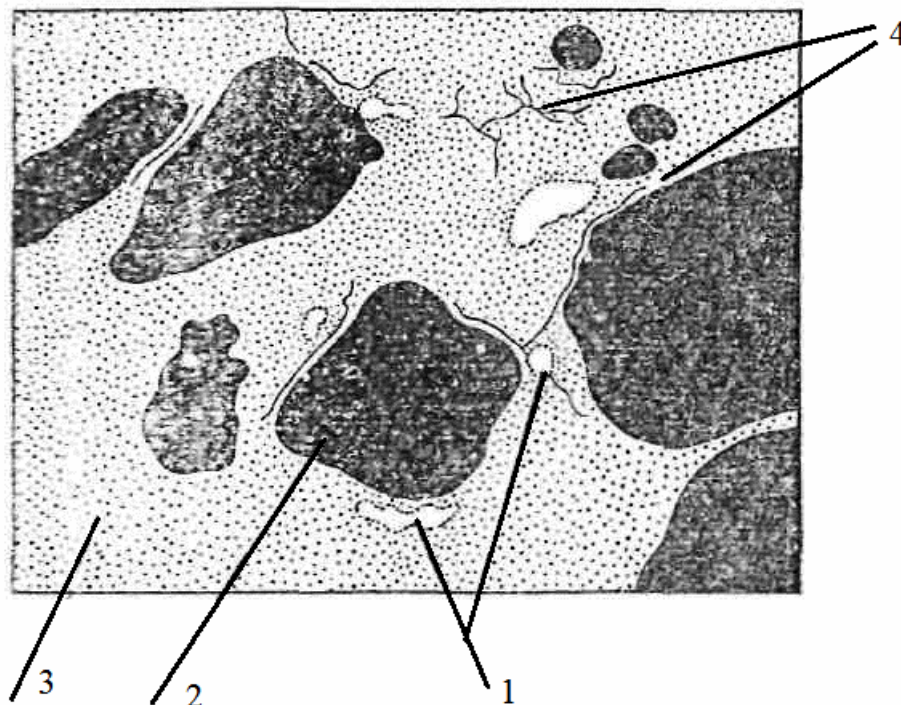


Рис. 3.6. Фрагмент макроструктуры растворной части бетона:  
1 – воздушные пустоты; 2 – мелкий заполнитель; 3 – цементирующее вещество;  
4 – усадочные трещины

Прочность бетона при испытании образцов других размеров должна быть приведена к прочности куба с ребром 200 мм путем умножения полученных данных на коэффициент по ГОСТ 10180-76.

Оценка прочности и однородности бетона на строительстве и на заводах товарного бетона производится по ГОСТ 18105-72. Отклонения от заданной проектной марки допускаются в производстве только в сторону увеличения прочности, но не более чем на 15%, так как излишнее увеличение прочности бетона влечет за собой перерасход цемента и удорожание бетона.

Существенно влияет на рост прочности бетона среда, в которой он твердеет. Нормальными условиями твердения бетона считаются относительная влажность воздуха 90...100% и температура от + 5 до + 20°C.

Расход цемента для бетонов плотной структуры должен устанавливаться не ниже пределов, приведенных в табл. 3.7.

**Микроструктура** характеризуется составом и строением твердой фазы, объемом и характером пор, а также строением контактной зоны. Цементирующее вещество (цементный камень) скрепляет компоненты бетона в единое целое, т. е. является минеральным клеем. Важнейшими качествами его являются прочность и адгезия, т.е. способность к сцеплению с зернами заполнителя.

Приготовление бетонной смеси включает операции дозирования и перемешивания составляющих материалов. Компоненты дозируют по массе, обычно с помощью автоматических дозаторов. Отклонения от заданной массы при дозировании на замес не должны превышать  $\pm 2\%$  для цемента, воды и водных растворов добавок и  $\pm 2,5\%$  для заполнителей.

Таблица 3.7

**Ориентировочный расход цемента в бетонах для монолитных бетонных и железобетонных конструкций**

Проектная марка бетона	Норма расхода цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона в плотном теле, кг	
	для всех конструкций, кроме тонкостенных	для тонкостенных конструкций
М 50	160	–
М 75	180	–
М 100	225	–
М 150	250	280
М 200	270	300
М 300	320	350
Выше М 300	350	370

Компоненты перемешивают в бетоносмесителях периодического или непрерывного действия. Рабочий цикл смесителя периодического действия состоит из следующих операций: загрузки компонентов, перемешивания их в однородную массу, выгрузки готовой бетонной смеси. В смесителях непрерывного действия все три операции производятся непрерывно; они более производительны, но не обеспечивают точное дозирование.

По принципу перемешивания бетоносмесительные аппараты подразделяют на гравитационные и с принудительным перемешиванием. Гравитационные бетоносмесители выполнены в виде барабана, вращающегося вокруг оси. Частицы смеси поднимаются на некоторую критическую высоту, затем падают и, обладая значительной кинетической энергией, внедряются в бетонную смесь в нижней части смесительного барабана. Тем самым достигается эффект перемешивания.

Гравитационные смесители оказываются малопригодными для перемешивания жестких бетонных смесей; в таких случаях применяют машины принудительного перемешивания. В смесительной чаше, совершающей 6...7 об/мин, установлены лопасти, вращающиеся в сторону, противоположную вращению чаши. Компоненты смеси подвергаются принудительному перемещению по весьма сложным траекториям, благодаря чему и получают однородную бетонную смесь. Продолжительность смешивания крупнозернистых смесей обычно 2...3 мин, мелкозернистых 3...5 мин. Готовая смесь выгружается через люк в днище чаши.

**Уплотнение бетонной смеси** преследует цель плотной укладки ее в форму (опалубку). Уплотненный бетон должен обладать однородной структурой и содержать воздушные пустоты (неплотности) в минимальном объеме.

Бетонные смеси требуют для уплотнения тем больших энергетических затрат, чем выше жесткость смеси. Основной способ уплотнения – вибрирование.

При вибрировании частицы совершают вынужденные колебания, в результате которых ослабляются силы внутреннего трения и сцепления между частицами. Бетонная смесь приводится в состояние пластично-вязкого течения и, подобно тяжелой жидкости, равномерно заполняет форму.

Согласно основному закону прочности бетона при более сильном механическом уплотнении можно уложить бетонную смесь с меньшим значением  $V/C$  и получить бетон более высокой прочности. Если же прочность бетона оставить неизменной, то можно уменьшить расход цемента пропорционально сокращению количества воды затворения. Следовательно, интенсивное уплотнение способствует экономии цемента.

По способу передачи колебаний от вибратора к бетону различают следующие приемы вибрирования бетонных смесей:

а) смесь вибрируют вместе с формой, установленной на виброплощадке; данный способ широко используют при заводском производстве изделий;

б) колебания передаются бетонной смеси через упругие элементы опалубки (например, через боковые стенки), на которые навешены вибраторы; навесные вибраторы применяют при изготовлении изделий на стендах и полигонах;

в) колебания передаются непосредственно через верхнюю поверхность бетонной смеси с помощью, так называемых, поверхностных вибраторов;

г) колебания передаются с помощью глубинных (внутренних) вибраторов, погружаемых непосредственно в бетонную смесь.

Переносные поверхностные и глубинные вибраторы применяют для уплотнения монолитного бетона на строительной площадке.

По роду привода и движущей энергии вибраторы подразделяют на электромеханические, электромагнитные и пневматические. Чаще встречаются вибраторы с электромеханическим приводом, в которых механические колебания создаются в результате вращения неуравновешенного груза, расположенного на оси электродвигателя, либо соединенного с ним с помощью гибкого вала.

На заводах железобетонных изделий используют эффективные комбинированные способы уплотнения бетонных смесей: вибрирование под пригрузом, виброштампование, вибропрокат, прессование. Для изготовления полых железобетонных изделий, форма которых приближается к поверхности вращения (трубы, опоры ЛЭП), применяют уплотнение с помощью центробежных сил – центрифугирование.

**Твердение бетона и уход за ним.** Уложенная в опалубку бетонная смесь благодаря гидратации цемента самопроизвольно затвердевает. Заданная проектом прочность достигается при определенном уходе за твердеющим бетоном. Уход состоит в создании оптимального температурно-влажностного режима твердения и в защите бетона от ударов и сотрясений, могущих нарушить еще не сложившуюся его структуру. Важнейшими факторами, определяющими прочность бетона на данном этапе, являются температурно-влажностные условия и длительность твердения.

Твердение бетона происходит в теплой и влажной среде. При преждевременном высыхании или замерзании бетона взаимодействие цемента с водой прекращается, что отрицательно сказывается на структуре и свойствах бетона.

Чем раньше защищен бетон от высыхания, тем выше конечная прочность. В нормальных условиях, т. е. во влажном воздухе с температурой  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , предел прочности бетона при сжатии нарастает пропорционально логарифму времени твердения:

$$R_n/R_{28} = \lg n / \lg 28,$$

где  $n$  – срок твердения в сутках ( $n > 3$ );  $R_{28}$  – предел прочности бетона в возрасте 28 сут.

Часто возникает необходимость ускорить твердение. Для этого используют способы тепловой обработки, позволяющие повысить температуру бетона при обязательном сохранении его влажности. В результате повышения температуры скорость взаимодействия цемента с водой значительно возрастает, что приводит к увеличению прочности бетона в начальные сроки. Обычно в качестве теплоносителя применяют пар или паровоздушную смесь с температурой  $60 \dots 90^\circ\text{C}$ . Прочность бетона после пропаривания в течение  $10 \dots 14$  ч достигает  $70 \dots 75\%$  от требуемой (рис. 3.7). Еще более значительно ускоряет твердение бетона обработка насыщенным паром при давлении  $0,8 \dots 12$  МПа и температуре  $175 \dots 190^\circ\text{C}$ , осуществляемая в герметичных аппаратах – автоклавах. Однако такую обработку можно использовать только в заводских условиях; она связана с удорожанием изделий. Поэтому автоклавную обработку применяют в тех случаях, когда обычные методы ускорения твердения неэффективны, например, для изделий из силикатных и ячеистых бетонов.

Для ускорения твердения бетона применяют также электропрогрев изделий, тепловую обработку с помощью инфракрасного излучения. Излучатели нагреваются электрическим током или газом. Выделяемая ими лучистая энергия поглощается стенками опалубки либо непосредственно изделием и аккумулируется в бетоне в виде теплоты.

Для ускорения твердения бетона применяют также добавки-ускорители – хлорид кальция и др. Эффект достигается в начальные сроки твердения, а к 28 суткам прочность бетона оказывается такой же, как и без добавок.

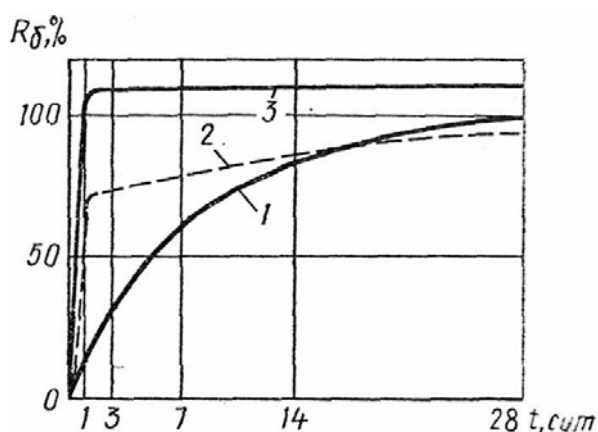


Рис. 3.7. Нарастание прочности бетона:

1 – в нормальных условиях твердения; 2 – пропаренного при атмосферном давлении и температуре  $85^\circ\text{C}$ ; 3 – пропаренного в автоклаве при давлении насыщенного пара  $0,8$  МПа и температуре  $175^\circ\text{C}$

### 3.4.5.8. Легкие бетоны

К легким относят бетоны со средней плотностью не более  $2000 \text{ кг/м}^3$ . Средняя плотность бетона зависит в основном от плотности и расхода заполнителей, занимающих большую часть в его объеме. Поэтому для облегчения бетона в его состав вводят заполнители, отличающиеся пониженной плотностью, либо сокращают их расход. Дополнительный эффект дает облегчение цементирующего вещества путем его поризации. Во всех случаях образуется структура, насыщенная воздушными порами, пустотами и ячейками. Благодаря этому легкие бетоны приобретают свойства, выгодно отличающие их от тяжелого бетона (например, пониженную теплопроводность).

По типу образующейся структуры различают *легкий бетон на пористых заполнителях, крупнопористый и поризованный бетоны*.

В тяжелом бетоне заполнителями служат гравий или щебень из прочных горных пород, средняя плотность которых достигает  $2600...2800 \text{ кг/м}^3$ . Если в качестве заполнителя используют легкие пористые материалы природного или искусственного происхождения, то получают легкий бетон на пористых заполнителях. Для изготовления крупнопористого бетона из состава намеренно исключают мелкий заполнитель (песок), благодаря чему создается значительный объем межзерновых пустот. Такой бетон называют еще беспесчаным.

Возможно также получение легкого бетона на пористом заполнителе, в котором межзерновое пространство занято тестом вяжущего, насыщенным мелкими воздушными ячейками-порами. Такой материал называют по-ризованным легким бетоном.

Входящие в состав легкого бетона пористые заполнители не только легче заполнителей из плотных пород, но и обладают рядом особенностей, сказывающихся на свойствах легкобетонной смеси и затвердевшего бетона. В легком бетоне применяют минеральные (природные, искусственные) и органические (употребляемые гораздо реже) пористые заполнители.

Природные заполнители получают путем дробления и фракционирования пористых горных пород магматического или осадочного происхождения: вулканического туфа, пемзы, известкового туфа, известняка-ракушечника и некоторых других. Природные пористые заполнители являются местными материалами; их использование в легком бетоне в основном ограничивается районом месторождения.

*Искусственные пористые заполнители*, специально изготавливаемые и отходы промышленности, получили гораздо большее распространение. К специально изготавливаемым пористым заполнителям относят: керамзит, аглопорит, вспученный перлит, вермикулит, шлаковую пемзу, зольный гравий и др. Из отходов промышленности применяют гранулированные металлургические шлаки, топливные шлаки и золы.

*Керамзит* – продукт обжига вспучивающихся глин. Его получают обычно в виде гранул округлой формы диаметром  $5...40 \text{ мм}$  (керамзитовый гравий). Этот легкий и прочный заполнитель с насыпной плотностью не более  $600 \text{ кг/м}^3$  применяют чаще других пористых заполнителей: около 80 % легкобетонных конструкций изготавливают на керамзитовом гравии.

**Керамзитовый песок** получают дроблением некондиционных зерен керамзитового гравия до крупности 0,16...5 мм либо путем обжига сырья во взвешенном состоянии.

**Шлаковую пемзу** изготавливают на металлургических заводах путем поризации шлакового расплава при быстром его охлаждении. Куски шлаковой пемзы дробят и фракционируют, получая пористый щебень. Шлаковая пемза – один из самых дешевых пористых заполнителей.

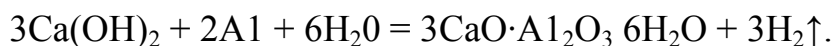
**Зольный гравий** получают обжигом окатанных гранул, состоящих из пылевидной золы ТЭС с небольшой добавкой топлива. Возможно также изготовление безобжигового зольного гравия, в котором отдельные частицы золы скреплены в единое целое каким-либо вяжущим веществом, например портландцементом или гипсо-цементно-пуццолановым вяжущим.

#### **3.4.5.9. Газо- и пенобетон**

По способу образования ячеистой структуры различают газо- и пенобетон. Для получения газобетона вводят в состав сырьевой массы газообразователь (обычно алюминиевую пудру); ячеистая структура пенобетона образуется при механическом смешивании теста вяжущего с устойчивой пеной. Преимущественное распространение получил газобетон, который отличается от пенобетона простотой технологии и возможностью получения изделий со стабильными свойствами.

Для изготовления газобетона и газосиликата прибегают к химическому способу вспучивания. В результате взаимодействия добавки-газообразователя и теста вяжущего происходят химические реакции с выделением газа, вспучивающего пластичную смесь.

Наиболее широкое распространение из всех газообразователей получила алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидроксидом кальция, выделяет водород по уравнению



Расход алюминиевой пудры для изготовления 1 м<sup>3</sup> газобетона при средней плотности 600...700 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,4...0,5 кг. Поставляемая промышленностью пудра ПАП-1 покрыта тонкой пленкой парафина и поэтому не смачивается водой. Для придания гидрофильных свойств ее обрабатывают водными растворами поверхностно-активных веществ.

#### **3.4.5.10. Железобетон**

**Железобетон** представляет собой строительный материал, в котором сочетается работа бетона и стали. Бетон, как и всякий каменный материал, хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но он хрупок и незначительно противодействует растягивающим напряжениям.

Как отмечалось, прочность бетона при растяжении примерно в 10...15 раз меньше прочности его при сжатии. В результате такого различия механических свойств бетон в чистом виде невыгодно использовать для изготовления конструкций, в которых под нагрузкой возникают растягивающие напряжения: такая конструкция будет иметь очень большой вес. Сталь же имеет очень высокую

прочность при растяжении; под нагрузкой на железобетонный элемент она воспринимает на себя растягивающие напряжения.

Более выгодно применять железобетон для строительных элементов, подверженных изгибу. При совместной работе таких элементов возникают два противоположных напряжения – растягивающие и сжимающие. Сталь хорошо воспринимает растягивающие напряжения, а бетон – сжимающие, и железобетонный элемент в целом успешно противостоит изгибающим нагрузкам и сжатию.

Вследствие прочного сцепления бетона со стальной арматурой оба материала работают совместно. Сталь и бетон обладают почти одинаковым коэффициентом температурного расширения, чем обеспечивается полная монолитность железобетона, кроме того, бетон защищает сталь от коррозионного действия газов и влаги, предохраняет от коррозии, так как он надежно изолирует арматуру.

В зависимости от способа армирования и состояния арматуры различают железобетонные изделия с обычной и предварительно напряженной арматурой. К первым видам железобетонных изделий относятся обыкновенные балки. Однако обычный способ армирования не предохраняет растянутую зону балки от образования трещин, так как бетон обладает незначительной растяжимостью (1...2 мм на 1 м), тогда как сталь при таких же нагрузках растягивается в 5...6 раз больше бетона.

Из-за появления трещин увеличиваются прогибы железобетонного элемента, поскольку в трещины проникают влага и газы, создавая опасность коррозии стальной арматуры.

Избежать образования трещин в бетоне при эксплуатационных нагрузках можно предварительным сжатием бетона, в местах, подверженных растяжению. В сжатом бетоне трещины появляются только в том случае, если растягивающие напряжения перерастут напряжения предварительного сжатия.

Бетон сжимают предварительным напряжением (растяжением) арматуры.

В зависимости от назначения сборные железобетонные изделия подразделяют на четыре основные группы: для жилых и общественных зданий, для промышленных зданий, для инженерных сооружений и изделия общего назначения.

### **3.4.6. Строительные растворы**

*Строительные растворы* получают в результате затвердевания смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя и воды. По составу растворы отличаются от бетонов только меньшей крупностью заполнителя, т. е. в сущности, это мелкозернистые бетоны. Поэтому общие закономерности, характерные для бетона, в принципе, применимы и к растворам.

Однако при использовании растворов надо учитывать две особенности:

1) растворы укладывают тонкими слоями (обычно 1...2 см), не применяя при этом специального механического уплотнения;

2) растворы часто наносят на пористые основания (кирпич, бетон, легкие камни и блоки из пористых горных пород), способные сильно отсасывать воду.



Вследствие этих особенностей раствор в тонком слое сразу после укладки подвергается действию факторов, которые могут значительно изменить его состав (в результате отсоса воды) и повлиять на конечные свойства. Это надо учитывать при определении состава растворных смесей.

По назначению строительные растворы бывают кладочные, отделочные и специальные.

**Кладочные растворы** применяют для скрепления элементов при кладке фундаментов, стен, столбов, сводов из кирпича или природного камня, а также для монтажа крупноблочных и крупнопанельных элементов.

**Отделочные растворы** служат для оштукатуривания поверхностей конструкций, устройства выравнивающих слоев, декоративной отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и блоков, фасадов и интерьеров зданий.

**Специальные растворы** инъекционные, жаростойкие, кислотостойкие, рентгенозащитные, акустические применяют в случаях, когда к конструкциям предъявляются особые требования.

В зависимости от *вида заполнителя* растворы подразделяют на *тяжелые* (обычные) и *легкие*. Отличительным признаком их служит средняя плотность затвердевшего раствора в сухом состоянии (более и менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ ) в основном зависящая от вида применяемого заполнителя.

По *виду вяжущего* различают *цементные, известковые и смешанные растворы*. Вяжущее выбирают в соответствии с условиями эксплуатации конструкций.

Строительные растворы изготавливают, как правило, централизованно на автоматизированных растворных заводах или узлах и оттуда доставляют на объекты в виде готовых пластичных смесей. При значительном удалении строительного объекта от завода рекомендуется изготавливать сухие растворные смеси, которые затворяют водой на месте производства работ. Влажность сухих смесей должна быть не более 1 % по массе; их поставляют в упаковке, исключающей возможность увлажнения.

При кладке из камней правильной формы основное значение имеет не марка скрепляющего раствора, а прочность камней. Поэтому подбор состава строительного раствора не требует такой точности, как определение состава бетона. Состав растворов обычно назначают, используя готовые таблицы, и корректируют их по результатам испытания в строительной лаборатории. Примерные составы растворов указаны в табл. 3.8.

При использовании органических пластификаторов указанные в таблице составы корректируют в сторону уменьшения расходов вяжущего, т.е. они будут более экономичны. В то же время в растворе любого состава должно содержаться такое количество вяжущего, которое обеспечивает получение удобоукладываемой смеси и затвердевшего раствора необходимой плотности, прочности и долговечности. Так, в цементно-известковых растворах для надземных конструкций минимальный расход вяжущего на  $1 \text{ м}^3$  песка установлен 75 кг, а в растворах для подземных конструкций – 100 кг.

**Рекомендуемые составы растворов  
(цемент : известковое тесто : песок) (в ч. по объему)**

Марка вяжущего	Марки растворов			
	25	50	75	100
<b>Цементно-известковые растворы для надземных конструкций</b>				
200	1:0,8:7	1:0,3:4		–
300	1:1,4:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
400	–	1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
<b>Цементные растворы для подземных конструкций</b>				
200	–	1:0:4	1:0:2,5	–
300	–	1:0:6	1:0:4	1:0:3
400	–	–	1:0:5,5	1:0:4,5

**Растворы для каменной кладки** и монтажа стен из панелей и крупных блоков. Вид и состав растворов зависят от расчетных напряжений и условий эксплуатации кладки. Кладку надземных конструкций, работающих при небольших напряжениях, следует выполнять на растворах, содержащих дешевые местные вяжущие вещества: известь, известково-шлаковое, известково-пуццолановое вяжущее. В растворах для кладки фундаментов, при наличии агрессивных сульфатных вод, применяют сульфатостойкие цементы, для монтажа крупноблочных и крупнопанельных стен – портландцемент, шлакопортландцемент, а также портландцементы с органическими добавками. Подвижность растворной смеси выбирают с учетом назначения раствора.

**Отделочные растворы** делят на *штукатурные* и *декоративные*. Применение этих растворов в построечных условиях (т.е. при оштукатуривании мокрым способом) допускается в виде исключения, когда обоснована невозможность использования индустриальных методов отделки поверхностей. Для обычных штукатурок чаще всего применяют цементные, известковые, цементно-известковые и известково-гипсовые растворы.

**Известковые растворы** хорошо сцепляются с основанием и относительно мало изменяются в объеме при колебаниях температуры и влажности окружающего воздуха. Эти растворы рекомендуется применять для оштукатуривания внутренних стен, перегородок, перекрытий в помещениях с относительной влажностью воздуха меньше 60%, а также наружных стен, не подвергающихся систематическому увлажнению. Известковые растворы медленно твердеют и долго просыхают.

**Цементно-известковые и цементные растворы** используют для получения прочных быстротвердеющих и водостойких штукатурок. Их применяют для оштукатуривания цоколей, карнизов, парапетов, наружных стен и других конструкций, систематически увлажняющихся при эксплуатации.

**Известково-гипсовыми растворами** оштукатуривают внутренние деревянные и каменные стены, а также наружные стены в районах с устойчивым

сухим климатом. Введение гипсового вяжущего существенно увеличивает скорость твердения и прочность сцепления известкового раствора с основанием, особенно деревянным.

Перед употреблением в дело штукатурные растворы обязательно процеживают через сита, удаляя посторонние включения и комья непромешанного раствора.

**Гидроизоляционные растворы** для гидроизоляционных слоев стяжек и штукатурок обычно изготавливают состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент : песок по массе), при этом используют расширяющиеся цементы, сульфатостойкий портландцемент, обычный портландцемент.

**Инъекционные цементные растворы** применяют для заполнения каналов в предварительно напряженных конструкциях и уплотнения бетона. Марка раствора должна быть не ниже 300, поэтому используют портландцемент марок 400...500. Для уменьшения вязкости растворной смеси вводят СДБ – 0,2 % массы цемента.

**Тампонажные растворы** предназначены для гидроизоляции скважин, шахтных стволов и туннелей путем закрытия водоносных грунтов, трещин и пустот в горных породах и заполнения закрепленного пространства. Вяжущим в этих растворах является специальный тампонажный портландцемент, а в агрессивных водах – сульфатостойкий портландцемент.

**Рентгенозащитный раствор** готовят на баритовом песке ( $BaSO_4$ ) предельной крупностью 1,25 мм. Вяжущим является портландцемент или шлакопортландцемент. В него вводят добавки, содержащие легкие элементы (литий, бор и др.).

**Акустические растворы** предназначают в качестве звукопоглощающей штукатурки для снижения уровня шума и получения «безэховых» помещений. В качестве вяжущих используют портландцемент, шлакопортландцемент, известь, гипс или их смеси и каустический магнезит. Заполнителями являются однофракционные пески крупностью 3...5 мм из легких пористых материалов: вспученного перлита, пемзы, керамзита, поэтому средняя плотность раствора составляет 600...1200 кг/м<sup>3</sup>. Количество вяжущего и зерновой состав заполнителя в акустических растворах должны обеспечивать открытую (незамкнутую) пористость раствора.

### **3.4.7. Вяжущие вещества и растворы, применяемые в горной промышленности**

Для изготовления горной крепи применяют только гидравлические вяжущие, которые могут схватываться и затвердевать как на воздухе, так и в воде. Крепь подземных выработок обычно работает во влажных условиях, поэтому воздушные вяжущие (твердеющие только на воздухе) не применяют. Для изготовления сборной железобетонной крепи в заводских условиях применяют автоклавную обработку изделий.

По минералогическому составу и содержанию добавок различают следующие виды цементов, применяемых для изготовления крепи: портландцементы (обыкновенный, сульфатостойкий, гидрофобный и пластифицирован-

ный); шлакопортландцемент; пуццолановый портландцемент; расширяющиеся цементы; водонепроницаемый безусадочный цемент.

**Портландцемент** – наиболее распространенное вяжущее. Он представляет собой тонкий порошок серого цвета, полученный в результате совместного размола клинкера и некоторого количества гипса.

**Сульфатостойкий портландцемент** применяют в тех случаях, когда требуется повышенная стойкость крепи против разрушающего действия агрессивных шахтных вод.

**Пластифицированный портландцемент** позволяет получать более подвижные бетоны, обладающие высокой удобоукладываемостью, повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью. Его получают путем добавления к портландцементу при помоле пластифицирующих соответствующих органических веществ (сульфатно-спиртовой барды и др.).

**Гидрофобный портландцемент** получают путем введения в портландцемент при его помоле специальной гидрофобизирующей (придающей свойство не смачиваться водой) поверхностно-активной добавки (мылонафт, асидол и др.). Гидрофобный цемент при перевозках и хранении даже в очень влажных условиях сохраняет свои вяжущие свойства. Содержащаяся в нем добавка оказывает пластифицирующее действие на бетонные или растворные смеси, а также уменьшает водопроницаемость и повышает коррозионную стойкость бетона.

Обыкновенный, гидрофобный и пластифицированный портландцементы выпускают марок 300, 400, 500 и 600. Сульфатостойкий портландцемент выпускают двух марок – 300 и 400.

**Шлакопортландцемент** получают путем совместного помола клинкера портландцемента и доменного гранулированного шлака или путем смешивания тех же материалов измельченных раздельно. Его применяют для изготовления сборной железобетонной крепи. Бетон на таком цементе твердеет в воде и на воздухе, более устойчив против воздействия шахтных вод. Марки шлакопортландцемента – 200, 300, 400 и 500.

**Пуццолановый портландцемент** отличается от шлакопортландцемента только тем, что в качестве добавки используют не шлак, а особые активные минеральные вещества (трепел, пемзу, туф и др.). Бетон на пуццолановом портландцементе твердеет в воде и во влажных условиях. Марки пуццоланового цемента те же, что и шлакопортландцемента.

**Глиноземистый цемент** – быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое путем тонкого помола глиноземистых шлаков или клинкера, содержащего значительное количество глинозема. Нарастание марочной прочности идет интенсивно и заканчивается практически через три дня. Выпускается трёх марок: 400, 500 и 600. Глиноземистый цемент расширяется при твердении под водой. При твердении на воздухе он в отличие от обыкновенного портландцемента не дает усадку, которая является одной из основных причин образования трещин в цементном камне. Стоимость глиноземистого цемента значительно (в 3...4 раза) превышает стоимость обыкновенного портландцемента, поэтому применение его в горном деле ограничено.

**Расширяющиеся цементы** получают совместным помолом клинкера,

глиноземистого цемента и гипса. Расширяющийся цемент применяют там, где требуется обеспечить водонепроницаемость крепи или стыков в ней. Этот цемент при затворении водой твердеет, увеличиваясь в объеме, самоуплотняется, чем обеспечивает водонепроницаемость. По сроку схватывания различают быстрохватывающийся (водонепроницаемый расширяющийся цемент ВРЦ) и с замедленным схватыванием (гипсоглиноземистый) расширяющиеся цементы. Начало схватывания быстрохватывающегося цемента – не ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин. Цемент с замедленным схватыванием должен иметь начало схватывания не ранее 20 мин, конец – не позднее 4 ч.

**Водонепроницаемый безусадочный цемент** (ВБЦ) является быстрохватывающимся (начало схватывания 1 мин, конец – 5 мин) и быстротвердеющим вяжущим, получаемым путем смешивания тех же компонентов, что и при производстве расширяющихся цементов, но в других соотношениях. Безусадочный цемент применяют при устройстве гидроизолирующей торкретбетонной оболочки крепи для прекращения фильтрации через нее воды.

Для крепления подземных выработок набрызгбетоном, наносимым на стенки выработки с помощью сжатого воздуха, созданы специальные виды сульфатостойкого быстрохватывающегося (2...5 мин) и быстротвердеющего цемента, при котором прочность бетона, равная 5...7 МПа, достигается в возрасте 2 ч. Применение такого цемента упрощает технологию возведения крепи, позволяет крепить обводненные выработки.

**Силикатное (бесцементное) вяжущее** по составу является известково-кремнеземистым. В качестве одного из компонентов этого вяжущего применяют строительную известь, в качестве второго – молотый песок. В отличие от цемента твердение в короткие сроки затворенного водой силикатного вяжущего возможно только при автоклавной обработке в условиях насыщенного пара с весьма высокими температурой (175...190°) и давлением 0,9...1,3 МПа. Этот вид вяжущего можно применять для изготовления в заводских условиях таких элементов крепи, как бетониты, посадочные тумбы и т.п.

**Растворы**, применяемые в качестве крепежного материала, представляют собой правильно подобранные смеси, состоящие из цемента, песка и воды. Растворы применяют в пластичном состоянии при каменной кладке, торкретировании стенок выработки, тампонировании пустот за крепью, для закрепления штанг анкерной крепи и при других процессах. Маркой раствора называют прочность на сжатие кубиков со стороной 7 см через 28 дней после изготовления. Для горной крепи применяют растворы марок 100, 75 и 50. Существенным показателем качества раствора является его удобоукладываемость, т.е. способность смеси укладываться тонким однородным слоем. При небольшом объеме работ раствор готовят вручную, а при значительном объеме работ – в растворомешалках. Готовят также сухие растворные смеси в упаковке, которые перед применением затворяют водой. В последнее время начато изготовление гидрофобных сухих смесей для растворов. Такие смеси, содержащие гидрофобизирующую добавку, можно долго хранить без упаковки. При этом они не комкуются и не теряют активности. Кроме того, при применении этих смесей улучшаются некоторые свойства растворов.

### 3.4.8. Бетон и железобетон для крепления горных выработок

Бетон как крепежный материал обладает высокой прочностью (при действии сжимающих нагрузок), долговечностью, огнестойкостью и относительно невысокой стоимостью, поскольку готовится из местных материалов. Особенностью бетона является хрупкость при ударе и незначительная сопротивляемость растягивающим и изгибающим усилиям (в 8...10 раз меньше прочности при сжатии).

**Бетон** применяется для изготовления монолитных бетонных и железобетонных крепей, элементов сборных железобетонных крепей, крепежных бетонов, блоков, литых полос для охраны выработок и др. Применяют как тяжелые, так и легкие бетоны.

Подбор состава бетонной смеси производится в лаборатории. При этом преследуется цель, чтобы при наименьшем расходе цемента получить удобную для укладки бетонную смесь, обеспечивающую после твердения заданную прочность бетона. Песок, щебень и вода должны быть пригодны для бетона. Практически следует применять воду, пригодную для питья. Для приготовления бетона шахтную воду обычно не применяют.

Составные части бетонной смеси (цемент, песок и щебень) тщательно перемешивают с добавлением воды в специальных машинах – бетономешалках.

В зависимости от количества воды бетонная смесь бывает жесткой, пластичной и литой.

**Жесткая бетонная смесь** содержит 130...170 л воды на 1 м<sup>3</sup> смеси. Если взять горсть жесткой бетонной смеси и сжать ее в кулаке, а потом разжать, то смесь сохраняет свою форму, а на пальцах не остается цементного молока. При использовании такой бетонной смеси необходимо усиленное ее уплотнение – трамбование или вибрирование. При этом бетонная смесь разжижается, становится текучей и хорошо заполняет форму или заопалубочное пространство. По окончании вибрирования бетонная смесь становится твердой. Бетон из жесткой смеси не дает осадки конуса, обладает более высокой прочностью по сравнению с бетоном из пластичной и литой бетонных смесей аналогичного состава.

**Пластичная бетонная смесь** содержит в 1 м<sup>3</sup> 170...230 л воды. Сжатая рукой горсть пластичной бетонной смеси сохраняет свою форму, но смачивает пальцы цементным молоком. Укладка пластичной бетонной смеси требует небольшого уплотнения. Осадка конуса до 13 см.

**Литая бетонная смесь** содержит в 1 м<sup>3</sup> свыше 230 л воды. Она не способна сохранять свою форму. При укладке литой бетонной смеси не требуется уплотнения трамбованием или вибрированием. Осадка конуса более 13 см.

Отношение массы воды к массе цемента – один из главных факторов, влияющих на прочность бетона. Максимальное количество воды, необходимое для химической реакции с цементом, составляет 10...20% его массы ( $B/C=0,1...0,2$ ). Вода свыше этого количества испаряется и образует в бетоне поры, снижая его прочность. Однако при водоцементном отношении, равном 0,1...0,2, бетонная смесь настолько жесткая (сухая), что ее невозможно хорошо перемешать и плотно уложить в форму или за опалубку. Поэтому для жестких бетонных смесей количество воды несколько увеличивают ( $B/C=0,3...0,4$ ), а

для повышения удобоукладываемости (способности бетонной смеси заполнять форму) применяют пластифицированные цементы и сильную вибрацию.

С понижением температуры твердение обычного бетона замедляется. Для сокращения срока твердения бетонные конструкции при заводском условии их производства пропаривают, а при нормальных условиях в бетон добавляют в виде раствора хлористый кальций (1,5...2% от массы цемента), хлористый натрий, соляную кислоту, растворимое стекло и т. п.

Чем плотнее бетон, тем выше его прочность и водонепроницаемость. Плотность бетона повышают хорошим уплотнением смеси при укладке, а также правильным подбором соотношения размеров кусков щебня и зерен песка (гранулометрического состава заполнителей), понижением водоцементного; отношения и применением пластификаторов – добавок, повышающих удобоукладываемость смеси без добавления воды.

В первый период твердения бетона (7...10 дней) его поверхность увлажняют. При недостаточном увлажнении в первые дни твердения бетона происходит значительная его усадка (уменьшение объема). Усадка может повлечь образование трещин в бетонной крепи. Для уменьшения усадки следует кроме увлажнения бетона при твердении избегать применения жирных бетонов (с большим удельным расходом цемента). Если бетон недостаточно плотный, то при прохождении через его поры воды, содержащей разъедающие цементный камень вещества (сульфат магния и др.), бетон разрушается. Коррозионную стойкость бетона повышают большим уплотнением и применением цементов, стойких к разрушающему действию шахтных вод.

В горном деле кроме обычных цементных бетонов применяют также пробужденные бетоны, сырьем для приготовления которых служат различные шлаки или горелые породы из шахтных отвалов. Это сырье содержит те же вещества, что и цемент, поэтому после тонкого их измельчения в специальных установках – бегунах в присутствии воды и цемента они способны «пробуждаться», т.е. приобретают вяжущие свойства, способность затвердевать.

Для крепления горных выработок применяют главным образом тяжелые цементные бетоны марки 150 и выше из жестких смесей. Пластичную бетонную смесь применяют в сильно армированных конструкциях крепи, когда усиленным трамбованием можно повредить арматуру. Литую бетонную смесь применяют только при изготовлении центрифугированных железобетонных конструкций крепей.

К специальным видам бетона, применяемым в горном деле, относят водонепроницаемый бетон, торкретбетон и набрызгбетон.

**Водонепроницаемый бетон** – бетон, не пропускающий воду при давлении от 0,2 МПа и выше. Водонепроницаемость бетона достигается уменьшением водоцементного отношения, увеличением расхода и тонкости помола цемента, применением специальных (расширяющихся, безусадочных и др.) цементов, введением добавок (уплотняющих, пластифицирующих и др.), применением специальных методов уплотнения и водотепловой обработки. Водонепроницаемость бетона определяется по максимальному давлению воды в момент ее просачивания на противоположную поверхность испытываемого образца или по коэффициенту фильтрации бетона, определяемому массой воды, протекаю-

щей под постоянным давлением через единицу площади образца определенной толщины за единицу времени. Для тяжелых бетонов предусмотрены марки по водонепроницаемости В2, В4, В6, В8, В10, В12.

**Торкретбетон** – цементно-песчаный раствор. **Набрызгбетон** в отличие от торкретбетона содержит наряду с мелким также крупный заполнитель (размером зерен до 25 мм). Водоцементное отношение должно сохраняться в узких пределах (от 0,3 до 0,4). Отличительными особенностями торкретбетона и набрызгбетона являются способы приготовления бетонной смеси и ее укладки. Предварительно заготовленную в определенном соотношении сухую смесь цемента и заполнителей загружают в специальную пневматическую машину непрерывного действия. При помощи сжатого воздуха под давлением (0,2...0,3 МПа) смесь из машины подают по шлангу, оборудованному на конце соплом. Затверждение смеси водой происходит в сопле, и она сразу же наносится на поверхность выработки.

**Железобетон** (бетон, армированный металлом) обеспечивает крепкую высокую прочность на сжатие и изгиб, огнестойкость, возможность изготавливать конструкции крепкой сложной формы.

Разновидностью железобетона является армоцемент – мелкозернистый бетон, армированный часто расположенными ткаными сетками с ячейкой до 10 мм из проволоки диаметром 0,8...1 мм. Заполнитель в этом бетоне имеет крупность зерен не более 2,5...3 мм, бетонную смесь применяют с осадкой конуса 2...3 см.

Железобетон, в котором арматура предварительно (до укладки бетонной смеси) натягивается с большой силой (до 50...60% предела прочности металла) и после затвердевания бетона отпускается, называют **предварительно напряженным железобетоном**. Предварительное натяжение арматуры повышает трещиностойкость железобетона, значительно увеличивает сопротивление железобетонных конструкций изгибающим усилиям.

### 3.4.9. Силикатные материалы и изделия

Силикатными называют искусственные каменные материалы и изделия, получаемые в результате формования и последующей тепловлажностной обработки в автоклавах смесей, состоящих из известково-кремнеземистых вяжущих, заполнителей (кварцевого песка, шлака и др.) и воды. Такие композиции, медленно образуют камень при твердении на воздухе, а получаемый материал имеет невысокую прочность (1...2 МПа). В этом случае взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – известки и  $\text{SiO}_2$  – песка протекает очень медленно и, практически, не сказывается на прочности камня. Однако, как было установлено в 1880 г. немецким ученым В. Михаэлисом, твердение уплотненной смеси известки с кварцевым песком резко ускоряется, если эту смесь подвергнуть тепловлажностной обработке в автоклаве, где температура насыщенного пара достигает 170 °С и более, а давление – 0,8 МПа и выше. В этих условиях  $\text{SiO}_2$  песка приобретает химическую активность и между ним и известью происходит энергичное химическое взаимодействие с образованием гидросиликатов кальция, цементирующих зерна песка в прочный монолит.



### **3.4.9.1. Сырье**

Многие годы единственным видом силикатных строительных материалов был силикатный кирпич, для изготовления которого применяют кварцевый песок и воздушную известь. Если часть кварцевого песка тонко размолоть, то прочность изделий после автоклавного твердения значительно возрастает. Регулируя количество и степень измельчения тонкомолотого песка и выбирая в соответствии с этим оптимальные соотношения  $\text{Ca}(\text{OH})_2 : \text{SiO}_2$ , можно изменять активность вяжущего и некоторые физико-механические свойства силикатного бетона.

Для производства автоклавных изделий в качестве кремнеземистого компонента кроме песка используют и другие местные материалы – шлаки, золы от пылевидного сжигания топлива, нефелиновый шлам и др. изделия и конструкции по своим техническим и строительно-эксплуатационным качествам близки к аналогичным изделиям из цементных бетонов, но для их изготовления требуется меньше вяжущего, шире используются местные материалы, технология их изготовления дает возможность полностью механизировать и автоматизировать производственные процессы. Силикатобетонные изделия, как правило, на 15...20 % дешевле цементобетонных.

### **3.4.9.2. Производство**

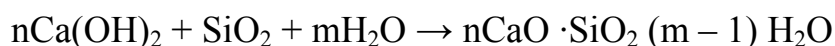
Особенностью автоклавного производства силикатно-бетонных изделий является возможность получения изделий различной плотности и прочности при одних и тех же исходных материалах и процессах их подготовки по технологическим схемам, в своей основе аналогичным при производстве бетонных и железобетонных изделий.

Производство силикатных изделий обычно складывается из следующих операций: приготовления известково-кремнеземистой смеси, приготовления и гомогенизации силикатобетонной смеси, формования изделий, твердения изделий в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при давлении 0,9...1,6 МПа и температуре 175...200 °С.

Выбор способа формования изделий зависит от удобоукладываемости силикатно-бетонной смеси. При изготовлении силикатного кирпича и мелких блоков используют жесткие смеси с влажностью 8...10 %. Такие смеси формуют на специальных прессах под давлением 15...20 МПа. Для формования силикатно-бетонных изделий из смесей с большой пластичностью применяют вибрирование или вибрирование с пригрузом. Очень пластичные смеси, например, при изготовлении пеносиликатных или газосиликатных изделий укладывают без принудительного уплотнения или кратковременным вибрированием.

Последняя и самая важная стадия производственного процесса – твердение силикатно-бетонных изделий – осуществляется в автоклавах. Автоклав представляет собой горизонтально расположенный стальной цилиндр диаметром 2 м и более, длиной 20...30 м с торцов герметически закрытый крышками. В нижней части автоклава уложены рельсы, по которым передвигаются загружаемые в него вагонетки с изделиями.

При автоклавной обработке происходит реакция между гидроксидом кальция извести и кремнеземистым компонентом:



в результате которой синтезируется цементирующее вещество в виде гидросиликатов кальция различного состава, связывающее зерна песка или другого заполнителя в прочный и водостойкий каменный материал. Условия быстрого прохождения этого процесса обеспечиваются в автоклаве путем использования насыщенного пара с температурой 175 °С и выше, но при этом необходимо давление пара 0,9 МПа и более. Длительность цикла запаривания составляет 10...14 ч.

Наращение прочности изделий продолжается и после их выгрузки из автоклава. Это обусловлено высыханием изделий.

**Силикатный (известково-песчаный) кирпич** имеет те же форму и размеры, что и керамический. Его изготавливают из смеси воздушной извести (6...8%), кварцевого песка (92...94 %) и воды (7...9 %) путем прессования под большим давлением и последующего твердения в автоклаве.

Силикатный кирпич – светло-серый, но может быть и цветным, если в состав смеси ввести щелочестойкие пигменты. В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич подразделяют на марки: 75; 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300. Морозостойкость силикатного кирпича, как и керамического, не ниже F15, а водопоглощение – 8...16% (по массе). Плотность силикатного кирпича 1800...1900 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность 0,82...0,87 Вт/(м °С), т. е. больше, чем керамического кирпича.

Силикатный кирпич применяют там же, где и керамический, за исключением конструкций, подвергающихся систематическому действию воды (фундаменты) и высоких температур (печи, трубы и т.п.). В условиях систематического увлажнения, особенно водой, содержащей агрессивные примеси (соли, кислоты), происходит разложение гидросиликатов. При длительном действии температуры выше 500°С силикатный кирпич разрушается вследствие дегидратации гидросиликатов кальция, а также полиморфного превращения кварца в другую модификацию, что сопровождается скачкообразным увеличением объема его зерен.

Для получения силикатного кирпича требуется меньше производственных площадей, чем на заводах керамического кирпича, расходуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза ниже трудоемкость производства. В результате себестоимость силикатного кирпича на 25...35 % ниже, чем керамического. Поэтому он продолжает занимать значительную долю в общем объеме выпуска стеновых материалов. При этом возрастает средняя марка кирпича, увеличивается выпуск пустотелого силикатного кирпича и пустотелых блоков, что позволит снизить расход материалов и вес ограждающих конструкций и уменьшить суммарные приведенные затраты на 1 м<sup>2</sup> стены.

#### **3.4.10. Асбестоцементные материалы и изделия**

Асбестоцементом называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси цемента, асбеста и воды. Цементный ка-

мень хорошо сопротивляется сжимающим и плохо растягивающим нагрузкам. Введение в цемент небольшого количества (10...20 %) тонковолокнистого асбеста, обладающего высокой прочностью при растяжении, существенно изменяет физико-механические свойства цементного камня. Такой материал обладает достаточно высокой прочностью, огнестойкостью, долговечностью, малыми водопроницаемостью, теплопроводностью и электропроводностью, но хрупок и подвержен короблению при изменении влажности.

Номенклатура асбестоцементных изделий, насчитывает свыше 40 наименований. Они могут быть разделены на следующие основные группы:

- профилированные листы – волнистые и полуволнистые для кровель и обшивки стен;
- плоские плиты – обыкновенные и офактуренные или окрашенные для облицовки стен;
- панели кровельные и стеновые с теплоизоляционным слоем;
- трубы напорные и безнапорные и соединительные муфты к ним;
- специальные изделия (архитектурные, санитарно-технические, электроизоляционные и т.д.).

### ***Виды асбестоцементных изделий***

Асбестоцементные изделия подразделяют на листы, плиты, панели, трубы и фасонные детали. Все более широкое распространение в строительстве получают крупногабаритные асбестоцементные профилированные и плоские листы и конструкции на их основе. Применение крупноразмерных изделий упрощает и удешевляет производство кровельных и облицовочных работ, а также сокращает количество стыков. Так, затраты на устройство асбестоцементной кровли, включая стропила, обрешетку, на 24 %, а трудовые затраты на 27 % меньше, чем для кровли из рубероида.

***Асбестоцементные волнистые листы*** средневолнистого профиля СВ (рис 3.16) и унифицированного (УВ) имеют относительно небольшие размеры. Асбестоцементная промышленность выпускает восемь основных типоразмеров крупноразмерных волнистых листов для жилищного, сельскохозяйственного и промышленного строительства. Максимальный пролет листов для кровельных покрытий 1,5 м, а для стеновых ограждений – 2,4 м.

Высокая экономичность достигается применением таких листов длиной 2,5 м в стеновых ограждениях неотапливаемых промышленных зданий, где они заменяют при толщине 6...8 мм железобетонные плиты с приведенной толщиной 35...40 мм или кирпичные стены минимум в полкирпича. Это позволяет снизить в 6...10 раз массу ограждений и значительно уменьшить трудоемкость и стоимость их возведения.

***Асбестоцементные плоские листы и плиты*** выпускают двух типов – прессованные (П) и непрессованные (НП). Лицевая поверхность их может быть гладкой (полированной или неполированной) или тисненой (рельефной), обычного серого цвета, окрашенной или офактуренной. Плотность асбестоцементных непрессованных листов 1600...1700 кг/м<sup>3</sup>, прессованных не менее 1800 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе соответственно не менее 18...20 МПа и

23...25 МПа. Значительную часть этой продукции составляют пока листы размером  $1200 \times 800$  и  $1600 \times 1200$  мм, толщиной 6...10 мм, но все в большем объеме выпускают крупноразмерные листы длиной до 3...6 м, шириной 1,5 и 1,2 м.

Плоские асбестоцементные листы используют для изготовления сборных утепленных ограждающих конструкций (плит и панелей) гражданских и промышленных зданий. Асбестоцементные листы и плиты с различной отделкой лицевой поверхности применяют для внутренней и, реже, для наружной отделки стен, потолков, перегородок в жилых, общественных и промышленных зданиях.

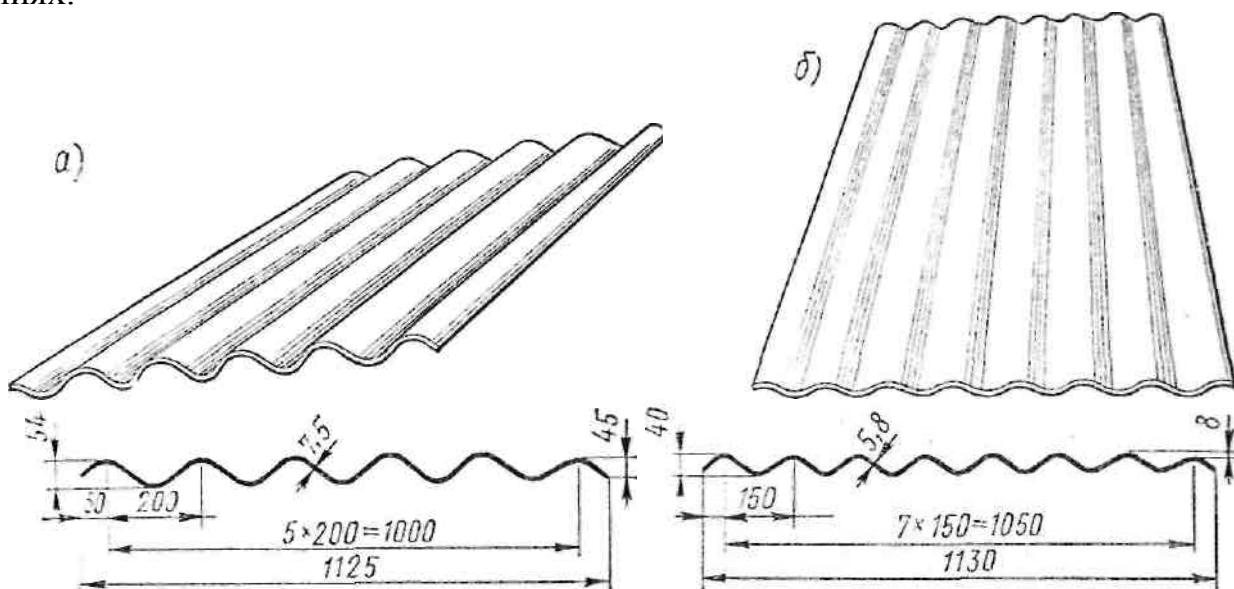


Рис. 3.8. Асбестоцементные волнистые листы:  
 а – унифицированного профиля УВ-175-7,5;  
 б – средневолнистого профиля СВ-40-175.

**Асбестоцементные трубы** применяют для устройства водо-, нефте- и газопроводов, канализации, дренажа, дымовых и вентиляционных каналов, мусоропроводов, прокладки телефонных кабелей. По сравнению с металлическими, асбестоцементные трубы в 3...4 раза легче, в 2...4 раза дешевле, на них не действуют разрушительные блуждающие токи, быстро выводящие из строя металлические трубы. Они более стойки против действия минерализованных вод. Трение воды по стенкам этих труб меньше, чем у металлических, что увеличивает их пропускную способность и сокращает расход электроэнергии на перекачивание жидкостей. Благодаря тому, что волокна асбеста обладают высокой прочностью при растяжении и частично расположены длиной по окружности трубы, асбестоцементные трубы выдерживают давление до 1,2 МПа и выше.

Существенным недостатком асбестоцементных труб является их хрупкость, что необходимо учитывать при перевозке, хранении и монтаже.

#### 3.4.11. Стекло и изделия из стекла

**Стеклом** называют твердый аморфный материал, получаемый при охлаждении минеральных расплавов. В стеклообразном виде могут быть получены многие вещества, в строительстве же используют почти исключительно

силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния (кремнезем)  $\text{SiO}_2$ . Кремнезем сам по себе без добавления каких-либо других веществ при охлаждении расплава способен образовывать стекло, как и некоторые другие оксиды ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ); их называют стеклообразующими оксидами.

Стекло не является химическим веществом с определенным составом, который может быть выражен химической формулой; поэтому состав стекол условно выражают суммой оксидов (например, состав обычного оконного стекла  $\text{SiO}_2$  – 71...72 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 14...15 %;  $\text{CaO}$  – 6,5...7 %;  $\text{MgO}$  – 4 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 2 %).

### **3.4.11.1. Сырье**

Основные компоненты строительных стекол –  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$  – образуются в стекломассе при нагреве и последующем плавлении так называемых главных сырьевых материалов.

Главные сырьевые материалы вводят в стекольную шихту, как правило, в виде природных соединений.

**Кремнезем**  $\text{SiO}_2$  – основной стеклообразующий оксид, вводят в шихту в виде кварцевого песка или молотых песчаников и кварцитов с минимальным содержанием примесей (железа, хрома, титана), снижающих светопропускание стекла.

**Глинозем**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  поступает в стекольную шихту в составе полевых шпатов, каолина, а для высокосортных стекол – в виде чистого оксида алюминия. Увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышает тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

**Оксиды натрия**  $\text{Na}_2\text{O}$  **и калия**  $\text{K}_2\text{O}$  образуются в результате разложения при варке стекла введенных в шихту соответственно соды или сульфата натрия и поташа или калиевой селитры. Оксид натрия ускоряет процесс стеклообразования, понижая температуру плавления и облегчая осветление массы, но повышает коэффициент теплового расширения и уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия снижает склонность стекла к кристаллизации, придает ему блеск и улучшает светопропускание. Оксиды кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$  в стекольную шихту вводят в виде мела, мрамора, известняка, доломита. Эти оксиды повышают химическую стойкость стекла, а оксид магния также снижает склонность стекла к кристаллизации. В специальные стекла (например, оптическое, лабораторное) вводят оксиды свинца, бария и цинка.

**Вспомогательные сырьевые материалы** (осветлители, глушители, красители и др.) вводят в шихту для ускорения варки стекла и придания ему требуемых свойств. **Осветлители** (сульфаты натрия и аммония и др.) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков. **Глушители** (соединения фтора, фосфора и др.) делают стекло непрозрачным. К **красителям** относят соединения кобальта (синий цвет), хрома (зеленый), марганца (фиолетовый), железа (коричневые и сине-зеленые тона) и др.

### 3.4.11.2. Свойства

Стекло в строительных конструкциях чаще подвергается изгибу, растяжению и удару и реже сжатию, поэтому главным показателем, определяющим его свойства, следует считать прочность при растяжении и хрупкость.

Расчетный *теоретический предел прочности стекла при растяжении* составляет 12 000 МПа, практически эта величина ниже в 200...300 раз, в зависимости от размера образца колеблется от 30 до 60 МПа (при сжатии – 700...1000 МПа и более). Это объясняется тем, что в стекле имеются ослабленные участки (микронеоднородности, трещины, внутренние напряжения) и чем больше размер образцов, тем вероятнее наличие таких участков.

**Хрупкость** – главный недостаток стекла, проявление хрупкости у материалов является следствием сочетания нескольких факторов. Главнейшие из них: низкое значение отношения прочности материала на разрыв к его модулю упругости  $R_p/E$  (для стекла оно составляет  $7,5 \cdot 10^{-4} \dots 6,5 \cdot 10^{-4}$ , для стали  $2,5 \cdot 10^{-3} \dots 2,2 \cdot 10^{-3}$ , а для каучука 2,5...1,5).

**Оптические свойства стекла** характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных (см. ниже), пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла (1,50...1,52) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла падения света с 0 до 75° светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50 %.

**Теплопроводность** различных видов стекла составляет 0,5...1 Вт/(м·°С). Коэффициент линейного температурного расширения стекла относительно невелик (для обычного стекла около  $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

**Звукоизолирующая способность** стекла относительно высока. По этому показатель звукоизоляции стекла толщиной 1 см соответствует показателю кирпичной стены в полкирпича – 12 см.

**Химическая стойкость** стекла высокая: разрушающе действуют на него только горячие щелочи и плавиковая и фосфорная кислоты. Это объясняется химическим составом стекла, его высокой плотностью и способностью при действии водных растворов образовывать на поверхности защитный слой, богатый кремнеземом SiO<sub>2</sub>.

### 3.4.11.3. Разновидности стекла и стеклянных изделий, применяемые в строительстве

**Листовое стекло** (обычное оконное, увиолевое, теплозащитное, светорассеивающее, закаленное, витринное, армированное и др.) является самым распространенным стеклом для строительных целей.

**Оконное стекло** выпускают толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм в виде листов от 400×400 до 1600×2200 мм или по спецификации потребителя. Стекло должно быть бесцветным и прозрачным (светопропускание в зависимости от толщины не менее 84...90 %).

**Увиолевое стекло** пропускает не менее 25 % ультрафиолетовых лучей. Это достигается за счет применения стекольной шихты с минимальным содержанием примесей оксидов железа, титана и хрома. Такое стекло используют для остекления проемов в лечебных, детских учреждениях, оранжереях и других специальных сооружениях.

**Теплозащитное стекло** способно поглощать до 75 % инфракрасных лучей. Его изготавливают из стекломассы, в которую вводят оксиды кобальта, никеля и железа, или путем обработки поверхности стекла специальными растворами при его вытягивании. Применяют такое стекло для остекления зданий и средств транспорта с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации, особенно в южных районах.

**Светорассеивающее стекло** характеризуется декоративностью и светорассеивающей способностью. Оно может быть узорчатым и матовым.

**Узорчатое стекло** (рис. 3.9) получают методом непрерывного проката на гравировальных вальцах из бесцветной или цветной стекломассы.

**Матовое стекло** изготавливают пескоструйной обработкой поверхности оконного стекла, при этом, с помощью трафарета, можно получить матово-узорчатый рисунок. Светорассеивающее стекло применяют для остекления оконных и дверных проемов, перегородок, когда требуется освещение без сквозной видимости или рассеянный свет.

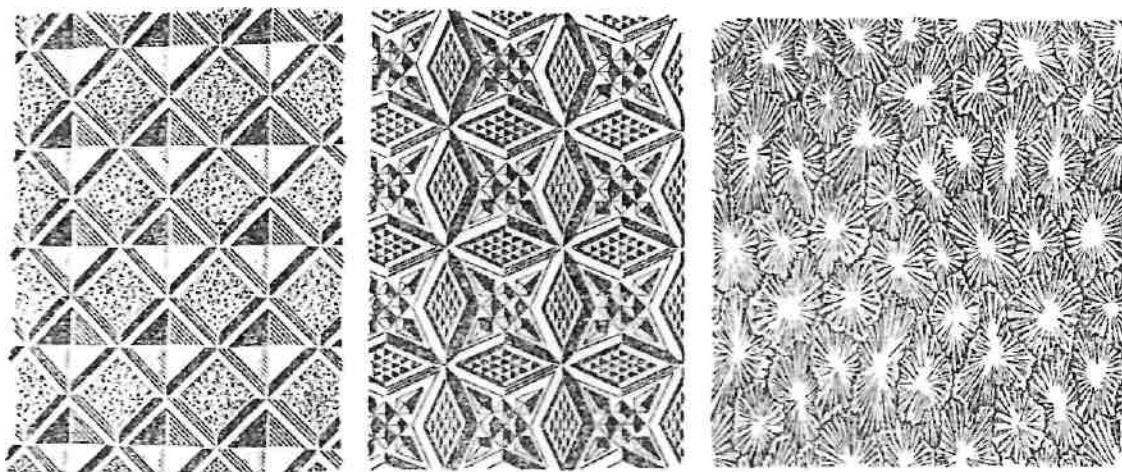


Рис. 3.9. Разновидности узорчатого стекла

**Армированное стекло** получают методом проката с одновременной запрессовкой в обычную или цветную стекломассу металлической сетки. Такое стекло может быть в виде плоских или волнистых листов. Армированное стекло обладает повышенной прочностью и огнестойкостью. Его применяют для остекления дверей, ограждения лестничных клеток и балконов, устройства перегородок и кровли.

**Витринное стекло** неполированное и полированное выпускают увеличенной толщины 5...12 мм. Стекло толщиной 5...6 мм получают, как и обычное оконное, методом вертикального вытягивания, как правило, без последующей полировки.

**Стеклянные блоки** – пустотелые изделия квадратной или прямоугольной формы размерами до  $294 \times 294 \times 98$  мм, состоящие из двух прессованных полублоков из обычной или цветной стекломассы и сваренных или склеенных друг с другом. Блоки имеют небольшую плотность –  $800 \text{ кг/м}^3$ , относительно низкую теплопроводность – в среднем  $0,46 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , достаточное светопропускание – 50...65 % и светорассеивание – до 25 %. Стеклоблоки применяют для сооружения светопрозрачных элементов стен перегородок, остекления лестничных клеток, лифтовых шахт и т.п. Использование стеклоблоков позволяет более чем в 2 раза снизить потери теплоты по сравнению с одинарным остеклением, улучшает звукоизоляцию.

**Стеклянные трубы** различных диаметров (до 150 мм и более) хорошо сопротивляются коррозии, обладают достаточной механической прочностью, гигиеничны, прозрачны, имеют гладкую поверхность, вследствие чего их пропускная способность на 22 % выше, чем чугунных, и на 6,5 % – стальных труб равного диаметра. Недостатком стеклянных труб является малое сопротивление изгибу и удару и значительная хрупкость. Трубы нашли широкое применение для самых различных целей, как в строительстве, так и в других отраслях промышленности – пищевой, химической, фармацевтической и т.п.

**Ситаллы** – стеклокристаллические материалы, получающиеся путем направленной кристаллизации стекла, т.е. структура ситаллов – вид кристаллов, их размер и количество – регулируются в процессе производства. Особенность структуры ситаллов характеризуется тем, что между весьма мелкими кристаллами (несколько мкм) равномерно распределена стекловидная фаза (прослойкой около 1 мкм), количество которой в хорошо закристаллизованных материалах составляет 5...10 %. Структура ситаллов, обеспечивая сохранение положительных свойств стекла, придает им повышенную механическую прочность, термическую и химическую стойкость, диэлектрические свойства, уменьшает хрупкость.

В основу технологии ситаллов положен принцип катализированной кристаллизации. Для этого в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке материала. Термообработка ведется по ступенчатому режиму: вначале материал выдерживают при температуре соответствующей максимальной скорости образования центров кристаллизации, а затем при температуре максимальной скорости роста кристаллов. Таким образом достигается необходимая степень закристаллизованности материала при требуемом размере кристаллов.

Ситаллы получают из того же сырья, что и стекло, с добавлением специальных добавок (например, соединений лития), но к чистоте сырья предъявляются очень высокие требования. В качестве катализаторов кристаллизации используют фториды и фосфаты щелочных и щелочноземельных металлов.

Ситаллы применяют главным образом в специальных отраслях техники (например, в радиоэлектронике). В промышленном и гражданском строительстве они могут найти применение в виде конструктивного отделочного материала



## 3.5. Материалы и изделия из древесины

### 3.5.1. Общие сведения

Древесину издавна широко применяют в строительстве благодаря ряду положительных свойств: высокой прочности при небольшой плотности, малой теплопроводности; легкости обработки; простоте скрепления отдельных элементов; высокой морозостойкости и сопротивляемости действию многих химических реагентов. Древесина имеет и ряд недостатков, снижающих ее строительные свойства: неоднородность строения; наличие пороков; гигроскопичность, приводящую к изменению размеров древесины, короблению и растрескиванию; склонность к загниванию и возгоранию.

**Лесные материалы**, получаемые только путем механической обработки стволов дерева (бревна, пиломатериалы). При таком использовании древесины сохраняются все присущие ей положительные и отрицательные свойства.

Готовые изделия и конструкции, изготавливаемые в заводских условиях (сборные дома и детали, клееные конструкции и т.д.). Свойства древесины в этом случае используются более рационально.

**Синтетические материалы из древесины**, получаемые глубокой переработкой древесины. При глубокой переработке появляется возможность полнее использовать древесину за счет увеличения выхода сырья для получения целлюлозы и материалов на ее основе, вовлечения в переработку почти всех отходов, даже и коры.

Растущее дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Промышленное значение имеет ствол, так как из него получается от 60 до 90 % древесины.

**Макроструктурой** называют строение ствола дерева, видимое невооруженным глазом или через лупу, микроструктурой – видимое под микроскопом. Обычно изучают три основных разреза ствола: поперечный (торцовый), радиальный, проходящий через ось ствола, и тангенциальный, проходящий по хорде вдоль ствола (рис. 3.10, а).

**Макростроение древесины**. При рассмотрении разрезов ствола дерева невооруженным глазом или через лупу можно различить следующие основные его части: сердцевину, кору, камбий и древесину (рис. 3.10, б).

**Сердцевина** состоит из клеток с тонкими стенками, слабо связанных друг с другом. Сердцевина совместно с древесной тканью первого года развития дерева образует сердцевинную трубку. Эта часть ствола дерева легко загнивает и имеет малую прочность.

**Кора** состоит из кожицы или корки, пробковой ткани и луба. Корка или кожица и пробковая ткань защищают дерево от вредных влияний среды и механических повреждений. **Луб** проводит питательные вещества, от кроны в ствол и корни.

Под лубяным слоем у растущего дерева располагается тонкий кольцевой слой живых клеток – **камбий**, Ежегодно в вегетативный период камбий откладывает в сторону коры клетки луба и внутрь ствола, в значительно большем

объеме – клетки древесины. Деление клеток камбиального слоя начинается весной и заканчивается осенью.

Поэтому древесина ствола (часть ствола от луба до сердцевины) в поперечном разрезе состоит из concentрических так называемых годовичных колец, располагающихся вокруг сердцевины.

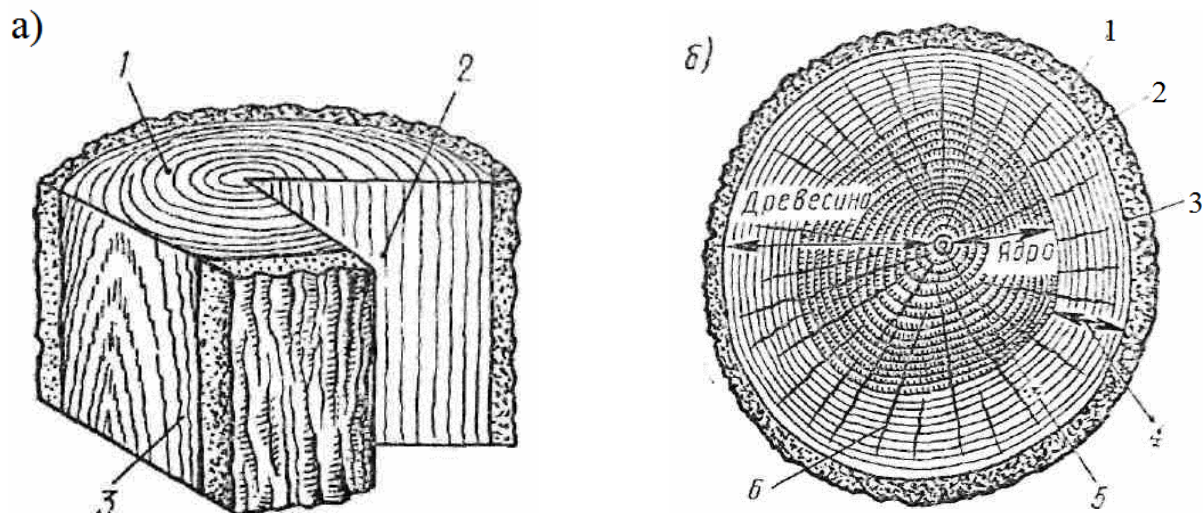


Рис. 3.10. Строение ствола дерева:

а – основные разрезы ствола; 1 – поперечный (торцовый); 2 – радиальный; 3 – тангентальный; б – строение ствола дерева на поперечном разрезе; 1 – кора; 2 – камбий; 3 – луб; 4 – заболонь; 5 – сердцевина; 6 – сердцевинные лучи

### 3.5.2. Свойства древесины

#### *Физические свойства древесины*

**Истинная плотность** древесины всех деревьев изменяется незначительно, так как древесина состоит в основном из одного вещества – целлюлозы. Среднее значение истинной плотности древесины можно принять равным  $1,54 \text{ г/см}^3$ .

**Средняя плотность** древесины разных пород, даже древесины одной и той же породы, колеблется в весьма широких пределах, поскольку строение и пористость растущего дерева зависят от почвы, климата и других природных условий. У большинства древесных пород в абсолютно сухом состоянии она меньше  $1 \text{ г/см}^3$ .

**Пористость** древесины изменяется в широких пределах (от 30 до 80 %).

**Гигроскопичность и влажность.** Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость, обладает огромной внутренней поверхностью, которая легко сорбирует водяные пары из воздуха (гигроскопичность). Влажность, которую приобретает древесина в результате длительного нахождения на воздухе с постоянной температурой и влажностью, называется **равновесной**.

По содержанию влаги различают мокрую древесину – с влажностью до 100% и более; свежесрубленную – 35 % и выше; воздушно-сухую – 15...20 %; комнатно-сухую – 8...12 % и абсолютно сухую древесину, высушенную до по-

стоянной массы при температуре  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Стандартной принято считать влажность древесины 12%.

**Усушка, разбухание и коробление.** Изменение влажности древесины от нуля до предела гигроскопической влажности вызывает изменение ее линейных размеров и объема – усушку или разбухание, величина которых зависит от количества испарившейся или поглощенной ею влаги и направления волокон. Вдоль волокон линейная усушка для большинства древесных пород не превышает 0,1 %, в радиальном направлении – 3...6 %, а в тангенциальном – 7...12 %. Разница в усушке древесины в тангенциальном и радиальном направлениях и неравномерность высыхания сопровождается возникновением внутренних напряжений в древесине, что может вызвать ее коробление и растрескивание. Боковые края досок стремятся выгнуться в сторону выпуклости годовых слоев, а наибольшему короблению подвержены доски, выполненные из древесины, расположенной ближе к поверхности бревна, неширокие доски (рис. 3.11).

**Теплопроводность древесины** – материала высокопористого и волокнистого строения – относительно низкая. Однако вследствие анизотропности строения теплопроводность вдоль и поперек волокон отличается примерно в 2 раза (например, для сосны вдоль волокон –  $0,35 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ , а в поперечном направлении  $0,17 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ )

**Прочность древесины** как анизотропного волокнистого материала в большой степени зависит от того, под каким углом к волокнам направлена сила. Предел прочности при растяжении вдоль волокон в 20...30 раз, а при сжатии в 5...10 раз больше, чем поперек волокон.

Прочность древесины зависит также от породы дерева, средней плотности, косвенно характеризующей пористость древесины и ее возможную влажность.

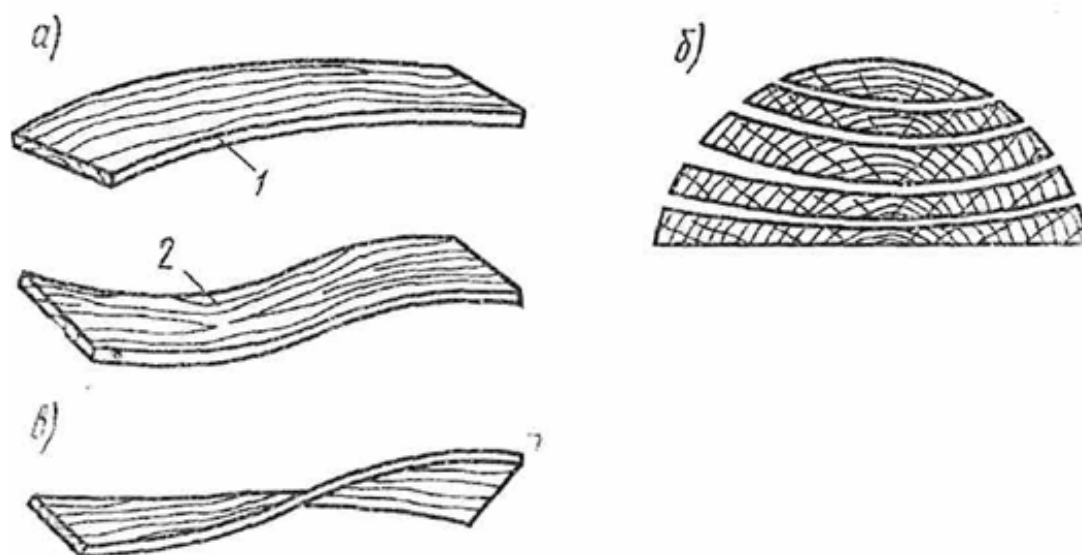


Рис. 3.11. Коробление досок при усушке:

а – продольное; 1 – простое; 2 – сложное; б – поперечное; в – крыловатость

Основные физико-механические свойства древесины хвойных и лиственных пород, применяемых в строительстве, приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

**Основные физико-механические свойства некоторых пород древесины  
(среднее значение при влажности 12 %)**

Порода дерева	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объемной усушки, %	Предел прочности, МПа, вдоль волокон при			
			растяжении	сжатию	скалывании радиальном	статическом изгибе
<b>Хвойные породы</b>						
Лиственница	600	0,52	125	64,5	9,9	111,5
Сосна обыкновенная	500	0,44	103,5	48,5	7,5	86
Ель	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
Пихта сибирская	375	0,39	67	39	6,4	68,5
<b>Лиственные породы</b>						
Дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	0,54	168	55	9,3	109,5
Бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	0,43	101	44	8,1	80,5
Осина	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78

### 3.5.3. Пороки древесины

**Пороками** называют недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность использования. Пороки образуются как при росте дерева, так и при хранении на складах и эксплуатации.

Степень влияния пороков на пригодность древесины для строительства зависит от их вида и места расположения, размеров поражения, а также характера и назначения лесопродукции. Один и тот же порок в некоторых видах лесопродукции делает древесину непригодной для строительных целей, а в других понижает ее сорт или не имеет существенного значения.

**Сучки** – распространенный и неизбежный порок древесины (рис. 3.12). Сучки являются частью (основанием) ветвей, заключенной в древесине, и нарушают однородность строения древесины, вызывают искривления волокон и годовичных слоев, уменьшают рабочее сечение пиломатериалов, что понижает прочность древесины, затрудняет ее механическую обработку и ухудшает внешний вид. В отдельных случаях понижение прочности достигает 30...40 %, а в тонких досках и брусках и более.

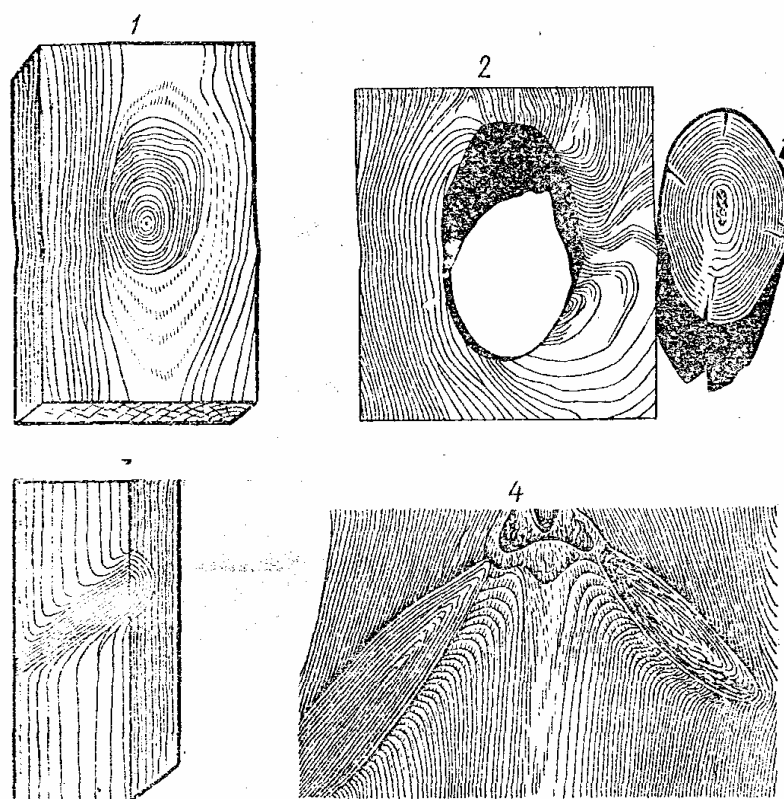


Рис. 3.12. Вид сучков по степени срастания с древесиной и по форме:  
 1 – сросшийся здоровый; 2 – выпадающий; 3 – сшивной;  
 4 – разветвленный (лапчатый)

**Трещины** представляют собой разрывы древесины вдоль волокон. Они могут появиться как на растущем дереве, так и при высыхании срубленного дерева. Они нарушают целостность лесоматериалов, уменьшают выход высококачественной продукции, снижают прочность, а в некоторых случаях, например в мелком сортаменте, делают их непригодными для строительных целей. Кроме того, трещины задерживают влагу в древесине, что создает условия для развития в ней грибков, вызывающих гниение.

**Грибные поражения** вызываются простейшими растительными организмами – грибами, которые развиваются из спор, заносимых в древесину ветром, водой, насекомыми и т.п. Одни грибки изменяют только окраску древесины, почти не влияя на физико-механические свойства (*деревоокрашивающие*), другие не только изменяют цвет, структуру и свойства древесины, но и разрушают ее, образуя гниль (*дереворазрушающие*).

Питательной средой для деревоокрашивающих грибов служит только содержимое клеток. Эти грибы не затрагивают клетчатку и поражают преимущественно растущий лес и срубленную древесину, пока она не утратила своих соков (при хранении в лесу, на складах, транспортировании). К таким поражениям относят грибные ядровые и заболонные пятна и полосы разного цвета, плесень и др.

Питательной средой для дереворазрушающих грибов, вызывающих гниение, является целлюлоза, слагающая стенки клеток древесины.

### 3.5.4. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания

#### 3.5.4.1. Предохранение древесины от гниения и разрушения насекомыми

Для предупреждения загнивания древесины принимают ряд конструктивных мер, цель которых предохранить ее от увлажнения (древесину изолируют от грунта, камня и бетона, делают каналы для проветривания, защищают от атмосферных осадков и т.п.). Когда мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения, ее пропитывают антисептиками – химическими веществами, которые убивают грибы или создают среду, в которой их жизнедеятельность становится невозможной.

Для антисептирования древесины используют водорастворимые, органикорастворимые и маслянистые антисептики, а также антисептические пасты.

**Водорастворимые антисептики** применяют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации защищена от непосредственного увлажнения и вымывающего действия воды.

**Фторид натрия** NaF – порошок белого цвета, без запаха. Применяют в растворах 3...4%-ной концентрации для антисептирования деревянных элементов, а также материалов и изделий из древесных стружек, опилок, камыша. При соприкосновении с известковыми, цементными и гипсовыми материалами фторид натрия теряет свои ядовитые свойства, переходя в нерастворимый фторид кальция.

**Кремнефторид натрия** Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> – белый или серый порошок, по действию сходный с фторидом натрия. Применяют совместно с кальцинированной содой, фторидом натрия и в силикатных пастах.

**Органикорастворимые препараты** типа ПЛ (растворы пентахлорфенола в легких нефтепродуктах) и типа НМЛ (растворы нафтената меди в легких нефтепродуктах) являются высокотоксичными антисептиками. Хорошо проникающими в древесину.

Из **маслянистых антисептиков** наиболее широко используют масло каменноугольное (креозотовое и антраценовое) и сланцевое. Оба эти продукта – жидкости темно-коричневого цвета с резким запахом и сильными антисептическими свойствами. Основное назначение – глубокая пропитка деревянных элементов, находящихся на открытом воздухе, в земле или воде (шпалы, части мостов, сваи, подводные сооружения и др.).

**Антисептирующие пасты** готовят из водорастворимого антисептика (фторид или кремнефторид натрия), связующего вещества (битума, глины, жидкого стекла и др.) и наполнителя (чаще всего торфяного порошка). Элементы открытых сооружений, обработанные пастой, защищают гидроизоляционным покрытием. Растворяясь в воде, антисептик, входящий в состав пасты, проникает внутрь древесины и предохраняет ее от загнивания.

**Пропитку древесины антисептиками** осуществляют поверхностной обработкой, в горячих и холодных ваннах и под давлением.

Основной способ борьбы с дереворазрушающими насекомыми на складах лесоматериалов – содержание склада в соответствии с санитарными требова-

ниями, а также своевременная окорка круглых лесоматериалов. Однако древесина может поражаться насекомыми и в сооружениях. В этом случае борьба с ними ведется химическими средствами, путем обработки древесины ядовитыми веществами – инсектицидами, убивающими насекомых и их личинки. Древесину обрабатывают инсектицидами пропиткой, опрыскиванием, обмазкой, опылечением порошками или окуриванием газами. Для этих целей используют уже описанные маслянистые антисептики и препараты на органических растворителях, а также раствор хлорофоса (диметилтрихлороксиэтилфосфоната), хлородан в виде дуста и эмульсии и другие вещества, а также некоторые газы (хлорпикрин).

#### **3.5.4.2. Защита древесины от возгорания**

При зажигании древесины пламенем возгорание происходит при температуре 260...290°C, а при нагреве выше 350 °C газы, выделяющиеся из древесины, способны возгораться даже при отсутствии открытого пламени. При длительном нагреве эти температуры понижаются. Для предупреждения возгорания принимают специальные меры, которые сводятся:

- к конструктивным (удаление деревянных элементов от источников нагревания, устройство огнестойких перегородок и стен);
- покрытию деревянных элементов штукатуркой или облицовкой малотеплопроводными и несгораемыми материалами (асбестовыми и др.);
- окрашиванию деревянных конструкций огнезащитными красками или пропитке древесины специальными веществами – антипиренами.

Огнезащитные краски содержат связующее вещество, наполнители и антипирены. Например, в силикатных красках связующим служит растворимое стекло, а наполнителем – молотый кварцевый песок, мел, магнезит. Составные компоненты таких красок образуют стекловидные пленки, которые предотвращают доступ кислорода воздуха к древесине и защищают ее от возгорания.

Для защиты от огня скрытых деревянных элементов зданий и сооружений (стропил, обрешетки и др.) используют огнезащитные пасты на основе глины, извести, гипса, суперфосфата, которые после высыхания образуют несгораемый слой толщиной 2...3 мм.

Огнезащитное действие антипиренов основано на том, что одни из них при нагревании древесины создают оплавленную пленку, закрывая доступ кислорода к древесине, другие при высокой температуре выделяют негорючие газы, оттесняющие воздух от поверхности древесины и одновременно разбавляющие горючие газы, выделенные из самой древесины при нагревании. В качестве антипиренов применяют буру  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , хлористый аммоний, фосфорнокислые натрий и аммоний, сернокислый аммоний. Обработка древесины антипиренами производится теми же методами, что и антисептирование.

Большинство антисептиков и химикатов для защиты древесины от насекомых и возгорания вредно действуют на организм человека, вызывая отравление, ожоги. При обращении с ними нужно соблюдать требования охраны труда и техники безопасности.

### 3.5.5. Основные породы древесины, применяемые в строительстве и горном деле

#### 3.5.5.1. Хвойные породы

Широкое применение в строительстве хвойных пород (сосны, ели, лиственницы, меньше – кедра и пихты) объясняется их большой территориальной распространенностью, высотой и прямизной стволов, повышенным по сравнению с некоторыми лиственными породами качеством, в частности стойкостью против загнивания.

**Сосна** – ядровая порода, ядро буровато-красного цвета, заболонь желтовато-белого. Сосна занимает около 40 % площади всех лесов Украины.

**Ель** занимает  $\frac{1}{8}$  покрытой лесом площади. Наибольшее хозяйственное значение имеет – европейская (обыкновенная) ель. Древесина ели имеет однородный белый цвет со слабым желтоватым оттенком, широкую заболонь и спелую древесину, не отличающуюся по цвету от заболони. Древесина ели мягкая, легкая, как у сосны, но с меньшим содержанием смолистых веществ, что снижает сопротивляемость ее загниванию. Наличие в древесине ели большого количества твердых сучков затрудняет ее механическую обработку.

Применяют ель для тех же целей, что и сосну, но с учетом ее пониженной стойкости к загниванию.

**Лиственница** имеет ядро красновато-бурого цвета и узкую заболонь белого цвета. Древесина лиственницы мелкослойная. Прочность, твердость и средняя плотность лиственницы выше, чем у сосны и ели, примерно на 30 %. Она отличается повышенной гнилостойкостью, но склонна к растрескиванию. Лиственница особенно ценится в гидротехническом строительстве и мостостроении; из нее изготавливают шпалы и рудничные стойки. Лиственница произрастает главным образом в Сибири и на Дальнем Востоке, что ограничивает ее использование в Украине.

**Кедр** имеет ядро светло-бурого цвета и широкую заболонь, мало отличающуюся по цвету от ядра. Древесина кедра мягкая и легкая, ее механические свойства ниже, чем сосны. Применяют кедр в виде круглого леса и пиломатериалов, для столярных изделий и отделки мебели – в виде декоративной фанеры.

#### 3.5.5.2. Лиственные породы

Лиственные породы имеют стволы менее правильной формы, чем хвойные. В строительстве более широкое применение получили дуб, ясень, береза, осина, ольха, бук.

**Дуб** – кольцесосудистая порода, имеющая ярко выраженное ядро от светло до темно-бурого цвета и узкую светло-желтую заболонь. Древесина дуба характеризуется высокой прочностью и стойкостью против гниения, красивой текстурой и цветом, но дает значительную усушку и склонна к растрескиванию. В строительстве дуб используют для изготовления ответственных конструкций в гидротехнических сооружениях, в мостостроении, а также для изготовления паркета, ножевой фанеры, столярных изделий (оконные переплеты, двери и



т.п.) и ответственных деталей несущих конструкций, в особенности работающих под нагрузкой, направленной поперек волокон (опорные подушки, прокладки, шпонки и др.). Для отделочных и декоративных работ ценным является мореный дуб черного или темно-серого цвета, который получают при длительном выдерживании дуба под водой.

**Ясень** – ядровая порода, по виду и строению древесины напоминает древесину дуба, но более светлой окраски. Древесина ясеня отличается высокой прочностью и вязкостью, малой склонностью к растрескиванию, красивой текстурой, хорошо сохраняется на воздухе и в воде, но легко загнивает в условиях переменной влажности. Применяют наравне с дубом, но в условиях, не опасных для гниения.

**Береза** является распространенной в наших лесах лиственной породой. Порода заболонная, имеет древесину белого цвета с легким желтоватым или красноватым оттенком, твердую и прочную, но легко загнивающую, особенно в условиях повышенной влажности. Из нее изготавливают фанеру, некоторые столлярные изделия и т.п. Карельскую березу, имеющую свилеватое расположение волокон, широко используют в отделочных работах и мебельном производстве.

**Осина** – заболонная порода, как и береза, произрастает повсеместно. Древесина осины однородного белого цвета, мягкая, легкая, менее прочная, чем у березы. При высыхании не коробится и мало трескается, но во влажном состоянии легко загнивает. В строительстве ее используют для возведения временных сооружений, а также для получения фанеры.

**Бук** – спелодревесная порода. Древесина бука белого цвета с красноватым оттенком, очень прочная, с красивой текстурой на радиальном разрезе, хорошо гнется, но подвержена загниванию в условиях повышенной и переменной влажности, а при высушивании – короблению и растрескиванию. Бук применяют для изготовления паркета, фанеры, шпал и т.п., а также в мебельном производстве.

### 3.5.6. Материалы и изделия из древесины

#### 3.5.6.1 Лесоматериалы общего назначения

По способу механической обработки лесоматериалы разделяют на:

- круглые;
- пиленые материалы;
- лущеные;
- фрезерованные (строганные);
- колотые, производимые разделением древесины вдоль волокон клиновидным инструментом;
- измельченные (щепа, опилки стружки), получаемые в процессе обычного пиления и фрезерования или специальной переработкой древесины.

**Круглые лесоматериалы.** Ствол поваленного дерева, опиленный от корневой части и очищенный от сучьев, называют **хлыстом**. Процесс деления хлыстов на части называют **раскряжевкой**. При раскряжевке хлыстов получают отрезки разной длины – **бревна, кряжи и чурбаки**. В строительстве используют

главным образом бревна, как в круглом виде, так и в качестве сырья для выработки пиломатериалов.

Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру верхнего отруба) разделяют на *мелкие, средние и крупные*. Мелкие, называемые часто подтоварником, имеют диаметр 6...13 см, средние – 14...24 см, крупные – 26 см и более. Более тонкие части ствола или тонкий лес (3...7 см) строители называют жердями. *Длина бревен – 3...6,5 м, с градацией – через 0,5 м.*

В зависимости от качества древесины и дефектов обработки круглые лесоматериалы разделяют на четыре сорта. В строительстве преимущественно используют бревна 2-го и 3-го сортов.

**Пиломатериалы и заготовки.** Пиломатериалы по геометрической форме и размерам поперечного сечения делят на распилы, обаполы, брусья, бруски, доски, горбыль (рис. 3.13). Брусья имеют толщину и ширину более 100 мм; бруски – толщину до 100 мм и ширину не более двойной толщины; доски – толщину до 100 мм, ширину более двойной толщины. По характеру обработки пиломатериалы делят на *обрезные и необрезные*. У необрезных пиломатериалов кромки не пропилены. По степени обработки пиломатериалы разделяют на *нефрезерованные и фрезерованные* (строганные). При толщине материалов до 32 мм их называют *тонкими*, при большей толщине – *толстыми*. Тонкие доски называют еще *тесом*.

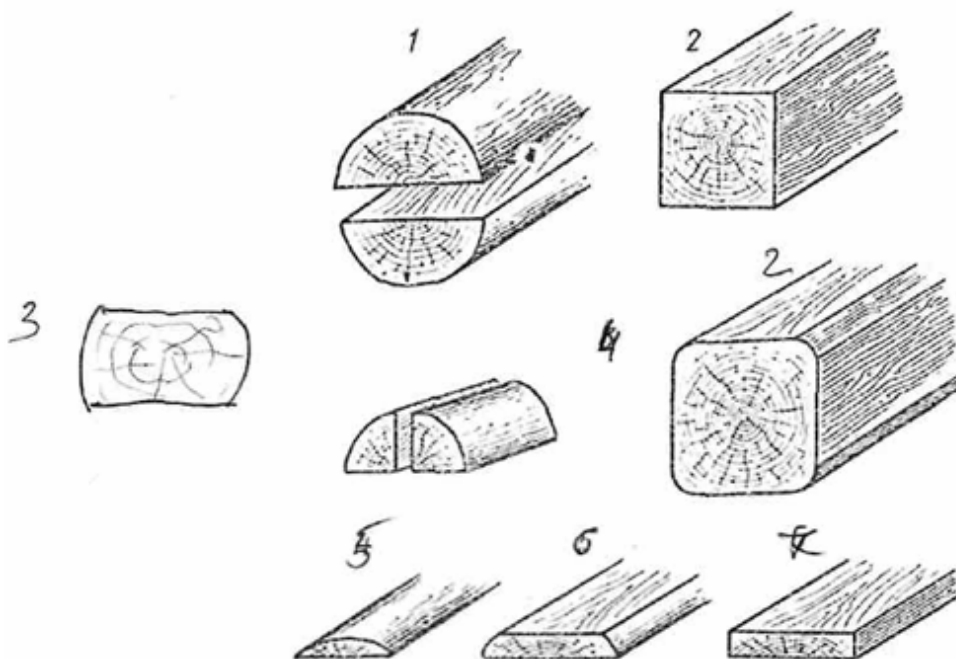


Рис. 3.13. Виды пиломатериалов: 1 – обаполы, 2 – брусья, 3 – распил, 4 – четвертина, 5 – горбыль, 6 – необрезная доска, 7 – обрезная доска

Пиломатериалы хвойных пород изготовляют длиной 1...6,5 м с градацией 0,25 м. Доски и бруски разделяют на пять сортов (отборный, 1, 2, 3 и 4-й); брусья отборного сорта не имеют. В строительстве используют все сорта, а в столярном производстве 1-го и 2-й сорта. Ширина пиломатериалов увязана с тол-

щиной и максимально может быть: у досок – 250 мм, брусков – 200 мм, брусьев – 250 мм.

**Заготовки** – это доски и бруски, прирезанные применительно к заданным размерам и качеству древесины, используемой для изготовления деталей с припусками на механическую обработку и усушку. Заготовки по видам обработки различают: *пиленые* – полученные путем пиления; *клееные* – изготовленные путем склеивания из нескольких более мелких заготовок; *калиброванные* – обработанные до заданных размеров. В строительстве широко используют также заготовки, имеющие после фрезерования специальную форму сечения (плинтусы, наличники, обшивки, поручни и т.п.).

### **3.5.6.2. Лесоматериалы применяемые в горной промышленности**

Лесоматериалы довольно широко применяются для крепления горных выработок, так как древесина имеет относительно высокую прочность при небольшой массе, обладает упругостью, легко обрабатывается и сравнительно дешева. Основными недостатками дерева являются неогнестойкость, значительный разброс прочностных показателей и недолговечность в связи с подверженностью гниению, которое особенно интенсивно происходит в подземных условиях. Вследствие гниения срок службы сосновой крепи в среднем составляет всего 2...3 года, а при неблагоприятных условиях (в выработках с исходящей вентиляционной струей и повышенной влажностью) – менее года. Поэтому горные выработки с деревянной крепью приходится за срок их службы перекреплять, что кроме значительных материальных и трудовых затрат затрудняет работу подземного транспорта и проветривание выработок.

Чтобы увеличить длительность службы крепежного леса в подземных выработках, его предохраняют от загнивания пропитыванием специальными растворами химических веществ (антисептиками). Для пропитки крепежного леса применяют слабые (3...7%-ные) растворы фтористого натрия или хлористого цинка. Пропитку производят вымачиванием дерева в ванне или под давлением в специальных котлах-автоклавах. Пропиткой антисептиками можно увеличить срок службы деревянной крепи и других деревянных сооружений (вентиляционных дверей, перемычек и др.) в 2...3 раза. Срок службы крепежного леса увеличивается также и за счет его высушивания. Обычно крепежный лес высушивают при длительном хранении на открытом воздухе в штабелях, защищенных крышей. Лес складывают таким образом, чтобы ветер мог его продувать.

Для защиты дерева от возгорания его пропитывают огнезащитными химическими растворами или производят окраску дерева огнезащитной пастой. Однако эти средства полную огнестойкость дерева не обеспечивают, а только снижают его возгораемость.

Для крепления горных выработок применяют в основном хвойные породы леса: сосну, ель, лиственницу, кедр, пихту, реже – лиственные (дуб, бук, березу и др.).

Объемная масса (плотность) древесины зависит от породы и влажности древесины. Каждая порода древесины имеет характерный цвет и запах, по которым можно определить качество древесины. Здоровая древесина имеет ров-

ный цвет, а пятна и полосы указывают на начало ее загнивания. При загнивании древесины появляется затхлый запах.

**Влажность древесины** – отношение массы содержащейся в древесине влаги к массе абсолютно сухой древесины (высушенной при температуре 100...105°C), выраженное в процентах. Влажность свежесрубленной древесины колеблется в широких пределах – от 35 до 80% и в среднем составляет для сосны 40%, ели – 45%, пихты – 37%, лиственницы – 26%, дуба – 30%.

**Прочность древесины** даже одной и той же породы колеблется в широких пределах в зависимости от характера и направления силы (нагрузки), от влажности, строения, возраста и других причин. Древесина является анизотропным материалом. Она лучше сопротивляется растяжению, чем сжатию или скалыванию, и лучше работает при действии этих усилий вдоль волокон, чем поперек. Если предел прочности при сжатии вдоль волокон принять за единицу, то при сжатии поперек волокон он будет равен 0,1...0,3; при растяжении вдоль волокон – 2...3, поперек волокон – 0,5...0,3. Прочность древесины на скалывание примерно в 7 раз меньше прочности на сжатие вдоль волокон.

Значительно снижается прочность древесины с увеличением ее влажности. Поэтому в качестве крепежного материала не следует применять сырой лес. Прочность древесины также зависит от ее возраста: древесина молодых деревьев менее прочна. Гниение, сучки, трещины, свилеватость, червоточины и другие пороки снижают прочность древесины. Пределы прочности (разрушающие нагрузки) древесины для наиболее употребительных пород дерева (при влажности 15%) приведены в табл. 3.9.

Фактические прочностные показатели крепежных деревянных стоек, полученные на основе обобщения результатов испытаний большого числа стоек, длительное время хранившихся на лесных складах шахт Донецкого, Карагандинского и Подмосковного угольных бассейнов, приведены в табл. 3.10.

**Пороками древесины** называют различные неправильности ее строения или внутренние повреждения, а также заболевания, делающие ее непригодной для изготовления крепи. К порокам древесины относят ненормальную окраску и гниль, повреждения насекомыми (червоточина), трещины, сучки, неправильность формы и строения древесины.

**Сортамент крепежных лесоматериалов.** В качестве крепежного материала применяют круглые лесоматериалы – бревна, подтоварник, стойки и пиломатериалы – пластины (распилы), брусья, доски, обаполы (горбыли). Наибольшее применение для крепления выработок имеют стойки и обаполы.

**Бревна** – отрезки ствола дерева длиной от 5 до 9 м и толщиной в верхнем торце 12 см и больше.

**Подтоварник** – круглый лесоматериал длиной от 3 до 9 м и толщиной в верхнем торце от 8 до 11 см.

**Рудничные стойки** – круглый лесоматериал длиной от 0,5 до 5 м и толщиной в верхнем торце от 7 до 30 см. Отклонения длины стоек допускаются в размере  $\pm 2$  см, диаметра – 0,5 см для стоек толщиной до 11 см (включительно) и 1 см для стоек толщиной 12 см и более. Для крепления горных выработок применяют в основном следующие пиломатериалы.

Таблица 3.10

**Фактические прочностные показатели крепежных деревянных стоек**

Длина стойки, м	Средний диаметр стойки, см	Влажность древесины, %	Средний предел прочности при осевом сжатии, МПа		Несущая способность, тс
			при фактической влажности	приведенный к стандартной влажности (15%)	
<b>Сосновые стойки</b>					
0,61	8...10	27,4	20,4	32,6	16...25
0,9...1,1	10...12	11,5...15,5	27,1	24,8	19...28
2,2...2,5	10,5...20	18,4	17,1	20,2	17,5...63
1,1...1,2	11...19	16...18	28,7	33	31...93
2,3...2,8	18...23	16...18	14,6	16,8	43...70
2,8...3	17...24	18...20	17,3	20,8	86...94
<b>Еловые стойки</b>					
2,3...2,5	15...20	22,9	15,2	20	35...62
0,61	9...11	22	19,7	25,1	16...24

**Распилы** – стойки, распиленные пополам вдоль продольной оси. Пластины и распилы в основном служат в качестве верхняков временной крепи, прогонов и для затяжки боков и кровли выработок.

**Брусья** – пиломатериалы, толщина которых равна ширине или более половины ширины. Причем, если толщина и ширина их составляет 10 см и меньше, их называют брусками. Стороны брусьев называют кантами. Различают брусья четырехкантные, у которых пропилены четыре стороны, и двухкантные, у которых пропилены только две стороны. Длина брусьев колеблется от 1 до 6,5 м, сечение – от 13×13 до 25×25 см. Брусья применяют для крепления неглубоких вертикальных выработок (шурфов, гезенков), наклонных выработок прямоугольного сечения, для армировки стволов, а также для шпал рельсового пути. Бруски применяют для изготовления лестниц, трапов и перил ходовых отделений.

**Доски** – пиломатериалы, ширина которых более двойной толщины. Доски могут быть необрезные, у которых боковые кромки не опилены, и обрезные, имеющие прямоугольное сечение. Доски применяют для затяжки боков и кровли выработок, устройства кружал, опалубки, полков, обшивки ходовых отделений и перемычек.

**Обаполы**, или **горбыли** – крайние части ствола дерева, распиленного на брусья или доски. Обапол может быть горбыльным, когда пропил имеется только с одной стороны, и дощатым – с пропилом с двух сторон. Обаполы используют в основном для затяжки кровли и боков выработок.

### 3.6. Теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы и изделия

#### 3.6.1. Теплоизоляционные материалы и изделия

Строительные материалы для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного и энергетического оборудования и трубопроводов называют теплоизоляционными. Такие материалы имеют низкую теплопроводность [не более  $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ] и небольшую плотность (не выше  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ). Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших направлений технического прогресса в строительстве. При этом появляется возможность резко снизить массу конструкций и затраты на сооружение здания, рационально использовать энергетические ресурсы.

Применение в строительстве облегченных кирпичных стен с эффективными утеплителями взамен сплошной кирпичной кладки позволяет в 2...2,5 раза сократить потребность в кирпиче, цементе и извести, в 3 раза снизить массу конструкций, транспортные расходы и до 30 % снизить стоимость стен.

Теплоизоляционные материалы позволяют создать лёгкие стеновые панели, конструкции легких покрытий. Это дает возможность повысить степень индустриализации строительных работ.

Весьма эффективным является использование теплоизоляционных материалов для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. Удельный вес теплоизоляционных работ в жилищно-гражданском строительстве составляет около 1 %, в промышленном строительстве он возрастает до 1,8 %, в том числе в строительстве электростанций и нефтехимических объектов – до 2,5...3 %. Применение теплоизоляционных материалов в этом случае позволяет снизить расход топлива за счет уменьшения теплопотерь, а в ряде случаев интенсифицировать технологические процессы, улучшить условия и повысить производительность труда. Очень важно использование теплоизоляционных материалов в различных холодильных установках для снижения потерь холода, так как стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз выше стоимости получения соответствующей единицы теплоты.

Важной характеристикой теплоизоляционных материалов является **теплопроводность**, по величине которой их делят на три класса: *малотеплопроводные* – класс А [меньше  $0,058 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; *среднетеплопроводные* – класс Б [ $0,058...0,116 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; *повышенной теплопроводности* – класс В [не более  $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ].

Вследствие сложности определения теплопроводности на практике теплоизоляционные материалы обычно классифицируют *по плотности*, значения которой с известной степенью приближения дают представление о теплопроводности материала. Все теплоизоляционные материалы по плотности ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) делят на особо легкие (ОЛ), имеющие марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100; легкие (Л) – 125, 150, 175, 200, 250, 300 и тяжелые (Т) – 400, 450, 500, 600. Материал, имеющий среднюю плотность, не совпадающую с показателями марок, относится к ближайшей большей марке.

По *виду исходного сырья* теплоизоляционные материалы могут быть: *неорганические* (минеральные и стеклянная вата, ячеистые бетоны, материалы на

основе асбеста, керамические и др.) и *органические* (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, камышит, торфяные плиты, материалы из пластмасс и др.). Изготавливают также *комбинированные материалы*, состоящие из неорганического и органического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическим связующим).

По *внешнему виду и форме* теплоизоляционные материалы делят на *сыпучие* и *штучные*. Сыпучие материалы представляют собой рыхлые массы порошкообразного, зернистого или волокнистого строения. В сухом виде их используют для засыпки в полости стен, междуэтажных перекрытий (минеральная вата, керамзитовый гравий). Некоторые порошкообразные материалы затворяют водой и в виде мастик наносят на изолируемую поверхность трубопроводов и горячего оборудования (асбозурит, совелит и т.п.). Штучные материалы имеют различную форму и носят название теплоизоляционных изделий. Их выпускают в виде плит, листов, блоков, кирпича, фасонных изделий (сегменты, скорлупы), войлока, матов, рулонов, шнуров и других изделий. Применение штучных изделий для теплоизоляции позволяет улучшить качество теплоизоляционных ограждений, снизить трудовые затраты, стоимость и повысить уровень индустриализации строительных работ по сравнению с использованием засыпок или мастичной изоляции.

По *характеру применения* различают материалы используемые для изоляции конструкций, находящихся в обычных температурных условиях (строительные теплоизоляционные материалы), и для изоляции горячих поверхностей (монтажные теплоизоляционные материалы). Некоторые теплоизоляционные материалы пригодны как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей (минеральная и стеклянная вата, пеностекло, ячеистые бетоны и др.)

#### ***Строение и свойства.***

Из всех сред, не считая безвоздушного пространства, самой малой теплопроводностью обладает воздух, особенно когда он заключен в порах материала, т. е. малоподвижен [ $0,023 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]. Если поры крупные и тем более сообщающиеся между собой и внешней средой, то происходит конвекционное передвижение воздуха и теплопроводность материала увеличивается. Поэтому материалы для тепловой изоляции изготавливают высокопористыми и по возможности мелкопористыми, а следовательно, и легкими. При этом межпоровое пространство, занимаемое твердым веществом («каркас»), стремятся создавать из веществ, имеющих аморфное, а не кристаллическое строение, так как материалы стеклообразного строения менее теплопроводны, чем кристаллического. Обычно пористость теплоизоляционных материалов более 50 %, а некоторые наиболее эффективные теплоизоляционные материалы, например ячеистые пластмассы, как бы построены из воздуха (поры занимают 90...98 %, а стенки пор – всего лишь 2...10 % от общего объема).

***Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия*** изготавливают на основе минерального сырья (горных пород, шлака, стекла, асбеста). К этой группе относят минеральную, стеклянную вату и изделия из них, некоторые виды легких бетонов на пористых заполнителях (вспученном перлите и верми-

кулите), ячеистые теплоизоляционные бетоны, пеностекло, асбестовые и асбестосодержащие материалы, керамические и др. Эти материалы используют как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

**Минеральная вата** и изделия из нее по объему производства занимает первое место среди теплоизоляционных материалов. Этому способствует наличие сырьевых ресурсов для их получения в виде горных пород (доломита, известняка, мергелей, базальта и др.), шлаков и зол; простота технологического процесса; небольшие капиталовложения при организации производства. Минеральная вата состоит из искусственных минеральных волокон. Производство ее включает две основные технологические операции – получение расплава и превращение его в тончайшие волокна. Расплав получают, как правило, в шахтных плавильных печах – вагранках или ваннных печах. Превращение расплава в минеральное волокно производят дутьевым или центробежным способом. При дутьевом способе выходящий из печи расплав разбивается на мелкие капельки струей пара или воздуха, которые вдуваются в специальную камеру и в полете сильно вытягиваются, превращаясь в тонкие волокна диаметром 2...20 мкм. При центробежном способе струя жидкого расплава поступает на быстровращающийся диск центрифуги и под действием большой окружной скорости сбрасывается с него и вытягивается в волокна.

Плотность минеральной ваты 75...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,042...0,046 Вт/(м·°С). Вата не горит, не гниет, ее не портят грызуны, она малоигроскопична, морозостойка и температуростойка. Минеральную вату применяют для теплоизоляции как холодных (до –200°С), так и горячих (до +600°С) поверхностей, чаще в виде изделий: войлока, матов, полужестких и жестких плит, скорлуп, сегментов. Иногда вату используют в качестве теплоизоляционной засыпки пустотелых стен и перекрытий, для чего ее гранулируют, т. е. превращают в рыхлые комочки в дырчатом барабане.

**Минеральный войлок** выпускают в виде листов и рулонов из минеральной ваты, слегка пропитанной дисперсиями синтетических смол и спрессованной (рис. 3.14). Плотность войлока 100...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,052 Вт/(м·°С). Листы и полотнища минерального войлока применяют для утепления стен и перекрытий в кирпичных, бетонных и деревянных домах.

**Стекловолоконная вата** является разновидностью искусственного минерального волокна. Для изготовления ваты используют стеклянный бой или те же сырьевые материалы, что и для оконного стекла: кварцевый песок, известняк или мел, соду или сульфат натрия. Тонкое стекловолоконное волокно для текстильных материалов получают вытягиванием из расплавленной стекломассы (фильерный и штабиковый способы). Более грубое волокно, применяемое для тепловой изоляции, изготавливают дутьевым или центробежным способом. Такое волокно называют стекловолоконной ватой. Плотность стекловолоконной ваты обычно не превышает 125 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность – 0,052 Вт/(м·°С). Промышленность выпускает также супертонкое стекловолоконное волокно плотностью до 25 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью около 0,03 Вт/(м·°С). Стекловолоконная вата практически не дает усадки в конструкциях, волокна ее не разрушаются при длительных сотрясениях и виб-



рации. Она плохо проводит и хорошо поглощает звук, малогигроскопична, морозостойка. Слой стеклянной ваты толщиной 5 см соответствует термическому сопротивлению кирпичной стене толщиной в 1 м.

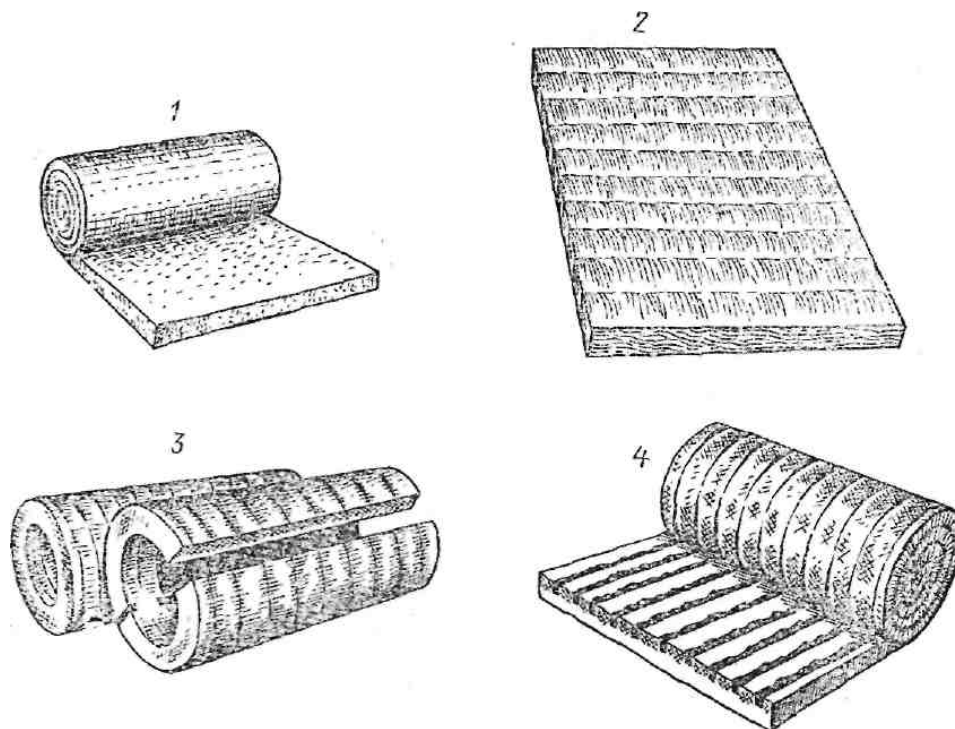


Рис. 3.14. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты:  
1 – войлок; 2 – полужесткая плита; 3 – скорлупы; 4 – прошивной мат

**Стекловатные маты** и полужесткие и жесткие плиты, а также фасонные изделия на связующих из синтетических смол применяют в качестве теплоизоляционного, акустического материала при температуре не выше 200°C, а прошивные маты и полосы – при температуре до 450°C.

**Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы** и изделия разделяют на *асбестовые*, состоящие из асбестового волокна (асбестовые бумага, картон и изделия из них), и *асбестосодержащие*, изготавливаемые из смеси асбестовых волокон с неорганическими вяжущими веществами (магнезиальные вяжущие, известь, цемент) или с трепелом (диатомитом). Порошкообразные смеси этих материалов перед применением затворяют водой и полученную пластичную массу наносят на изолируемую поверхность. В заводских условиях из таких же масс формуют изделия – плиты, сегменты и скорлупы.

**Асбестовую бумагу** изготавливают в виде листов и рулонов из асбестового волокна 5...6-го сортов с небольшим количеством (до 5%) склеивающих веществ (крахмал, казеин). Толщина бумаги 0,3...1,5 мм, плотность 450...950 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность при 100°C составляет 0,14...0,198 Вт/(м·°C); предельная температура применения 500 °C. Кроме гладкой выпускают гофрированную бумагу. Гладкую бумагу используют в качестве теплоизоляционной прокладки при изоляции трубопроводов, а гофрированную – для производства одной из разновидностей асбестового картона (ячеистый асбестовый картон).

**Асбестовый картон** изготавливают из асбеста 4...5-го сортов с наполнителем (каолин) и склеивающим веществом (крахмал) в виде листов толщиной 2...10 мм. Плотность листов 900...1000 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 100°С 0,182 Вт/(м·°С). Асбестовый картон применяют для изоляции трубопроводов (до 500 °С), а также для покрытий деревянных конструкций и дверей, чтобы повысить их огнестойкость. Асбестовый картон ячеистого строения изготавливают путем склеивания жидким стеклом или клеем чередующихся слоев гладкой и гофрированной асбестовой бумаги. Благодаря пористому строению такой картон легкий и малотеплопроводен [теплопроводность при 50 °С и плотности 200...600 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,052...0,093 Вт/(м·°С)].

Древесина сама по себе представляет пористый материал (пористость 60...70%). Кроме того, древесная стружка и древесные волокна расположены в некоторых теплоизоляционных изделиях (фибролитовых, древесностружечных плитах и т.п.) так, что тепловой поток в конструкции оказывается направленным не вдоль, а поперек волокон, а это создает дополнительное сопротивление прохождению теплоты. Вместе с тем стружка и волокна древесины или другого растительного сырья создают своеобразный арматурный каркас в теплоизоляционных изделиях. Наконец, использование древесных и других растительных отходов для массового производства теплоизоляционных материалов является экономически выгодным и способствует решению экологической проблемы, т.е. позволяет уменьшить возможное загрязнение окружающей среды.

**Древесноволокнистые плиты (ДВП)** изготавливают из неделовой древесины, отходов лесопильной и деревообрабатывающей промышленности, бумажной макулатуры, а также стеблей соломы, кукурузы, хлопчатника и некоторых других растений.

С целью увеличения прочности и долговечности древесноволокнистых изделий при их изготовлении применяют специальные добавки: водные эмульсии синтетических смол, эмульсии из парафина, канифоли, битума, антисептики и антипирены, а также асбест, глинозем, гипс и др.

Плотность древесноволокнистых изоляционных и изоляционно-отделочных плит 150...350 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,093 Вт/(м·°С), прочность при изгибе не менее 0,4...2,0 МПа.

Достоинством плит являются их большие размеры (длина до 3 м, ширина до 1,6 м), так как это способствует индустриализации строительно-монтажных работ и уменьшению затрат труда.

Изоляционные плиты используют для тепло- и звукоизоляции стен, потолков, полов, перегородок и междуэтажных перекрытий, утепления кровель, акустической отделки специальных помещений (радиостудий, машинописных бюро, концертных залов и т.п.).

**Древесностружечные плиты** получают горячим прессованием массы, содержащей около 90 % органического волокнистого сырья (чаще всего тонкая древесная стружка) и 8...12 % синтетических смол (мочевинформальдегидной, фенолформальдегидной и др.). Древесностружечные плиты выпускают одно- и многослойными. Например, у трёхслойной плиты пористый

средний слой состоит из относительно крупных стружек, а поверхностные слои выполняют из одинаковых по толщине плоских тонких стружек.

Для теплоизоляционных целей служат легкие плиты плотностью 250...500 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,046...0,093 Вт/(м·°С). Полутяжелые и тяжелые плиты плотностью соответственно 500...800 и 800...1000 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при изгибе 5...35 МПа применяют как отделочный и конструкционный материал. Области применения древесностружечных плит в строительстве примерно те же, что и древесноволокнистых плит.

**Фибролит** – плитный материал, изготавливаемый обычно из специальных древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего вещества. Древесную шерсть получают на специальных станках в виде тонких и узких лент. В качестве вяжущего чаще используют портландцемент, реже магнезиальное вяжущее.

### 3.6.2. Звукоизоляционные материалы

**Звукоизоляционными** называют **материалы**, применяемые в основном для ослабления ударного шума и поглощения падающих на них звуковых волн.

Звукоизоляционная способность материала в ограждении оценивается по разности уровней звука с обеих сторон ограждения и выражается в децибелах. Предельные (максимально допустимые) уровни шума устанавливаются в зависимости от назначения помещения и частотной характеристики звука. Нормальное ухо человека воспринимает звуковые колебания частотой 16...20000 Гц, причем особо чувствительными являются частоты 1500...3000 Гц. Звукоизоляционная способность ограждения прямо пропорциональна десятичному логарифму его массы. Однако увеличение массы конструкций делает их слишком тяжелыми, громоздкими и дорогими. Гораздо эффективнее конструкции, изготовленные из пористых материалов, или многослойные конструкции, имеющие воздушные прослойки. В этом случае используются упругие свойства воздуха, который гасит звуковые колебания и прерывает распространение звука. По этой же причине и звукопоглощающие материалы стремятся изготавливать высокопористыми (пористость 40...90 %), т. е. как и теплоизоляционные материалы. Однако в отличие от теплоизоляционных материалов, где выгодны замкнутые воздушные поры, эффективность звукопоглощающих материалов возрастает при наличии сквозных пор или специально предусмотренной перфорации.

Акустические материалы должны сохранять свои свойства в процессе длительной эксплуатации и вместе с тем удовлетворять общим строительно-техническим требованиям по огнестойкости, био- и влагостойкости, механической прочности и экономичности.

### 3.6.3. Звукопоглощающие материалы и изделия

Звукопоглощающие материалы снижают энергию падающих на них звуковых колебаний и поэтому служат для борьбы с воздушным шумом. При применении для акустической отделки внутри помещений они выполняют также декоративную роль (декоративно-акустические материалы).

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения  $\alpha$ , равный отношению количества энергии звуковых колебаний, поглощенной материалом или конструкцией, к общему количеству звуковой энергии, падающей на изолируемую поверхность в единицу времени:  $\alpha = E_{\text{погл}} / E_{\text{пад}}$ .

Все строительные материалы обладают в той или иной мере звукопоглощением. К звукопоглощающим материалам принято относить только те, которые имеют коэффициент звукопоглощения на средних частотах больше 0,2. Эти материалы характеризуются высокой, преимущественно открытой, пористостью. Для усиления поглощения звуковой энергии звукопоглощающие материалы часто дополнительно перфорируют. Перфорация облегчает доступ звуковых волн к материалу и в зависимости от размера и формы отверстий, их наклона и глубины, а также процента перфорации (отношение площади, занимаемой отверстиями, к общей площади изделия) увеличивает коэффициент звукопоглощения на 10...20% и более. Для этой же цели фактуру поверхности изделий делают трещиноватой, бороздчатой или рельефной (рис. 3.15) и окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, образующими пористое покрытие.

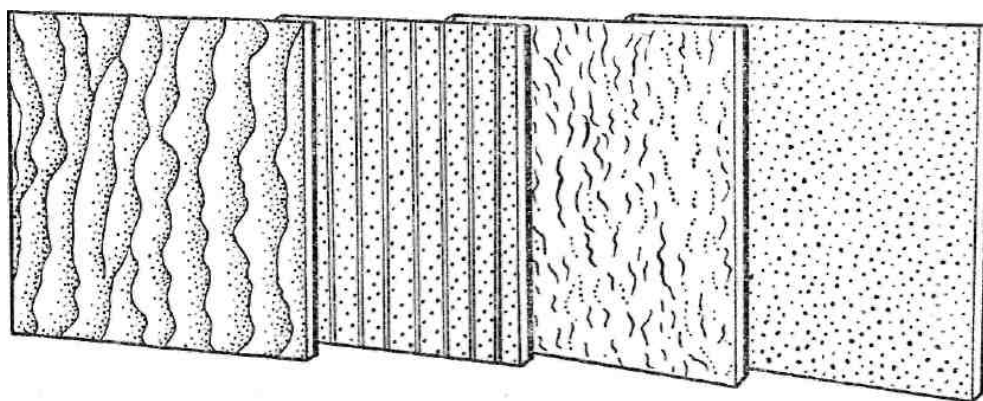


Рис. 3.15. Виды отделки поверхности звукопоглощающих плит

Звукопоглощающие плиты целесообразно располагать в конструкции с воздушным зазором – «на отnose». При этом используются упругие свойства воздуха, что также увеличивает звукопоглощение конструкции.

Звукопоглощающие материалы применяют в виде однослойного однородного пористого материала с офактуренной поверхностью, двух- и многослойных пористых материалов с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных одно- и многослойных изделий разнообразных размеров и формы.

**Однослойные пористые звукопоглощающие материалы** и изделия могут иметь волокнистую, конгломератную и ячеистую структуру. Из звукопоглощающих материалов с волокнистой структурой наибольшее значение имеют минераловатные и древесноволокнистые плиты.

**Минераловатные плиты** изготавливают из минерального, в том числе стеклянного или асбестового, волокна на синтетическом или битумном связующем. Эти плиты отличаются от теплоизоляционных более жестким скелетом, сквоз-

ной пористостью и внешней отделкой. Эффективными отделочными звукопоглощающими материалами на основе минеральных волокон являются плиты «акмигран» и «акминит». Для производства «акмигран» применяют минеральную или стеклянную гранулированную вату и связующее, состоящее из крахмала, карбоксилцеллюлозы и бентонита. Из приготовленной смеси связующего и гранул ваты формуют плиты толщиной 20 мм, которые после сушки подвергают отделке (их калибруют, шлифуют и окрашивают). Лицевая поверхность плит имеет «трещиноватую» фактуру. Плиты «акминит» имеют несколько измененный состав (в частности, вместо бентонита используют каолин), а формуют их путем отливки в формах. Коэффициент звукопоглощения обоих видов плит в среднем и высоком диапазоне частот составляет 0,8...0,9. Плиты предназначены для акустической отделки потолков и верхней части стен общественных и административных зданий с относительной влажностью воздуха не более 75 %.

Для звукопоглощающих облицовок используют пористые (мягкие) древесноволокнистые плиты с плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup>. Плиты перфорируют обычно на 2/3 толщины круглыми отверстиями или пазами и окрашивают клеевой краской.

### **3.7. Битумные и дегтевые вяжущие и материалы на их основе**

#### **3.7.1. Битумные и дегтевые вяжущие**

Битумные и дегтевые вяжущие вещества наряду с полимерами и органическими клеями образуют группу органических вяжущих веществ. На основе этих вяжущих производят большое количество материалов и изделий для строительства: асфальтовые бетоны и растворы, рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы, мастики, пасты, эмульсии и некоторые лаки.

**Битумные материалы** могут быть как природные, встречающиеся в виде отдельных скоплений или чаще пропитывающие горные породы, так и искусственные, получаемые при переработке нефти. Дегтевые – искусственные материалы, получаемые в заводских условиях при сухой перегонке твердых видов топлива.

Различают следующие группы битумных и дегтевых вяжущих веществ: битумные, состоящие из нефтяных битумов или из сплавов нефтяных и природных битумов; дегтевые – каменноугольные или сланцевые или сплавы дегтевых масел с пеками; смешанного вида – гудрокамовые (продукты совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона); дегте- и битумополимерные, содержащие нефтяные битумы или каменноугольные дегтевые вещества и полимеры. Битумные и дегтевые вяжущие имеют темно-коричневый или черный цвет, поэтому их часто называют «черными вяжущими».

Наиболее широкое применение в строительстве и производстве строительных материалов получили битумные вяжущие и особенно нефтяные битумы, которые по объему выпуска среди остальных органических вяжущих занимают

первое место. Дегтевые материалы применяют ограниченно, так как большинство их служит сырьем для получения разных ценных химических продуктов.

### **3.7.1.1. Битумы**

**Природные битумы** (твердые или вязкие) образовались из нефти в верхних слоях земной коры в результате испарения летучих фракций и под влиянием окислительного процесса и полимеризации.

Природные битумы иногда встречаются в виде залежей, состоящих почти из чистого битума с небольшим количеством минеральных примесей чаще они содержатся в осадочных горных породах: песках, песчаниках, карбонатных породах (известняках, доломитах), глинистых грунтах. Такие породы называют асфальтовыми или битуминозными.

В Украине асфальтовые породы имеются на западе Украины и, в Крыму. Из этих пород извлекают битум при помощи растворителей или вываркой в горячей воде. При содержании битума менее 2...3 %, когда извлечение битума экономически нецелесообразно, асфальтовые породы размалывают и применяют в виде асфальтового порошка как компонент в асфальтовых бетонах или асфальтовых мастиках.

Природные битумы отличаются высокой атмосферостойкостью и хорошим прилипанием к поверхности каменных материалов, но из-за дефицитности и высокой стоимости в строительстве применяют ограниченно. Их используют главным образом в химической и лакокрасочной промышленности.

**Нефтяные битумы** получают из нефти путем обработки остатков, образующихся при ее фракционной перегонке на нефтеперерабатывающих заводах.

По назначению нефтяные битумы делят на строительные, кровельные и дорожные.

### **3.7.1.2. Дегти**

**Дегти** получают в процессе сухой перегонки (без доступа воздуха) каменного или бурого угля, сланца, дерева, торфа и других органических веществ с целью получения кокса, полукокса или газа. При этом образуются летучие вещества, которые после конденсации (сгущения) образуют вязкие жидкости, называемые, соответственно, каменноугольными, буроугольными, сланцевыми, торфяными и древесными дегтями. При перегонке образуется твердый остаток, называемый **неком**.

Свойства дегтей в основном те же, что и у битумов, они отличаются меньшей тепло- и погодоустойчивостью. Однако дегти вследствие большого по сравнению с битумом содержания в них веществ с полярными группами отличаются повышенной адгезией к другим материалам и большей гнилостойкостью, чем битумы, так как содержат токсичные вещества, например – фенол.

Каменноугольный деготь, пек применяют в производстве дегтевых кровельных материалов, мастик, для изготовления дегтебетонов.

### 3.7.1.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы

**Асфальтовые и дегтевые растворы и бетоны** представляют собой искусственный каменный материал конгломератного строения. Их получают в результате затвердевания рационально подобранной и изготовленной смеси битума (дегтя), минерального порошка и рыхлых каменных материалов – песка, щебня или гравия (в бетонах) или только песка (в растворах). При использовании битумов в качестве связующего их называют асфальтобетонами или асфальтовыми растворами, а при использовании дегтевых вяжущих – дегтебетонами. В строительстве наиболее широкое применение имеют асфальтобетоны.

По производственному назначению их разделяют на:

- *дорожные, аэродромные; гидротехнические;*
- *промышленного назначения* – для устройства полов и плоских кровель промышленных зданий, складов, гаражей и др.;
- *декоративные* – для оформления городских площадей, устройства разделительных полос, проходов и т.п.

По крупности зерен щебня и песка различают крупнозернистые асфальтобетоны – с размерами зерен до 40 мм, среднезернистые – до 25 мм, мелкозернистые – до 15 мм, песчаные – до 5 мм (иногда до 3 мм).

В зависимости от содержания щебня и песка, их структуры асфальтобетонные смеси делят на следующие типы: А – многощебенистые с содержанием щебня 50...65 %; Б – среднещебенистые – 35...50 %; В – малощебенистые – 20...35%; Г – песчаные из дробленого песка; Д – песчаные из природного песка.

**Производство.** Приготовление асфальтового бетона начинают с заводского производства асфальтобетонной смеси и заканчивают ее укладкой и уплотнением в покрытии на строительном объекте, а при изготовлении штучных изделий – на том же заводе. Исходные минеральные материалы подвергают предварительной сушке и нагреву до рабочих температур (180...200°С), а затем разделяют по фракциям, точно дозируют и подают в смеситель периодического или непрерывного действия, куда одновременно поступает предварительно подогретый (до 150...170 °С) и отдозированный битум. Далее готовую асфальтобетонную смесь обычно в автосамосвалах отправляют на место укладки. Укладку асфальтобетонной массы производят на подготовленное основание специальными машинами – асфальтоукладчиками. Горячую и теплую смесь раскладывают слоем, на 15...20 % превышающим толщину покрытия, а для холодных смесей – 50...60 %. Уложенный слой массы уплотняют моторными статическими (массой 5...14 т) или более эффективными вибромоторными катками (массой 0,5...4,5т).

**Свойства.** В отличие от цементного бетона свойства асфальтового бетона в значительной мере изменяются от температуры.

Предел прочности асфальтового бетона при сжатии сравнительно невелик, но достаточен, чтобы противостоять реальным напряжениям, возникающим в покрытиях. При температуре 20°С для дорожного горячего асфальтобетона он должен быть не менее 2,2...2,4 МПа. С понижением температуры сопротивление сжатию резко возрастает, а при –15...–25 °С соизмеримо с прочностью це-

ментного бетона. С повышением температуры прочность, наоборот, снижается до 1,0...1,2 МПа при 50°С. В определенном температурном интервале асфальтовый бетон хорошо сопротивляется ударным воздействиям. Он обладает достаточно хорошей износостойкостью и водостойкостью. Его износ составляет 0,2...1,5 мм в год, а коэффициент размягчения не менее 0,9.

По сравнению с цементным бетоном асфальтовый бетон может деформироваться в покрытии (волны, трещины) не только при недостаточной прочности при сжатии, растяжении или сдвиге, но и вследствие малой пластичности при пониженных температурах или чрезмерной пластичности при повышенных температурах.

**Применение.** Основное применение асфальтовые бетоны нашли в дорожном строительстве. Крупнозернистые бетоны используют для устройства нижнего слоя дорожного покрытия; среднезернистые – однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойного покрытия; мелкозернистые – для верхнего слоя покрытий с интенсивным движением. Песчаный асфальтобетон применяют для покрытия тротуаров, полов в промышленных зданиях, устройства плоских кровель, гидроизоляционных слоев и т.п.

**Дегтебетон** изготавливают из тех же минеральных материалов, что и асфальтовый бетон, но в качестве вяжущего используют не битум, а каменноугольный деготь повышенной вязкости, чаще составленный из пека и каменноугольного масла. Дегтебетон уступает асфальтобетонам по атмосферостойкости, теплоустойчивости, водо- и износостойкости, прочности при сжатии. При длительном воздействии воды из дегтебетона могут вымываться некоторые растворимые компоненты дегтей (фенолы), обладающие токсичностью и отравляющие грунтовые воды и водоемы. Его применяют для устройства покрытий на дорогах второстепенного значения и в ненаселенных пунктах.

**Асфальтополимербетон** готовят, используя в качестве вяжущего гудроны и тяжелые нефти, модифицированные полимером (латексом, бутилкаучуком и др.). Применяют для устройства монолитных и сборных противофильтрационных экранов и облицовок гидросооружений, возводимых в районах Крайнего Севера.

#### **3.7.1.4. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы**

Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы позволяют надежно и длительный период эксплуатировать сооружения. От их долговечности во многих случаях зависит и долговечность конструкций.

**Кровельные материалы** должны обладать не только прочностью, но и атмосферостойкостью, водостойкостью, водонепроницаемостью и теплостойкостью.

**Гидроизоляционные материалы** подвергаются часто значительному напору воды, в том числе содержащей примеси. Кроме свойств, присущих кровельным материалам, они должны иметь повышенную прочность и водонепроницаемость, химическую стойкость, а также достаточную эластичность, чтобы



не могли возникнуть трещины и разрывы вследствие возможных усадочных, температурных и других деформаций изолируемых конструкций.

Указанным требованиям в значительной степени удовлетворяют кровельные и гидроизоляционные материалы, получаемые на основе битумов и дегтей.

Битумные и дегтевые рулонные кровельные материалы, несмотря на некоторые существенные недостатки по сравнению с асбестоцементными и черепицей (меньшая долговечность и огнестойкость, необходимость устройства для их укладки сплошной обрешетки), широко применяют в строительстве, особенно в промышленном. Они позволяют устраивать кровли с малым уклоном, плоские кровли и крыши сложной конфигурации; при их применении сокращаются расходы на эксплуатацию кровли в условиях агрессивной среды и т.п.

В общем объеме всех видов кровельных материалов около 50 % приходится на долю мягкой кровли.

Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей делят на рулонные, листовые и штучные изделия, обмазочные материалы – мастики, эмульсии и пасты, а по виду вяжущих – на битумные, дегтевые, гудрокамовые, резинобитумные, битумо- и дегтеполимерные.

**Рулонные кровельные и гидроизоляционные** материалы могут быть двух типов – *основные* и *безосновные*. Основные материалы изготовляют путем обработки органическим вяжущим основы – кровельного картона, стеклоткани, стёкловолокна, металлической фольги, асбестового картона и т.п. Безосновные материалы получают в виде полотнищ заданной толщины прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей из органического вяжущего, порошкового или волокнистого наполнителя и специальных добавок.

В зависимости от класса сооружений, климатических и эксплуатационных условий, уклона кровли рулонные материалы укладывают в один, а чаще в несколько слоев, которые образуют монолитное покрытие, называемое кровельным ковром.

**Покровные материалы на основе.** Большую часть мягкой кровли выполняют из рулонных материалов, изготовленных на основе кровельного картона, который вырабатывают из смеси хлопчатобумажного, льняного и шерстяного тряпья, бумажной макулатуры и целлюлозы. Такой картон обладает хорошей впитывающей способностью, обеспечивающей практически полную пропитку его расплавленными битумными или дегтевыми композициями, достаточной прочностью на разрыв. В зависимости от массы 1 м<sup>2</sup> (в г) кровельный картон разделяют на марки: 500, 400, 350, 300, 250. Чем больше марка картона, тем выше его прочность на разрыв и тем выше качество рулонного материала.

К покровным рулонным материалам на картонной основе относят *рубероид, толь, дегтебитумные и гудрокамовые рулонные материалы*.

**Рубероид** выпускают в виде полотнищ, обычно по ширине кровельного картона – 1000, 1025, 1050 мм, свернутых в рулоны площадью 7,5 и 15 м<sup>2</sup>. Его изготовляют пропиткой кровельного картона расплавленным мягким нефтяным битумом с последующим покрытием материалов обеих сторон тугоплавким битумом. Для повышения тепло-, влаго- и светостойкости кровельного рубероида в битум покровного слоя часто вводят наполнитель в виде тонкого порошка из

известняка, доломита, талька, коротковолокнистого асбеста и т.п. Лицевая поверхность кровельного рубероида имеет чешуйчатую слюдяную, крупно- или мелкозернистую посыпку. Посыпки придают материалу повышенную атмосферостойкость, понижают возгораемость, предотвращают слипание в рулонах, улучшают внешний вид кровли. На нижнюю поверхность кровельного и обе поверхности подкладочного рубероида наносят мелкозернистую или пылевидную посыпку, которая предотвращает слипание материала в рулонах.

В зависимости от назначения, вида посыпки лицевой поверхности и марки кровельного картона рубероид делят на 14 марок: РКК-500А; РКК-400А (Б и В); РКМ-350Б (В); РПМ и РПП-300А (Б и В); РКЧ-350Б (В). Буква Р в марке означает – рубероид; буквы К и П – кровельный или подкладочный. Третьи буквы К, М, П, Ч – вид посыпки – крупнозернистая, мелкозернистая, пылевидная, чешуйчатая, а числа после буквы означают марку картона.

Для верхнего слоя скатных и пологих кровель рекомендуется применять рубероид марок РКК, РКМ, РКЧ как на горячей, так и на холодной мастиках, а для подкладочных слоев – марок РПМ и РПП, который иногда используют также для оклеечной гидроизоляции.

Для районов с низкой температурой эксплуатации вырабатывают *рубероид с эластичным покровным слоем* (РЭМ-350) путем модификации покровного битума специальными полимерами или применением резинобитумного вяжущего. Этот рубероид обладает повышенной прочностью, погодо- и трещиностойкостью при отрицательных температурах.

**Толь кровельный покровный** является материалом, аналогичным рубероиду, но для его получения кровельный картон пропитывают и покрывают не битумом, а каменноугольным дегтем и на поверхность наносят слой минеральной посыпки (крупнозернистой или песочной). Толь с крупнозернистой посыпкой (марок ТКК-350, ТКК-400) покрыт с обеих сторон дегтем с более высокой температурой размягчения, чем деготь, которым пропитана его основа – кровельный картон. Он более долговечен, чем толь с песочной посыпкой (марок ТКП-350, ТКП-400), у которого пропиточный и покровный слои из одинаковых дегтепродуктов. Их можно применять для верхнего и нижнего слоев кровельного ковра пологих и плоских кровель на горячих дегтевых мастиках. Толь менее долговечен, чем рубероид, так как дегтевые вяжущие «стареют» быстрее, чем битумные, но более биостоек и дешевле рубероида.

#### ***Рулонные покровные материалы.***

Эти материалы изготавливают не на картоне, а на более прочной и не подвергающейся гниению основе – стеклоткани, стекловолоке, металлической фольге и т.п.; к ним относятся *стеклорубероид, кровельный стекловолок (стеклоизол), гидростеклоизол кровельный и подкладочный, фольгоизол.*

**Бризол** – рулонный бесосновный гидроизоляционный материал, который изготавливают из смеси состоящий из нефтяного битума, резиновой крошки, асбеста и пластификатора. Этот материал эластичен, стоек к некоторым агрессивным средам, погодостоек, гниlostоек. Бризолем защищают от коррозии металлические трубопроводы и подземные сооружения от воздействия грунтовых вод.

**Обмазочные материалы** (мастики, эмульсии и пасты).

Их используют для приклеивания и склеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, устройства безрулонных кровель, гидроизоляции и других целей.

**Мастиками** называют искусственные пластичные смеси, получаемые смешением органических вяжущих с минеральными (иногда органическими) наполнителями и добавками (пластифицирующими, уплотняющими, антисептирующими и др.).

По виду вяжущего материала мастики разделяют на битумные, дегтевые, резинобитумные, битумно- или дегтеполимерные, гудрокамовые и др.

**Наполнители**, вводимые в мастики для повышения теплостойкости и уменьшения хрупкости (при пониженных температурах), а также для сокращения расхода вяжущего, разделяют на *пылевидные, волокнистые и комбинированные* (смесь пылевидного и волокнистого наполнителей). Пылевидный наполнитель в виде тонкомолотого порошка изготавливают из известняка, мрамора, кварца, мела, доломита, кирпича, талька, трепела, золы минеральных видов топлива и т.п. Волокнистым наполнителем может быть асбестовая пыль, коротковолокнистые асбест и минеральная вата и др.

Современные кровельные материалы на основе битумов это гибкая (мягкая) черепица и ондулин.

**Гибкая (мягкая) черепица** – в настоящее время является одним из самых распространенных кровельных материалов после металочерепицы. Этот кровельный материал изготавливается из стеклопласта, пропитанного модифицированным битумом, и выпускается в виде листов размером 100×33 см. Край этих листов сформирован таким образом, что имитирует рисунок нескольких черепиц и выглядит как натуральная черепица. Этот кровельный материал выдерживает температуру от –60°С до +70 °С. При его монтаже остается мало отходов, он легкий и имеет широкий выбор цветовых решений и форм. Срок службы не менее 30 лет.

**Ондулин** – это мягкая кровля по виду похожая на шифер, по материалу – на жесткий рубероид. Он изготавливается из кровельного картона, пропитанного битумом, который с одной стороны окрашивается красителем. Срок службы не менее 30 лет. Относительно дешевый, легкий материал, удобный в монтаже. Недостаток – требует частой (лучше сплошной) обрешетки. Пропитка битумом производится при температуре 120...150 °С и под давлением. Это обеспечивает высокую прочность получаемого материала и практически исключает водопоглощение.

### 3.8. Материалы и изделия из пластмасс

#### 3.8.1. Общие сведения

**Пластмассы** (пластические массы) – большая группа материалов с самыми разнообразными свойствами. Объединяет эти материалы то, что в их составе обязательно присутствует полимер, который в период формования изделий на-

ходится в вязкотекучем (пластическом) состоянии (отсюда название «пластмассы»), а в готовом изделии – в твердом состоянии.

Пластмассы – относительно новый вид материалов, так как в них используют, как правило, синтетические полимеры, производство которых началось лишь в XX в. Основные виды пластмасс (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол) начали производить в больших масштабах только в 40...59-х годах.

Несмотря на молодость, пластмассы прочно заняли свои присущие именно им позиции в ряду строительных материалов.

Быстрое внедрение в практику строительства относительно дорогих и в ряде случаев дефицитных материалов объясняется наличием у пластмасс целого комплекса ценных свойств; малой плотности при значительной прочности, стойкости к различным агрессивным воздействиям, низкой теплопроводности, хорошей декоративности. Важнейшими положительными свойствами пластмасс являются легкость их технологической переработки – возможность придания им разнообразной формы литьем, прессованием, экструзией (выдавливанием) и высокая заводская готовность изделий. Причем процесс их изготовления поддается полной механизации и автоматизации. Пластмассы хорошо свариваются и склеиваются как между собой, так и с другими материалами (древесиной, металлом и др.).

Вместе с тем пластмассы не лишены недостатков. Большинство пластмасс горючи и обладают невысокой теплостойкостью (предельные рабочие температуры для многих из них 100...150°C, а некоторые начинают размягчаться уже при 60...80°C). Имея высокую начальную прочность, пластмассы под действием длительных нагрузок даже при нормальной температуре проявляют большие пластические деформации (ползучесть). Длительное воздействие солнечных лучей, повышенной температуры в сочетании с кислородом воздуха может вызвать «старение» пластмасс, т. е. изменение их эксплуатационных свойств (прочности, цвета и др.).

В настоящее время производят большое количество пластмасс (несколько тысяч видов) самого разнообразного назначения, постоянно появляются новые виды полимерных материалов и улучшаются свойства известных пластмасс. Пластмассы могут заменить практически все строительные материалы. Но в ряде случаев вследствие их высокой стоимости, дефицитности и присущих им недостатков такая замена нецелесообразна (например, массовое применение пластмасс в качестве материала для основных несущих и ограждающих конструкций зданий).

В современном индустриальном строительстве пластмассы заняли свое специфическое место. Это высококачественные отделочные материалы (декоративные пленки, линолеум, бумажно-слоистый пластик); эффективные теплоизоляционные материалы (пено, поро- и сотопласты); гидроизоляционные и герметизирующие материалы (пленки, прокладки, мастики); погонажные изделия (поручни, плинтусы, раскладки); трубы; санитарно-технические изделия. Рационально применение пластмасс в легких ограждающих конструкциях (трехслойные панели с полимерным утеплителем). Особое место занимают полимерные клеи, а также полимербетоны, используемые для устройства химиче-

ски стойких покрытий, ремонта и усиления конструкций зданий, работающих в агрессивных условиях.

Исследованиями установлено, что применение 1 т полимерного сырья в строительстве позволяет экономить в среднем 2100 грн. приведенных затрат, в том числе около 44 чел-дн трудовых затрат, а также примерно 6 м<sup>3</sup> леса и до 1,5 т металла.

### 3.8.2. Основные компоненты пластмасс

Основным и обязательным компонентом пластмасс является полимер, но только лишь некоторые строительные пластмассы целиком состоят из полимера (например, органическое стекло, состоящее из полиметилметакрилата). В состав большинства пластмасс входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители и др.

#### 3.8.2.1. Полимеры для строительных пластмасс

Полимер в пластмассах выполняет роль связующего, аналогично цементу в бетонах. От вида полимера, его свойств и количества зависят важнейшие свойства этих многокомпонентных материалов.

**Полимерами** называют вещества, молекулы которых представляют собой цепь или пространственную решетки последовательно соединенных одинаковых групп атомов, повторяющихся большое количество раз. Молекулярная масса полимеров очень велика (от нескольких тысяч до миллионов). Полимерные вещества существуют в природе (крахмал, целлюлоза, белки), но подавляющее большинство полимеров, используемых для получения пластмасс – синтетические.

Исходные вещества, из которых синтезируют полимеры, называют **мономерами**. Это обычно довольно простые и доступные продукты, получаемые из нефти, газа, угля и других широко распространенных веществ. Синтетические полимеры получают двумя различными способами – *полимеризацией* и *поликонденсацией*. **Полимеризацией** получают такие широко распространенные полимеры, как полиэтилен, поливинилхлорид и полистирол, а **поликонденсацией** – фенолформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные полимеры. Часто процесс поликонденсации ведут так, что образуются продукты с не очень высокой молекулярной массой (до 1000), способные к дальнейшим взаимодействиям. Эти вещества, обычно вязкие жидкости, называют олигомерами (например, некоторые эпоксидные и полиэфирные смолы до их отверждения).

**Термопластичные полимеры** способны многократно размягчаться и отвердевать при попеременном нагревании и охлаждении. Большинство из них хорошо растворимы в органических растворителях. Характерной особенностью многих термопластичных полимеров является быстрое снижение механических свойств при повышении температуры. Все эти свойства обусловлены линейным строением молекул полимера, их малой связью друг с другом, снижающейся при нагревании, и неспособностью к образованию сетчатых (сшитых) макромолекул. Примером термопластичных полимеров могут служить полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид.

**Термореактивные полимеры** в отличие от термопластичных отвердевают необратимо. Отверждение происходит в результате сшивания линейных молекул в пространственные структуры как с помощью отверждающих добавок (отвердителей, вулканизаторов), так и за счет активных групп самих полимеров. В неотвержденном состоянии термореактивные полимеры обычно представляют собой олигомерные продукты. Термореактивные полимеры после отвердевания не растворяются ни в каких растворителях, хотя могут набухать в некоторых из них; при повышении температуры до некоторого предела они незначительно изменяют свои свойства, а затем наступает их термодеструкция (разложение). В отвержденном виде термореактивные полимеры более твердые и прочные, чем термопластичные. Примером термореактивных полимеров могут служить фенолформальдегидные, карбомидные, эпоксидные полимеры.

К настоящему времени синтезировано большое количество полимеров (несколько тысяч), но широкое применение в народном хозяйстве нашло только около 20 так называемых крупнотоннажных полимеров. Ниже приводятся краткие сведения об основных полимерах, применяемых в строительстве.

### 3.8.2.2. Полимеризационные полимеры

**Полиэтилен**  $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$  – насыщенный линейный полимерный углеводород (полиолефин), получаемый полимеризацией газа этилена  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ . Основным источником получения этилена являются продукты высокотемпературной переработки нефти. Полиэтилен представляет собой роговидное прозрачное вещество плотностью 0,94...0,97 г/см<sup>3</sup>, размягчающееся при нагревании до 80...90 °С и плавящееся при 100...120 °С. Характерная особенность полиэтилена – способность сохранять эластичность до –70...–80 °С. Полиэтилен хорошо противостоит действию большинства кислот, щелочей и растворителей. Из полиэтилена изготовляют в основном пленки, трубы (для холодного водоснабжения и транспортировки агрессивных жидкостей), а также трубки для скрытой электропроводки и некоторые санитарно-технические изделия.

**Полипропилен**  $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})(\text{CH}_3)-]_n$  – полимер, близкий по свойствам к полиэтилену, но более прочный, жесткий и температуростойкий (температура размягчения 160...170 °С). Применяют полипропилен для изготовления отделочных листов, пленок, труб, деталей химической аппаратуры.

**Полиизобутилен**  $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{H})(\text{CH}_3)-]_n$  – полимер, так же как и полиэтилен, относится к полиолефинам, однако благодаря иному строению молекулы обладает рядом специфических свойств: высокой эластичностью (по внешнему виду и механическим свойствам напоминает каучук), морозостойкостью, хорошей адгезией (прилипаемостью) к бетону и другим силикатным материалам. Применяется полиизобутилен для изготовления герметизирующих пленок, прокладок и мастик, в частности для герметизации стыков крупнопанельных зданий.

**Поливинилхлорид**  $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$  – один из самых распространенных полимеров, применяемых в строительстве. Это прозрачный, жесткий и прочный при комнатной температуре полимер, при нагревании до 160...200 °С он размягчается, а при 160...200 °С – плавится. При этой же температуре начинается его разложение (термодеструкция), что затрудняет переработку поливинилхлорида

в изделия. Для придания изделиям эластичности и для облегчения переработки поливинилхлорида его обычно пластифицируют (например, добавляя диоктилфталат). Из поливинилхлорида получают различные изделия; линолеум, трубы, плинтусы и другие погонажные изделия, отделочные пленки, искусственную кожу и др.

**Полистирол**  $[-\text{CH}_2-\text{CHC}_6\text{H}_5-]_n$  – продукт полимеризации стирола (винилбензол). Полистирол прозрачный, довольно прочный, но хрупкий полимер, хорошо окрашивается и легко перерабатывается в изделия. Благодаря наличию бензольного кольца полистирол хорошо растворяется в ароматических углеводородах. В строительстве его применяют для получения теплоизоляционных пенопластов, облицовочных плиток и др.

**Поливинилацетат**  $(-\text{CH}_2-\text{CHCOOCH}_3-)_n$  – полимер, у которого к основной углеводородной цепи периодически присоединены остатки уксусной кислоты, что предопределяет невысокую водостойкость полимера и хорошие адгезионные (клеящие) свойства. В строительстве поливинилацетат широко используют в виде водной дисперсии для получения клеев, водоэмульсионных красок, шпаклевок и мастик, а также как добавку к бетонам и растворам (так называемые полимерцементные материалы).

**Полиметилметакрилат** – полимер, известный под названием «органическое стекло» (или «плексиглас»). Он представляет собой прозрачный (пропускает не только видимое, но и ультрафиолетовое излучение), прочный материал, получаемый в виде листов и блоков. Применяют полиметилметакрилат для устройства светопрозрачных ограждений строительных конструкций, а также для изготовления труб и других изделий.

Кроме чистых полимеров находят широкое применение сополимеры – высокомолекулярные вещества, получаемые совместной полимеризацией нескольких мономеров, при этом образуются вещества с видоизмененными свойствами.

### 3.8.2.3. Поликонденсационные полимеры

**Фенолформальдегидные полимеры** – первые синтетические полимеры, нашедшие практическое применение (1906-1910 гг); получают поликонденсацией фенола и формальдегида в виде олигомерного продукта (вязкой жидкости или легкоплавкой смолы), способного необратимо отверждаться при нагревании. Применяют фенолформальдегидные полимеры для получения слоистых пластиков (бумопласт, текстолит), минераловатных и электрических изделий, водостойких лаков и клеев для деревянных конструкций.

**Карбамидные (мочевиноформальдегидные) полимеры** – один из наиболее дешевых видов полимеров; получают поликонденсацией мочевины (карбамида) и формальдегида. Мочевиноформальдегидные полимеры бесцветны, в отвержденном состоянии они довольно прочны, но не водостойки и склонны к быстрому старению. Модифицируя их в процессе синтеза, получают полимеры практически лишенные этих недостатков. Применяют мочевиноформальдегидные полимеры главным образом при изготовлении древесностружечных плит, клееных деревянных конструкций, слоистых пластиков, а

также особо легкой газонаполненной пластмассы – мипоры. Модифицированные карбамидные полимеры применяют для получения лаков и красок.

**Полиэфирные полимеры** – обширная группа полимеров, получаемых поликонденсацией многоатомных спиртов и органических кислот. Различают насыщенные (термопластичные) полиэфиры, например глифталиевый полимер и полиэтилентерефталат (известный более под названием лавсан), и ненасыщенные полиэфиры (терморезистивные). Последние используют в виде жидких олигомеров, которые благодаря наличию двойных связей у атомов углерода способны к необратимому отверждению. На основе ненасыщенных полиэфиров изготавливают лаки и краски, их используют как связующее в стеклопластиках и полимербетонах.

**Эпоксидные полимеры** – довольно дорогой и малодоступный пока для широкого потребления вид полимеров, но обладающий высокой прочностью, химической стойкостью в отвержденном состоянии и очень хорошей адгезией к другим материалам. Выпускают эпоксидные полимеры в виде смолообразного олигомерного продукта, отверждаемого веществами отвердителями. В строительстве эпоксидные полимеры применяют для склейки и ремонта железобетонных конструкций, получения полимер-бетонов и других специальных целей.

**Кремнийорганические полимеры** – большая группа полимеров, в составе которых наряду с органической частью в основной цепи или боковых ответвлениях присутствует кремний. Благодаря наличию кремния полимеры приобретают ряд специфических свойств: повышенную термо- (до 400...500°C) и химическую стойкость, в ряде случаев хорошую совместимость с силикатными материалами. Наибольшие перспективы в строительстве имеют полиорганосилоксаны (силиконы). В этих полимерах углерод находится в органических радикалах (R), расположенных в боковых ответвлениях основных цепей макромолекул. Их применяют в качестве гидрофобизирующих добавок к бетонам и растворам, для получения атмосферостойких фасадных красок и для защитных покрытий облицовочных изделий из пористых горных пород и бетонов.

#### **3.8.2.4. Наполнители и пластификаторы**

Номенклатура наполнителей для пластмасс разнообразна. Это порошковые вещества (древесная мука, мел, тальк, сажа и т.п.), волокнистые (стекловолокно, асбест, органические волокна) и листовые материалы (бумага, древесный шпон, ткани). К числу наполнителей можно отнести и воздушные поры в газонаполненных пластмассах (пено- и поропласты). У большинства пластмасс существенная часть объема приходится на долю наполнителей, а некоторые пластмассы на 80...90 % (по объему) состоят из наполнителей (например, древесностружечные плиты, полимербетоны, пенопласты).

**Наполнители**, уменьшая содержание полимера в пластмассах, значительно снижают их стоимость, усадку и деформативность. Они, особенно минеральные, увеличивают теплостойкость и атмосферостойкость пластмасс и снижают горючесть. Листовые и волокнистые наполнители резко повышают прочность пластмасс на растяжение и изгиб. Некоторые наполнители придают пластмассам специальные свойства. Так, воздушные поры, занимающие более 90



% объема газонаполненных пластмасс, делают их идеальными теплоизоляторами, а сажа или графит, вводимые в пластмассу, придают ей свойство электропроводности.

**Пластификаторы** – вещества, которые в смеси с полимерами придают им большую пластичность при нормальной температуре и облегчают переработку пластмасс, снижая температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние. В качестве пластификаторов используют нелетучие органические жидкости, хорошо совмещающиеся с полимером (например, глицерин, диоктилфталат).

### **3.8.3. Полимерные материалы применяемые в горной промышленности**

К полимерным крепежным материалам относятся стеклопластики, пласто-бетон, углепласт, химические составы на базе синтетических смол для закрепления анкеров в скважинах. Для затяжек, в последнее время, предложены различные синтетические тканевые материалы. Для закрепления анкеров в горных породах, а также для тампонажа закрепного пространства и нагнетательного упрочнения пород применяют различные синтетические полимерные растворы смол. Из пластических полимерных материалов изготавливают прокладки для блочной крепи, шайбы для гидроизоляции болтовых соединений тубинговой крепи и т. п.

**Стеклопластики** – отвержденные синтетические смолы, армированные стекловолокном в виде стеклонитей, жгутов, холста или стеклоткани. Стекловолокно может применяться как армирующий элемент также в рубленом виде. В стеклопластике в качестве связующего применяют полиэфирные, фенольные, эпоксидные и другие полимерные смолы. Физико-механические свойства стеклопластиков очень разнообразны и зависят в основном от свойств армирующих волокон и связующих полимеров. Стекловолокнистые материалы обладают большой прочностью на разрыв (1250...2500 МПа), не подвержены гниению, не гигроскопичны и термостойки. Очень тонкие стеклонити (до 16 мкм) получают с помощью вытяжки из расплавленной стекломассы. К полимерным связующим предъявляют требования высокой прочности, стойкости против агрессивных вод. Они должны обеспечивать хорошее сцепление с армирующими стекловолокнистыми материалами.

Кроме связующего и армирующего компонентов в стеклопластик вводят вещества, называемые **стабилизаторами**. Их назначение – предотвратить старение (ухудшение со временем свойств) пластика при эксплуатации. Могут также применяться в качестве четвертого компонента различного рода наполнители (органического или минерального происхождения). Назначение наполнителей – придать стеклопластикам необходимые свойства и уменьшить их стоимость. Сырьем для получения связующего из полимерных смол являются природные или нефтяные газы и продукты перегонки нефти. Элементы крепи из стеклопластика (стойки, верхняки, затяжки) обычно изготавливают прессованием, но могут также применяться методы литья, способы протяжки и намотки.

**Пластобетон** – каменный материал, состоящий из отвердевшей синтетической смолы, песка, а также щебня. В качестве связующего применяют фур-

фурол – ацетоновую, эпоксидную, мочевино-формальдегидную и другие смолы, а также специальные химические добавки (сульфобензойная кислота, полиэтилен, полиамин и др.). Такой бетон имеет высокую прочность при сжатии (40...70 МПа), растяжении (5...6 МПа) и изгибе (10...20 МПа), отличается значительной коррозионной стойкостью против агрессивных вод и водонепроницаемостью.

**Углепласт** представляет собой крепежный материал из угольной пластмассы, получаемый горячим прессованием тонкоизмельченного угля с добавкой смолы при давлении 50...60 МПа и температуре 150...180 °С или холодным отверждением в присутствии бензосульфокислоты. В качестве наполнителя применяют дробленый каменный уголь (с частицами размером до 13 мм), смешанный с древесными опилками. Связующим веществом служит фенолоформальдегидная смола (20 % от веса угля и опилок), в которую в качестве пластификатора добавляется олеиновая кислота (2% от массы смолы). Углепласт имеет прочность на сжатие 40...70 МПа, применяется для изготовления элементов крепи в виде колец, тубингов.

Разработаны и применяются в промышленных масштабах химические составы на основе полиэфирных, фенольных и формальдегидных смол для закрепления анкеров.

В России разработаны и применены при проведении штреков химические растворы на основе мочевино-формальдегидных смол М19-62 для закрепления мелкозернистых обводненных песков. В качестве отвердителей применены щавелевая кислота и хлористый аммоний. Введение в раствор хлористого аммония уменьшило (до санитарных норм) выделение при полимеризации смолы вредного для здоровья людей свободного формальдегида. Прочность мелкозернистых песков, обработанных (упрочненных) указанным химическим раствором, увеличилась при одноосном сжатии до 14 МПа, при изгибе – до 1,2 МПа, а коэффициент фильтрации снизился в несколько сот раз.

Химические растворы на основе эпоксидных смол, упрочняющие породы и закрепляющие анкера в скважинах, обладают высокими прочностными свойствами, но из-за высокой стоимости распространения не получили. Полиэфирные и мочевино-формальдегидные смолы обладают меньшими по сравнению с растворами на эпоксидных смолах прочностными свойствами, но значительно дешевле и поэтому получили большее применение в горном деле.

Недостаток всех перечисленных полимерных смол (кроме смолы УКС-Б) – наличие вредных веществ (свободного формальдегида и др.), что требует соблюдения особых мер предосторожности, а в шахтных условиях и увеличения расходов на проветривание выработок, в которых эти смолы применяют.

## 3.9. Резиновые материалы

### 3.9.1. Общие сведения

**Резина** – искусственный материал, получаемый специальной обработкой (вулканизацией) смеси каучука с различными добавками.

**Вулканизация** – превращение каучука в резину, осуществляемое с участием, так называемых вулканизирующих агентов (например, серы) или под действием ионизирующей радиации.

**Каучук** – натуральное или синтетическое неперелетное, высокомолекулярное (карбоцепное), термопластичное соединение с двойной химической связью между углеродными атомами в элементарных звеньях макромолекулы.

Молекулы каучука извилистые (зигзагообразные). Структура макромолекул – линейная или слабозветвленная и состоит из отдельных звеньев. Молекулярная масса каучуков  $M = 400\ 000 \dots 450\ 000$  а.е.м.

**Натуральный каучук** (НК) – эластичный природный материал, полимер изопрена ( $C_5H_8$ ) получаемый коагуляцией латекса каучуконосных растений. Резины на основе НК отличаются высокой эластичностью, прочностью, водо- и газонепроницаемостью, высокими электроизоляционными свойствами.

**Латекс** – млечный сок каучуконосных растений. В латексе диспергированы высокомолекулярные углеводороды и растворены углеводы, белки и соли.

**Синтетические каучуки** (СК) – эластичные синтетические полимеры, получаемые полимеризацией различных углеводородов. В настоящее время в промышленности применяются более 250 видов синтетических каучуков, из которых изготавливают свыше 50 тыс. изделий различных наименований.

**Бутадиеновые каучуки** (дивиниловые каучуки, СКВ, СКД) – эластичные синтетические полибутадиены. Формула полибутадиена  $(C_4H_6)_n$ . Он является некристаллизующимся каучуком и имеет низкий предел прочности при растяжении, поэтому в резину на его основе необходимо вводить упрочняющие наполнители. Каучуки СКВ и СКД используются в производстве морозостойких резин. СКД применяют, главным образом, в производстве шин (превосходят по качеству шины из натурального каучука). Из СКВ изготавливают, например, кислото- и щелочестойкую резину, эбонит.

**Бутадиен-нитрильные каучуки** (дивинилнитрильные каучуки, стирольные каучуки, СКН, БНК). Резины на основе СКН обладают высокой прочностью, хорошо сопротивляются истиранию. Эти резины превосходят резины на основе НК по стойкости к старению и действию разбавленных кислот и щелочей, но уступают им по эластичности. Резины из БНК бензо- и маслостойки.

**Бутадиен-стирольные каучуки** (дивинилстирольные каучуки, стирольные каучуки, СКС, БКС) – синтетические полимеры, получаемые при сополимеризации бутадиена со стиролом. Процентное содержание стирола сильно влияет на свойства каучуков. Так, например, чем больше стирола, тем выше прочность, но ниже морозостойкость. Из наиболее распространенного каучука СКС-30 получают резины с хорошим сопротивлением старению и хорошо работающие

при многократных деформациях. По газонепроницаемости и диэлектрическим свойствам они равноценны резинам на основе НК. Прочность и износостойкость резины из БСК позволяет использовать их при производстве автомобильных шин, конвейерных лент, резиновой обуви.

**Изопреновые каучуки** (СКИ) – синтетические полиизопрены, продукты полимеризации изопрена ( $C_5H_8$ ). Резины из изопреновых каучуков отличаются высокой механической прочностью и эластичностью. Заменители натурального каучука в производстве шин, конвейерных лент, резиновой обуви, бытовых изделий. Промышленностью выпускаются каучуки СКИ-3 и СКИ-3П, наиболее близкие по свойствам к НК; каучук СКИ-3Д используется для получения электроизоляционных резин; каучук СКИ-3В – для вакуумной техники и др.

**Карбоксилатные каучуки** – синтетические полимеры, продукты сополимеризации бутадиена с непредельными карбоновыми кислотами, главным образом, метакриловой  $[-CH_2-CH=CH-CH_2]_n-[-CH_2-C(CH_3)(COOH)-]_m$ . Резины из карбоксилатных каучуков прочны, теплостойки, отличаются высокой адгезией к различным материалам. Применяются в составе клеев для крепления резины к металлу; в виде латекса – для пропитки шинного корда; отделки кожи, бумаги, тканей.

**Кремнийорганические каучуки** (силиконовые каучуки, СКТ) – синтетические кремнийорганические полимеры. СКТ – каучук, представляющий собой кремнийорганическое соединение с химической формулой  $...-Si(CH_3)_2-O-Si(CH_3)_2-...$ . Применяются в производстве оболочек проводов и кабелей, трубок для переливания крови и др.

**Полисульфидные каучуки** – синтетические полимеры, продукты поликонденсации:  $[-CH_2CH_2-S_x-]_n$ . Резины из полисульфидных каучуков бензо- и маслостойки, газонепроницаемы. Применяются для производства шлангов, диафрагм; в жидком виде – основа герметиков. **Тиокол** – полисульфидный каучук, образующийся при взаимодействии галопроизводных углеводородов с многосернистыми соединениями щелочных металлов:  $...-CH:-CH_2-S_2-S_2-...$ . Механические свойства резин на основе тиокола невысокие, но это хороший герметизирующий материал.

**Фторсодержащие каучуки** (фторкаучуки) – синтетические полимеры, продукты полимеризации фторорганических соединений, главным образом, смеси винилиденфторида с трихлорфторэтиленом  $[-CH_2-CF_2-CF_2-CFCl-]_n$  или с гексафторпропиленом  $[-CY_2-CF_2-CF_2-CF(CF_3)-]_n$ . Резины из фторкаучука термостойки, негорючие, устойчивы к окислителям, маслам, топливам. Применяются, главным образом, в производстве различных уплотнителей, эксплуатируемых выше  $200^\circ C$ .

**Хлоропреновые каучуки** (наирит, неопрен) – синтетические полимеры, продукты полимеризации хлоропрена:  $[-CH_2=CCl=CH-CH_2-]_n$ . Резины из хлоропреновых каучуков атмосферо-, масло- и бензиностойки. Применяются в производстве конвейерных лент, ремней, рукавов, клеев и др. **Наирит** – хлоропреновый каучук ( $CH_2 = CCl-CH = CH_2$ ). Резины на основе наирита обладают высокой эластичностью, озоностойкостью, устойчивы к действию топлива и масел, хорошо сопротивляются старению. Они не уступают по термо- и моро-

зостойкости (до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а также в электроизоляционных свойствах резинам на основе НК.

**Этиленпропиленовые каучуки** – синтетические полимеры, продукты сополимеризации этилена с пропиленом (СКЭП), а иногда с третьим мономером – диеном (СКЭПТ). Резины из этиленпропиленовых каучуков атмосферостойки, химически устойчивы, очень хорошие диэлектрики. Применяются для изоляции проводов и кабелей, в производстве автомобильных прокладок и др.

При вулканизации синтетических кусков из макромалекул связываются поперечными связями («мостиками» из серы), что позволяет повысить механическую прочность, эластичность и теплостойкость получаемых материалов – вулканизированного каучука и резины. В отличие от каучуков резины не имеют пластических деформаций и не растворяются в органических растворителях. При нормальной температуре резина находится в высокоэластичном состоянии. Ее эластичные свойства сохраняются в широком диапазоне температур.

Основные потребительские свойства резиновых материалов.

- плотность ( $910\text{...}2050\text{ кг/м}^3$ );
- низкая теплопроводность;
- эластичность ( $E = 1\text{...}10\text{ МПа}$ ;  $\delta = 1000\%$ ) при времени релаксации более  $10^{-4}\text{ с}$ ;
- несжимаемость ( $\text{tg } \delta = 0,4\text{...}0,5$ );
- диэлектрические свойства ( $\rho_{\text{ог}} = 10^{10}\text{...}10^{15}\text{ Ом}\cdot\text{см}$ ;  $\epsilon = 2,5\text{...}4$ ;  $\text{tg } \delta = 0,005\text{...}0,01$ );
- химическая стойкость;
- низкие газо- и водопроницаемость;
- высокое сопротивление разрыву и износу.

В настоящее время резиновые материалы классифицируются по виду *сырья, наполнителя, по степени упорядочения макромалекул и пористости, по технологическим способам переработки, по типам теплового старения и по изменению объема после пребывания в нефтяной жидкости.*

Классификация по виду сырья учитывает наименование каучуков, явившихся исходным сырьем при производстве резиновых материалов: НК – натуральный каучук, СКБ – синтетический каучук бутадиеновый, СКС – бутадиенстирольный каучук, СКИ – синтетический каучук изопреновый, СКН – бутадиеннитрильный каучук, СКФ – синтетический фторсодержащий каучук, СКЭП – сополимер этилена с пропиленом, ХСПЭ – хлорсульфополиэтилен, БК – бутилкаучук, СКУ – полиуретановый каучук.

По своему виду наполнители для резиновых материалов различаются на порошкообразные наполнители и ткани.

По степени упорядочения макромалекул и пористости резиновые материалы могут быть мягкие, жесткие (эбонитовые), пористые (губчатые) и пастообразные. Плотность губчатой резины  $100\text{...}750\text{ кг/м}^3$ .

Среди технологических способов переработки для резиновых материалов используются выдавливание, прессование и литье.

По тепловому старению существует семь типов: Т07; ...; Т25.

По изменению объема после пребывания в нефтяной жидкости различают семь классов: К1; ...; К7.

### 3.9.2. Состав резиновых материалов

Основным компонентом резиновых материалов является каучук.

В качестве добавок при производстве резиновых материалов используются *вулканизирующие вещества, ускорители вулканизации, активаторы ускорителей, наполнители, противостарители, пластификаторы и красители.*

**Вулканизирующие вещества** (вулканизаты) – обязательные компоненты резиновых материалов; они участвуют в образовании пространственно-сетчатой структуры резины. Наиболее широко применяется для вулканизации сера. Ее количество в резиновых материалах может изменяться от 1 до 40 % массы каучука, при этом увеличение содержания серы приводит к возрастанию твердости резиновых материалов. При максимально возможном насыщении каучука серой образуется твердый и жесткий материал, называемый эбонитом. Эбонит обладает высокой химической стойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами, легко обрабатывается, но имеет низкую теплостойкость.

Наряду с серой в качестве вулканизатов применяются селен и тиурам.

**Тиурам** – органическое сернистое соединение, в отличие от серы не взаимодействующее с медью. Использование тиурама вызвано техническими требованиями к резиновым материалам, предназначенным для электротехнической промышленности.

Ускорители вулканизации применяются для повышения технико-экономических показателей процесса вулканизации, так как они влияют на режим вулканизации и физико-механические свойства вулканизирующих веществ. В качестве ускорителей вулканизации используют оксиды свинца и магния, а также различные полисульфиды в количестве 0,5...1,5 % массы каучука. Активаторами ускорителей являются цинковые белила и магнезия.

Наполнители используются в производстве, как для снижения стоимости резиновых материалов, так и для придания им необходимых физико-механических и потребительских свойств. Среди порошкообразных наполнителей наиболее широкое применение находят сажа, каолин, мел, тальк, а в качестве тканей-наполнителей используются корд, бельтинг, рукавные и другие ткани из крученых синтетических (реже хлопчатобумажных) нитей повышенной прочности. Характер взаимодействия наполнителей с каучуком определяет их как активные (например, сажа повышает механические свойства) или инертные (мел и тальк удешевляют стоимость резиновых материалов). В качестве наполнителя часто вводят **регенерат** – продукт переработки старых резиновых изделий и отходов резинового производства. Кроме уменьшения стоимости регенерат повышает качество резины, снижая ее склонность к старению. Количество наполнителей определяется как остальное по массе каучука после определения содержания необходимых добавок.

**Противостарители** (антиоксиданты) замедляют процесс старения и обеспечивают эксплуатационные свойства резиновых материалов. Различают химические и физические противостарители. Химические противостарители

(альдоль, неозон Д и др.) задерживают окисление каучука, а физические (парафин, воск и др.) – создают защитные пленки.

Пластификаторы облегчают переработку резиновой смеси и обеспечивают совмещение каучука с наполнителем. В качестве пластификаторов применяют канифоль, парафин, стеариновую кислоту и др. Количество пластификаторов может составлять 8...30 % массы каучука. Пластификаторы повышают пластичность и (или) эластичность, а также морозостойкость резины.

Красители в резиновых материалах, так же как противостарители, используются для повышения эксплуатационных свойств. Так, например белые, желтые и зеленые красители защищают от светового старения. В качестве красителей применяют охра, ультрамарин и др. в количестве до 10 % массы каучука. Для получения светлоокрашенных резин, предназначенных для работы в условиях повышенных температур, вместо наиболее распространенного наполнителя – сажи, используют оксиды кремния или титана.

### **3.9.3. Классификация резиновых материалов по назначению и области применения**

Резиновые материалы делят на группы *общего* и *специального* назначения.

Для *резин общего назначения* основными компонентами являются неполярные каучуки – НК, СКИ, СКС и СКБ. Резины на основе НК отличаются высокой эластичностью, прочностью, водо- и газонепроницаемостью, высокими электроизоляционными свойствами:  $\rho_{ov} = 3 \cdot 10^{14} \dots 23 \cdot 10^{18}$  Ом·см;  $\epsilon = 2,5$ . Наибольшее распространение в промышленности получили резины на основе СКС (СКС-10, СКС-30, СКС-50). Это те резины, которые хорошо работают при многократных деформациях, с хорошим сопротивлением старению; по газонепроницаемости и диэлектрическим свойствам равноценны резинам на основе НК.

Резиновые материалы общего назначения используются для производства изделий, работающих в воде, на воздухе, в слабых растворах кислот и щелочей при температуре эксплуатации  $-35 \dots +130$  °С. Такими изделиями являются шины, рукава, конвейерные ленты, изоляция кабелей и др.

Резиновые материалы специального назначения делятся на *бензиномаслостойкие, химически стойкие, коррозионно-стойкие, светостойкие, тепло- и морозостойкие, электротехнические и износостойкие*.

**Бензиномаслостойкие резиновые материалы** изготавливают на основе наирита, тиокола, СКН и других типов каучуков. Их основными потребительскими свойствами являются устойчивость к воздействию гидравлических жидкостей, масло-, бензино- и озоностойкость, а также водонепроницаемость. Резины, стойкие к воздействию гидравлических жидкостей, изготавливают: для работы в масле – на основе СКН, для кремнийорганических жидкостей – на основе каучуков НК, СКМС-10 и др.

Бензиномаслостойкие резины на основе каучуков СКН могут работать в среде бензина, топлива, масел в интервале температур  $-30 \dots +130$  °С. Акрилатные резины (марки БАК) теплостойки, обладают адгезией к полимерам и металлам, стойки к действию серосодержащих масел и кислорода, но обладают

малой эластичностью, низкой морозостойкостью и невысокой стойкостью к воздействию горячей воды и пара. Из бензиномаслостойких резин изготавливают шины, варочные камеры, диафрагмы и др. Акрилатные резины широко применяют в автомобилестроении.

**Химически стойкие резиновые материалы** изготавливают на основе бутилкаучука. К изделиям из таких резин предъявляются повышенные требования по масло-, бензино-, растворителе- и теплостойкости. Они используются, например, для транспортных лент для подачи горючих материалов.

**Коррозионно-стойкие резиновые материалы** изготавливают на основе ХСПЭ. Они являются незаменимым конструкционным материалом для изделий, работающих в морской воде. Коррозионно-стойкие резиновые материалы, кроме того, не обрастают при эксплуатации водорослями и микроорганизмами.

**Светоозоностойкие резиновые материалы** изготавливают на основе насыщенных каучуков – СКФ, СКЭП, ХСПЭ и БК. Резины на основе фторсодержащего каучука СКФ устойчивы к тепловому старению, воздействию масел, топлива, различных растворителей (даже при повышенных температурах), негорючие, обладают высоким сопротивлением истиранию, но имеют низкую эластичность и малую стойкость к большинству тормозных жидкостей. Резины на основе СКФ и этиленпропиленовых каучуков СКЭП стойки к действию сильных окислителей ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}_3$  и др.) и не разрушаются при работе в атмосферных условиях в течение нескольких лет. Резины на основе хлорсульфополиэтиленового каучука ХСПЭ применяют как конструкционный материал (противокоррозионные, не обрастающие в морской воде водорослями и микроорганизмами покрытия), для защиты от гамма-излучения. Резины на основе бутилкаучука БК широко применяют в шинном производстве, а также для изделий, работающих в контакте с концентрированными кислотами и другими химикатами. Светоозоностойкие резиновые материалы предназначены для масло- и бензиностойких изделий – гибких шлангов, диафрагм, уплотнителей и др.

**Теплостойкие резиновые материалы** изготавливают на основе НК, СКТ и СКС. Морозостойкими являются резины на основе каучуков, имеющих низкие температуры стеклования, например, НК, СКС-10, СКТ. Эти резиновые материалы используются для сверхтепло- и морозостойких изделий, электротехнических деталей и др.

**Электротехнические резиновые материалы** делятся на две группы: *изоляционные* и *проводящие*. Электроизоляционные резиновые материалы изготавливают на основе неполярных каучуков, например, НК, СКБ, СКС, СКТ и БК. Их электрические свойства:  $\rho_{ov} = 10^{11} \dots 10^{15}$  Ом·см;  $\epsilon = 2,5 \dots 4$ ;  $\text{tg } \delta = 0,005 \dots 0,01$ . Электропроводящие резины для экранированных кабелей получают из каучуков НК, СКН. наирит с обязательными добавками сажи и графита в количестве 65...70 % по массе каучука. Удельное электросопротивление проводящих резин  $\rho_{ov} = 10^2 \dots 10^4$  Ом·см.

**Износостойкие резиновые материалы** изготавливают на основе СКУ. Рабочие температуры резин составляют  $-30 \dots +130$  °С. Они предназначены для производства шин, амортизаторов, буферов, клапанов, обкладок в транспортных системах для абразивных материалов, обуви и др.



## 3.10. Лакокрасочные материалы

### 3.10.1. Общие сведения

*Лакокрасочные материалы* используют для приготовления красочных составов, которые в вязкожидком состоянии наносят тонкими слоями (60...500 мкм) на поверхность отделяемой конструкции (бетон, дерево, металл). В результате отвердевания красочных составов образуется твердая цветная пленка, которая прочно сцепляется с отделяемой поверхностью (основанием) и называется лакокрасочным или малярным покрытием.

Такие покрытия дают возможность защитить материал конструкций от вредного воздействия окружающей среды и, следовательно, повысить их долговечность; получить архитектурно-художественный эффект; улучшить санитарно-гигиенические условия в помещениях. Некоторые лакокрасочные покрытия имеют специальное назначение (например, антисептические и огнезащитные краски для дерева). Чаще всего лакокрасочные покрытия служат одновременно для нескольких целей.

Лакокрасочные покрытия обычно состоят из грунтовочного, подмазочного, шпаклевочного и окрасочного слоев, каждый из которых имеет свое особое назначение (рис. 3.16). Основным назначением грунтовочного слоя является улучшение сцепления последующих слоев с основанием. Подмазочные слои служат для заполнения сравнительно крупных углублений на поверхности основания. Шпаклевочный слой предназначен для выравнивания поверхности. Один или несколько окрасочных слоев создают тонкую пленку заданного цвета. В зависимости от характера основания и назначения окраски некоторых слоев может и не быть, но всегда есть красочный слой (слои).

Основными компонентами лакокрасочных составов являются пигменты и связующие вещества, кроме них в лакокрасочные составы могут входить наполнители, растворители и разбавители.

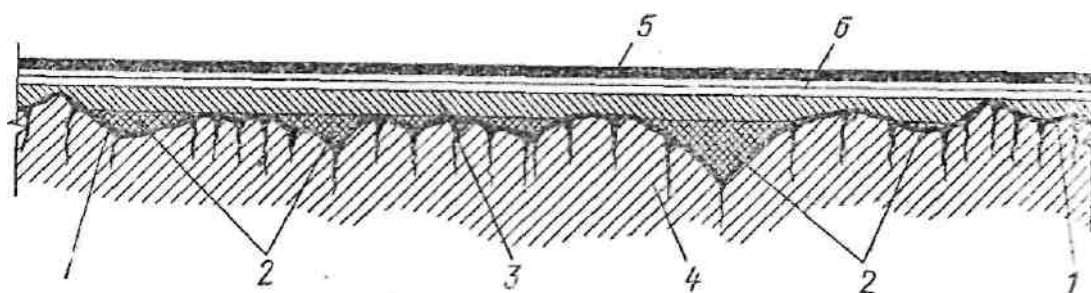


Рис. 3.16. Слой лакокрасочного покрытия:

- 1 – грунтовка; 2 – подмазка; 3 – шпаклевка; 4 – основание; 5 – слой лака;  
6 – слои красочного состава

### 3.10.2. Пигменты и наполнители

*Пигменты* (их называют также сухими красками) – тонкодисперсные цветные порошки, нерастворимые в олифе, воде и органических растворителях.

Цвет лакокрасочного покрытия зависит от пигментов. При тщательном перемешивании пигментов со связующими они дают нераспадающиеся суспензии, которые называют красочными составами (красками).

Окраска пигментов возникает благодаря избирательному поглощению кристаллической решеткой пигмента волн той или другой длины. В результате пигмент кажется окрашенным в цвет, который дополняет поглощенный. Вещества, присутствие которых обуславливает окраску пигментов, называют хромофорами («носителями цвета»).

От пигментов в известной мере зависит также и долговечность малярного покрытия, так как они, подобно заполнителям, в строительных растворах и бетонах уменьшают объемные деформации в красочной пленке в процессе ее твердения и при эксплуатации.

В строительстве применяют главным образом *неорганические пигменты* (природные и искусственные), которые в большинстве случаев состоят из солей или оксидов металлов, а также некоторые *металлические и органические пигменты*.

**Дисперсность пигмента** влияет на все его основные свойства. Чем мельче частицы пигмента, тем выше его укрывистость и красящая способность (до достижения оптимальной степени дисперсности). Полифракционный состав пигмента позволяет получить плотное красочное покрытие при минимальном расходе связующего вещества. Природные пигменты, получаемые путем измельчения и отмучивания горных пород, состоят из частиц размером 0,5...40 мкм. Искусственные неорганические пигменты, получаемые в результате химических реакций, отличаются от природных большей дисперсностью и состоят из частиц размерами 0,1...2 мкм.

**Красящая способность**, или **интенсивность**, пигмента характеризуется его способностью передавать свой цветовой тон при смешивании с белым пигментом. Чем больше красящая способность пигмента, тем меньше его нужно для получения окраски яркого тона.

**Укрывистость**, или **кроющая способность**, пигмента характеризуется расходом (в г на 1 м<sup>2</sup> окрашиваемой поверхности), необходимым для того, чтобы закрыть слой контрастных красок (например, черные и белые полосы), заранее нанесенных на стекло. Чем меньше расход пигмента, тем выше его укрывистость. Укрывистость зависит от разности показателей преломления света пигментом и связующим веществом. Чем больше эта разность, тем выше укрывистость краски. Различие в красящей способности разных пигментов не связано с их кроющей способностью. Например, высокоинтенсивный пигмент – лазурь – обладает очень невысокой укрывистостью, а высокоукрывистый пигмент – свинцовый сурик – сравнительно невысокой красящей способностью.

**Маслоемкость пигмента** характеризуется количеством (в %) олифы, необходимым для превращения 100 г пигмента в однородную суспензию рабочей вязкости. Чем меньше олифы требует пигмент, тем дешевле краска и тем более стойким будет покрытие, так как окраска разрушается главным образом из-за неизбежного старения пленки.

**Светостойкость пигментов** – способность не менять цвет под действием ультрафиолетовых лучей. Большинство природных пигментов светостойки. Некоторые органические пигменты на свету быстро обесцвечиваются («выцветают») или изменяют свой цвет.

**Атмосферостойкость пигментов** – способность выдерживать, не разрушаясь и не изменяя цвета, многократные чередования увлажнения и высыхания, замерзания и оттаивания, а также воздействие кислорода, сернистых газов и других атмосферных реагентов. Это свойство особенно важно для пигментов, применяемых для окраски наружных конструкций.

**Химическая стойкость пигментов** – способность противостоять действию кислотной или щелочной среды без изменений цвета и видимых разрушений. В зависимости от условий эксплуатации подбирают щелоче- или кислото-стойкие пигменты. Пигменты, не обладающие щелочестойкостью, нельзя применять при окраске свежей известковой штукатурки и свежего бетона, а также в красочных составах на основе известковых или силикатных вяжущих.

**Антикоррозионные (пассивирующие) свойства пигмента** характеризуются его способностью давать (в сочетании с соответствующим связующим) покрытия, надежно защищающие стальные поверхности от окисления. Эти свойства очень важны для пигментов, применяемых для окраски металлических конструкций.

**Огнестойкость пигмента** – способность выдерживать действие высоких температур без изменения цвета и разрушения. Огнестойкость пигментов следует учитывать при окраске отопительных систем и тепловых установок.

**Безвредность пигмента.** Некоторые пигменты ядовиты. Особая осторожность соблюдается при применении пигментов, содержащих соединения свинца, меди.

**Природные неорганические пигменты.** Их получают механической переработкой (измельчением, отмучиванием и т.п.) горных пород, содержащих яркоокрашенные минералы. Производство их сравнительно несложно, а стойкость высокая (все они щелоче-стойки и почти все светостойки), поэтому их применяют для наружной окраски, а также для получения цветных бетонов. Однако по разнообразию и яркости для получения цвета природные пигменты значительно уступают искусственным неорганическим и особенно органическим пигментам.

К этой группе пигментов относят *мел, железистоокисные пигменты (охру, мумию природную, сурик железный), марганцовистые пигменты (умбру, пиролюзит), графит.*

**Мел** – самый дешевый пигмент белого цвета; широко применяется в клеевых красках.

Окраска **железистоокисных пигментов** зависит от вида и количества содержащихся в них оксидов железа.

**Охра** состоит из глины, окрашенной в желтый цвет различными оттенками оксидами железа, содержание которых составляет 11...18 %. Охра является одним из самых распространенных и дешевых пигментов. Она широко применяется для наружных и внутренних окрасок.

**Природная мумия** представляет собой тонкодисперсный порошок глины, окрашенный в красный цвет разных оттенков оксидами железа, содержание которых составляет 20...70 %. Это один из самых дешевых пигментов. Ее применяют для окрасок по металлу, дереву и штукатурке.

**Сурик железный** – пигмент коричнево-красного цвета, содержащий 75...90 % оксида железа. Обладает высокой стойкостью ко всем воздействиям; один из самых дешевых пигментов. Сурик железный особенно широко применяют для окраски стальных кровель.

**Умбра** – пигмент коричневого цвета различных оттенков. Умбра состоит из глины, окрашенной оксидами железа (не менее 48%), и марганца (7...14%). Ее широко применяют в строительстве, особенно в клеевых красках.

**Перекись марганца** (пиролюзит)  $MnO_2$  – пигмент черного цвета: получают из марганцевой руды. Перекись марганца широко используют как в клеевых, так и в масляных красках, особенно для окраски изделий из чугуна.

**Графит** – пигмент черного цвета с сероватым оттенком и характерным жирным металлическим блеском, содержащий 70...94 % углерода. Обладает высокой устойчивостью к действию различных химических реагентов. Графит используют в масляных красочных составах.

**Искусственные неорганические пигменты.** Их получают из минерального сырья путем сложной химической переработки. Ниже описаны искусственные неорганические пигменты, наиболее часто применяемые в строительстве.

**Белыми пигментами** являются известь, белила цинковые, титановые, литопоновые, свинцовые.

Известь в красочных составах является одновременно связующим веществом и пигментом. Употребляется преимущественно для окраски фасадов.

**Цинковые белила** ( $ZnO$ ) обладают невысокой атмосферостойкостью, растворимы в кислотах и щелочах. Применяют их в основном для внутренней окраски по дереву, металлу, штукатурке.

**Титановые белила** ( $TiO_2$ ) в щелочах и кислотах нерастворимы, обладают высокой свето- и атмосферостойкостью, совершенно нетоксичны. Их широко применяют как для внутренней, так и для наружной окраски.

**Литопон** ( $ZnS \cdot BaSO_4$ ) растворим в кислотах, не обладает коррозионной стойкостью и атмосферостойкостью. Литопон применяют преимущественно для внутренней окраски.

**Свинцовые белила** ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) обладают большой укрывистостью, высокой свето- и атмосферостойкостью, а также высокими антикоррозионными свойствами. Недостатком их является высокая токсичность, в связи с чем их редко применяют в строительстве.

**Желтые пигменты** – это соли хромовой кислоты, обычно называемые «кронами» от искаженного слова «хром».

**Крон цинковый желтый** ( $ZnCrO_4$ ) обладает большой свето- и антикоррозионной стойкостью. Применяют его в масляных красках для окраски металлических конструкций.

**Кроны свинцовые желтые** ( $PbCrO_4$ ) различных оттенков от лимонного до оранжевого обладают высокой укрывистостью и антикоррозионными свойст-

вами. Под действием сероводорода темнеют, под действием щелочей краснеют, токсичны. Применяют редко для окрасок по дереву, металлу и штукатурке.

**Синие пигменты** – это ультрамарин и лазурь малярная.

**Ультрамарин** – синий пигмент, обладающий средней светостойкостью и хорошей щелочестойкостью. Его применяют в масляных и известковых красках и для подцветки белых красок.

**Лазурь малярная** ( $\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN}_6)]_3$ ) – интенсивный синий пигмент, атмосфероустойчив, но не устойчив к действию щелочей и высоких температур (меняет цвет на коричневый). Применяют лазурь с масляными и полимерными связующими для окраски по дереву и металлу.

**Зеленые пигменты**, применяемые в строительстве, весьма многочисленны. Чаще других используют зелень свинцовую, хромовую и цинковую и оксид хрома.

**Зелень свинцовая хромовая** – механическая смесь желтых свинцовых кронов с лазурью и наполнителем. По техническим свойствам она аналогична свинцовым кронам, т. е. обладает высокой красящей способностью и укрывистостью, светостойка и стойка к коррозионным воздействиям, но не щелочестойка. Применяют ее для окрасок по металлу, дереву и штукатурке.

**Зелень цинковая** разнообразных оттенков от желтовато-зеленого до синезеленого представляет собой смесь цинкового желтого кронах лазурью и наполнителем. Обладает высокой атмосферостойкостью и антикоррозионными свойствами. Применяют цинковую зелень в масляных красках – по металлу и дереву, в клеевых – по штукатурке.

**Оксид хрома** ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) – высококачественный пигмент, обладающий светостойкостью, щелоче- и кислотостойкостью, стойкостью к действию высоких температур. Его можно смешивать с любыми другими пигментами и применять со всеми видами связующих.

**Красные пигменты** многочисленны и разнообразны по свойствам. В строительстве наиболее часто применяют мумию искусственную, крон красный, сурик свинцовый, редоксайд.

**Мумия искусственная** – смесь обожженного серноокислого кальция и оксида железа. Она является светостойким пигментом с высокой красящей способностью и большой укрывистостью. Применяют мумию для окрасок по дереву и штукатурке.

**Крон красный** [ $\text{PbCr}_2\text{O}_4 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ ] – пигмент ярко-красного цвета; обладает хорошей светостойкостью и высокими антикоррозионными свойствами; применяют для окрасок по металлу.

**Сурик свинцовый** ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) – пигмент от ярко-оранжевого до красного цвета; обладает высокой щелочестойкостью и пониженной кислотостойкостью. Особенно высоки антикоррозионные свойства свинцового сурика, благодаря чему его применяют для красок по стали, подвергающейся длительному воздействию воды.

**Редоксайд** – железоокисный пигмент, устойчивый к действию щелочей. Применяют для окрасок по дереву штукатурке.

В качестве **черного пигмента** в строительстве применяют различные сажи. **Сажа** – продукт неполного сгорания органических веществ, имеет высокую кроющую и красящую способность, устойчива к действию кислот и щелочей. Применяют сажу во всех красках, кроме красок по черному металлу, так как она стимулирует развитие коррозии.

**Металлические пигменты.** Для окраски металлических конструкций часто применяют металлические порошки: пудру алюминиевую (тонкий порошок металлического алюминия) и пудру золотистую (тонкий порошок металлической бронзы), обладающие высокой свето- и атмосферостойкостью и антикоррозионными свойствами.

#### **Органические пигменты.**

Эти пигменты представляют собой органические синтетические красящие вещества. Они обладают высокой красящей и кроющей способностью, чистым и ярким цветом. Органические пигменты свето- и атмосферостойки, однако щелочестойкость у них недостаточно высокая. Они пока дороги и дефицитны.

В строительстве применяют следующие органические пигменты: желтый светопрозрачный, красный, оранжевый, алый, голубой фталоцианиновый, зеленый фталоцианиновый и др.

Для экономии пигментов с высокой красящей способностью их разбавляют белыми наполнителями. Наполнители также повышают прочность, огнестойкость и другие свойства красочных составов. Для наружной окраски лучшими наполнителями являются тонкие порошки тяжелого шпата ( $\text{BaSO}_4$ ) и талька. Для внутренней отделки применяют более дешевые наполнители – тонкокомолотые мел, известняк, гипс.

### **3.10.3. Связующие вещества, растворители и разбавители**

**Связующие (пленкообразующие) вещества** в красочных составах «склеивают» частицы пигмента между собой и с окрашиваемой поверхностью, образуя тонкую пленку. Основные свойства красочных составов (удобнонаносимость, скорость отвердевания, прочность и долговечность пленки) зависят в значительной мере от особенностей применяемого связующего. Здесь наблюдается некоторая аналогия с выбором неорганических вяжущих веществ в бетонах и растворах, свойства которых (удобноукладываемость, скорость твердения, прочность и стойкость) существенно зависят от свойств вяжущих.

В качестве связующих веществ в красочных составах используют:

- *олифы* (обработанные растительные масла),
- *полимеры* (синтетические смолы, синтетические каучуки, производные целлюлозы),
- *клеи* (животные, растительные, искусственные),
- *неорганические вяжущие вещества* (известь, цемент, жидкое стекло).

Для придания краскам требуемой рабочей (малярной) консистенции используют *растворители* и *разбавители*.

Образование лакокрасочной пленки («высыхание» связующего) происходит вследствие различных физико-химических процессов в зависимости от вида связующего.

### ***Связующие вещества.***

**Олифы** являются связующим веществом для приготовления масляных красочных составов. Применяют олифы натуральные, полунатуральные и искусственные.

**Натуральные олифы** получают путем обработки нагреванием до 150...200°C («варки») растительных «высыхающих» масел (льняного, конопляного и др.) при непрерывном перемешивании. В масло добавляют небольшое количество (2...4%) сиккативов (ускорителей отвердевания) – веществ, богатых кислородом (соль и оксиды марганца, кобальта и других металлов). Благодаря такой обработке олифа (жидкий продукт) сравнительно быстро (за 12...24 ч) высыхает (отвердевает) в тонком слое на воздухе, образуя эластичную необратимую пленку, нерастворимую в воде и маслах. Отвердевание олифы в тонких слоях на воздухе происходит вследствие окисления ее кислородом, сопровождаемого полимеризацией, поэтому термин «высыхание» олифы является условным. Масса и объем пленки несколько увеличиваются, что иногда (в толстом слое) может привести к отслоению пленки от основания.

Пленки натуральной олифы обладают высокой прочностью, эластичностью и стойкостью против атмосферных воздействий. Однако применение натуральной олифы в строительстве ограничено вследствие высокой стоимости и дефицитности растительных масел. Ее используют лишь для окраски кровель из листовой стали и металлических переплетов в зданиях I класса, мостов, металлических ворот шлюзов, а также для грунтовок металлических конструкций в системах водоснабжения (баки, водоразборные колонки и т.п.) и для приготовления замазки.

**Полунатуральные олифы** состоят наполовину из уплотненных растительных масел, разбавленных до требуемой вязкости легко испаряющимися растворителями. Уплотнения масел достигают их окислительной полимеризацией (оксидация) путем интенсивной продувки воздухом, подогретым до 130...150°C, масла с добавкой сиккативов или же бескислородной полимеризацией («варкой» масел в атмосфере нейтрального газа или в вакууме при температуре 280...300 °C). В зависимости от способа уплотнения получают оксидированные (оксоли) или полимеризованные олифы. Для производства таких олиф можно использовать не только высыхающие масла, но также и полувысыхающие (подсолнечное, касторовое).

Пленки из полунатуральных олиф отвердевают как вследствие испарения растворителя, так и в результате окисления кислородом воздуха. Такие пленки отличаются от пленок натуральной олифы меньшей толщиной, большей твердостью, менее сильным глянцем и большей водостойкостью. Однако долговечность пленок полунатуральных олиф значительно меньше, чем натуральных, так как они быстрее теряют эластичность вследствие испарения растворителей.

Полунатуральные олифы широко применяют в строительстве для всех видов малярных работ в зданиях и сооружениях I и II классов.

**Олифы искусственные**, или синтетические, в отличие от натуральной и полунатуральной не содержат растительных масел или содержат их не более 35%. Они являются, по существу, одним из видов полимерных связующих. Из

искусственных олиф в строительстве наибольшее распространение получили: олифа глифталева, состоящая из раствора полимера глифтала в органических растворителях с некоторым содержанием растительных масел; олифа синтоловая – раствор продуктов окисления керосина в органических растворителях. Пленки искусственных олиф в большинстве случаев недостаточно атмосферостойки. Применяют искусственные олифы в основном для внутренней окраски в зданиях III класса.

**Полимерные связующие** в красках и лаках применяют как самостоятельное связующее, а также в композициях с олифами и неорганическими вяжущими. Прежде в качестве полимерного связующего использовались природные смолы: копаллы, даммар, канифоль. В настоящее время в качестве полимерных связующих используют *синтетические смолы, синтетические каучуки и производные целлюлозы*, растворяемые до требуемой консистенции в органических растворителях.

**Разбавителями** называют жидкости, не растворяющие пленкообразующие вещества, а служащие только для уменьшения вязкости красочных составов, т. е. их добавляют для придания краске удобоносимости. Роль разбавителя выполняет олифа, добавляемая в густотертую масляную краску, или вода, вводимая в водоэмульсионные красочные составы.

#### 3.10.4. Красочные составы

В зависимости от используемых связующих красочные составы (краски), применяемые в строительстве, подразделяют на: масляные краски, лаки; краски, изготовленные на основе полимеров; краски на основе минеральных вяжущих веществ; клеевые краски; эмульсионные краски.

##### **Масляные краски.**

Масляные красочные составы получают при тщательном растирании в краскотерках пигментов с олифой. Масляные краски представляют собой однородные суспензии, в которых каждая частица пигмента окружена адсорбированным на ее поверхности связующим веществом – олифой. Промышленность вырабатывает масляные краски двух видов: густотертые и готовые к употреблению.

**Густотертые краски** – это пасты с минимальным содержанием олифы. Перед использованием их нужно разбавлять до малярной консистенции олифой.

**Готовые к употреблению** (жидкотертые) краски имеют вид жидкой массы и не нуждаются в разбавлении.

Диапазон применения масляных красок очень широк – наружная и внутренняя окраска по дереву, металлу, бетону и штукатурке. Нельзя наносить масляные краски на влажную поверхность. При выборе и применении масляных красок необходимо учитывать наряду с цветом потребность в олифе для густотертых красок, укрывистость и сроки высыхания пленки. Область применения масляных красок зависит от свойств пигмента и вида олифы.



### ***Краски на основе полимеров.***

На основе полимеров изготавливают лаки, летучесмоляные, эмульсионные и полимерцементные краски. Особое значение приобрели лаки и краски на основе кремнийорганических соединений (силиконов). Большинство из них отличаются высокой атмосферостойкостью и термической стойкостью (например, кремнийорганические огнеупорные лаки выдерживают температуру 450...500°C).

**Лаками** называют растворы смол (синтетических и природных) или битумов в летучих органических растворителях. При нанесении на поверхность тонкого слоя лака растворитель испаряется, лак высыхает, образуя твердую блестящую прозрачную пленку. В лакокрасочном покрытии лаковая пленка защищает красочные слои и придает окраске зеркальный блеск. Лаки обычно получают свое название от вида пленкообразующего вещества и реже от вида растворителя. В строительстве в основном используют приведенные ниже виды лаков.

**Смоляные лаки** – растворы синтетических смол (мочевинформальдегидной, полиэфирной, полихлорвиниловой и др.) в органических растворителях. Их используют для отделки паркетных полов и защиты древесины и других строительных материалов от коррозии.

**Масляно-смоляные лаки** – растворы синтетических смол, модифицированные высыхающими маслами. Применяют для покрытий по дереву.

**Битумные (асфальтовые) лаки** – растворы битумов в органических растворителях. Эти лаки дают водостойкие пленки черного цвета. Их применяют главным образом для антикоррозионной защиты стальных изделий, труб и других металлических деталей сантехнического оборудования. На солнце под влиянием ультрафиолетовых лучей свойства пленки быстро ухудшаются. При отрицательных температурах пленки битумных лаков становятся хрупкими. Для улучшения свойств таких лаков вводят высыхающие растительные масла.

**Спиртовые лаки и политуры** – растворы смол в спирте. Их применяют для полировки деревянных поверхностей и покрытия изделий из стекла и металла.

**Летуче-смоляные краски** представляют собой готовые к употреблению суспензии пигментов в лаках (летуче-смоляных составах). Образование красочной пленки происходит в результате испарения органического растворителя. При большом количестве связующего (смола) в красках покрытия получаются глянцевые. Эти краски называют эмалями. Эмалевые краски объединяют в себе свойства красок и лаков. Из широкого ассортимента летуче-смоляных красок, выпускаемых промышленностью, в строительстве наиболее часто применяют перхлорвиниловые, эфирно-целлюлозные (нитролаки и эмали), хлоркаучуковые, алкидные, эпоксидные и карбамидные.

Летуче-смоляные краски высыхают значительно быстрее масляных (в течение 2...8 ч), водостойки, некоторые из них обладают высокой атмосферостойкостью (например, перхлорвиниловые фасадные краски), коррозионной стойкостью (например, эпоксидные и хлоркаучуковые краски). Летуче-смоляные

краски дешевле масляных. Их широко применяют для наружной и внутренней окраски по штукатурке, бетону, дереву и металлу в зданиях II и III классов.

Недостатком всех летуче-смоляных красок является то, что органический растворитель – ценный продукт при высыхании безвозвратно теряется. Некоторые растворители токсичны.

**Эмульсионные (латексные) краски** представляют собой пигментированные эмульсии или дисперсии полимера в воде. В их состав входят также эмульгаторы и некоторые вещества, улучшающие свойства красок. Эмульсионные краски выпускают в виде жидкой пасты, которую на месте работ разводят до малярной консистенции мягкой водой (жесткая вода может вызвать свертывание краски, что делает ее непригодной к употреблению). Эмульсионными красками окрашивают плотные, а также сильно пористые и влажные поверхности. Образование пленки происходит вследствие распада эмульсии при удалении воды, которая частично испаряется, а частично поглощается основанием. Образовавшаяся пленка обладает некоторой пористостью и благодаря этому является воздухо- и паропроницаемой. Влага постепенно испаряется через красочное покрытие, а его сцепление с основанием не ослабевает. Эти краски дают гладкие матовые покрытия, обладающие большой механической прочностью, свето- и водостойкостью.

В строительстве наиболее часто применяют поливинилацетатные, бутадиенстирольные и полиметилакрилатные (акрилатные) эмульсионные краски. Поливинилацетатные и бутадиенстирольные краски используют для внутренней окраски по дереву и штукатурке. Акрилатные краски, обладающие повышенной атмосферостойкостью, можно применять для окраски фасадов зданий.

**Полимерцементные краски** изготавливают смешиванием водных смоляных эмульсий с белым цементом, щелочестойкими пигментами и наполнителем. Образование пленки в полимерцементных красках происходит в результате распада смоляной эмульсии при испарении воды и реакций гидратации портландцемента. Такие краски хорошо сцепляются с бетонными поверхностями и штукатуркой. Применяют полимерцементные краски для отделки фасадов бетонных, кирпичных и оштукатуренных зданий, а также для заводской отделки крупных блоков и панелей.

### 3.11. Смазочные материалы

#### 3.11.1. Общие сведения

Целью смазывания зон трения является обеспечение преимущественно жидкостного трения, при котором потери на трение малы, а износ деталей практически отсутствует.

**Смазочный материал** – материал, вводимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания. Смазочные материалы должны обладать:

– строго заданными свойствами, которые определяются величинами удельной и полной нагрузок в зоне трения; максимальной, средней и объемной температурой в зоне контакта;

– кинематикой движения в зоне трения (качение, скольжение, смешанное). При этом должны учитываться природа материалов обоих деталей трения, характеристики волнистости и шероховатости поверхностей в зоне трения, свойства окружающей среды и др.

К основным показателям качества и работоспособности смазочных материалов относятся *вязкость* и *вязкостно-температурные свойства*, *стойкость к окислению* и *коррозионная стойкость*, *зольность*, *температуры застывания*, *вспышки* и *воспламенения*, *коксуемость*, *антипенные свойства*, *плотность*, *цвет* и др.

**Вязкость жидкого смазочного материала** – внутреннее трение, возникающее между его молекулами и слоями при их относительном перемещении под действием внешней силы. Различают *динамическую*, *кинематическую* и *условную вязкость*. Зависимость вязкости от температуры принято характеризовать отношением значений кинематической вязкости при 50 °С и при 100°С. Чем меньше это отношение, тем выше вязкостно-температурные свойства масла.

**Коксуемость масла** – это способность масла под влиянием высоких температур разлагаться с образованием твердых осадков (кокса).

По агрегатному состоянию смазочные материалы могут быть *жидкими*, *пластичными*, *твердыми* и *газообразными*. Наибольшее распространение получили жидкие смазочные (масла) и пластичные смазочные (смазки) материалы.

### 3.11.2. Смазочные масла

Смазочные масла как конструкционный материал узла трения выполняют следующие функции:

- 1) уменьшают трение, возникающее между сопряженными деталями;
- 2) снижают износ и предотвращают задиры трущихся поверхностей;
- 3) отводят тепло от трущихся поверхностей;
- 4) защищают поверхности трущихся деталей и другие неизолированные части от коррозионного воздействия окружающей среды;
- 5) уплотняют зазоры между сопряженными деталями;
- 6) удаляют из зоны трения продукты износа, коррозии и прочие загрязнения.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации используемое масло должно надежно выполнять две-три основные функции. По происхождению (способу получения) выделяют *нефтяные*, *синтетические* и *растительные* масла. В наибольших масштабах используются нефтяные масла, получаемые путем переработки нефтяного сырья. Синтетические масла, получаемые на основе углеводородного или других видов сырья, чаще используются в смеси с нефтяными маслами – полу *синтетические* масла.

В состав товарных масел часто входят кроме *основного компонента* (нефтяного, синтетического масла или их смеси) *специальные присадки* и *твердые антифрикционные добавки*.

В качестве присадок используются органические соединения в количестве до 30 %, улучшающие те или иные свойства (антиокислительные, моюще-диспергирующие, вязкостные, антифрикционные, противоизносные, депрессорные, противопенные и др.).

В качестве твердых антифрикционных добавок (0,5...3,0 %) используются графит, дисульфид молибдена, нитрид бора, некоторые селениды, сульфиды и иодиды металлов, а также высокодисперсные порошки металлов и их оксиды. Целью введения твердых добавок является повышение смазочной способности масел и их стабильности к окислению. Преимуществом использования твердых добавок является и то, что их действие проявляется как при низких, так и при высоких температурах.

Основными потребительскими свойствами смазочных масел являются: *подвижность, индекс вязкости, стабильность к окислению, испаряемость, воспламеняемость, приемистость к присадкам, смазочная способность, совместимость с нефтяными основами, совместимость с уплотнительными материалами.*

**Индекс вязкости (ИВ)** – степень изменения вязкости масла от температуры. Чем выше его значение, тем лучше масло.

По назначению выделяют следующие основные группы масел: *моторные, промышленные, трансмиссионные, турбинные, компрессорные, гидравлические, консервационные, для технологических операций и специального назначения.*

К группе моторных масел относятся масла для смазывания карбюраторных, дизельных и авиационных поршневых двигателей, а также универсальные.

Промышленные масла делят на четыре группы:

- 1) для гидравлических систем;
- 2) для направляющих скольжения;
- 3) для зубчатых передач;
- 4) для шпинделей, подшипников и сопряженных с ними соединений.

Специфическими потребительскими свойствами промышленных масел являются: индекс задира, нагрузка сваривания, показатель износа и противоскачковые свойства.

Трансмиссионные масла предназначены для смазывания различного рода механических и гидравлических трансмиссий. Условия работы масел определяются конструкцией агрегата трансмиссий (цилиндрический, конический, спирально-конический и др.).

Обозначения моторных, трансмиссионных и гидравлических масел установлены ГОСТ 17479.1–85, ГОСТ 17479.2–85 и ГОСТ 17479.3–85.

Компрессорные масла, применяемые в воздушных, газовых, холодильных компрессорах, воздуходувках и вакуумных насосах разного типа и назначения делятся на три основные группы: *для воздушных и газовых компрессоров; для холодильных компрессоров; для вакуумных насосов.*

Потребительские требования к маслам для воздушных и газовых компрессоров определяются температурой сжимаемости газа, давлением сжатия и чистотой газа. Компрессорное масло должно обладать термической и термоокси-

дационной стабильностью, отсутствием склонности к коксообразованию и температурой вспышки на 50 °С выше самой высокой рабочей температуры. В масле не должно быть летучих компонентов, а масляный туман должен сразу оседать на стенках цилиндров, в противном случае может произойти взрыв паров масла. Компрессорное масло для холодильных компрессоров должно противостоять агрессивности хладагента, температура его застывания должна быть ниже минимальной рабочей температуры.

**Консервационные масла** применяются для защиты от коррозии и изнашивания металлоизделий, конструкционных материалов, запасных частей, инструментов, аппаратуры и др. Эти масла образуют на поверхности тонкую масляную пленку, защищающую поверхность от внешней среды, а также являются смазочным материалом при переходе от консервации к эксплуатации. Консервационные масла, как правило, не совместимы с ходовыми, и перед запуском законсервированного устройства консервационное масло должно быть заменено или в него добавлено ходовое масло.

**Масла для технологических операций** – это смазочный материал, исполняющий роль вспомогательного средства в различных технологических процессах: обработка резанием, пластическая и тепловая обработка, для литейных форм, керамических изделий, для производства бетонных изделий и др.

**Специальные масла** – это такие виды масел, которые по своим свойствам приспособлены к выполнению особых определенных функций и практически не применяются в обычных условиях смазки. К этой группе относятся пропиточные масла и масляные растворители, масло для цепей туннельных печей, масло для герметизации скважин, масляные теплоносители и др. Специальное масло получают путем введения в минеральное или синтетическое основное масло специальных присадок. По специфике эксплуатации различают рабочие, консервационные и консервационно-рабочие масла.

По условиям применения масла могут быть *летние, зимние, всесезонные*, а также для применения в регионах с особыми климатическими условиями, например, *северные* (арктические).

### 3.11.3. Пластичные смазки

Основная задача пластичных смазок – снижение коэффициента трения. Меньшее применение имеют пластичные защитные смазки, наносимые на поверхность для защиты от коррозии и для герметизации. Все пластические смазки должны отличаться высокой прилипаемостью к смазываемой поверхности.

**Основным компонентом** пластичных смазок является минеральное или синтетическое масло различной вязкости. В качестве загустителя используются консистентные углеводороды, а также мыла различных металлов и жирных кислот.

Загуститель образует с маслом пространственный скелет, в ячейках сетки которого закреплено масло. Перемещение масла ограничено перегородками скелета. Пространственный скелет обычно построен из кристаллических агрегатов с волокнистой нитевидной или шаровидной структурами. Между молекулами в агрегатах и самими агрегатами осуществляется ван-дер-ваальсово взаи-

модействие. Форма агрегатов и особенно форма волокон и их размещение в пространственной структуре определяют механические свойства смазки; так, например, пластичная смазка имеет предел текучести.

Пластичные смазки не деформируются под действием силы тяжести, а под действием сдвигающих сил после преодоления предела текучести текут как жидкости. Восстановление пространственной структуры и связанные с этим реологические свойства называются **тиксотропными свойствами**.

Свойства пластичных смазок оценивают так же, как и свойства других смазочных материалов. Дополнительно (из-за специфики их структуры) определяются коэффициент тиксотропии, предел текучести, температура каплепадения и др., среди которых, например, микробиологическая

стойкость, так как некоторые компоненты пластичных смазок могут быть пищей для бактерий, развитие которых приводит к частичному разрушению или изменению пространственной структуры смазки.

Пластичные смазки классифицируются: по основному компоненту (маслу,), по виду загустителя, по назначению (для подшипников качения, скольжения, для передач; канатная смазка, уплотнительная смазка, смазка для газовых кранов, насосная смазка, вакуумная смазка и др.) и по особым свойствам (термостойкие, негорючие, стойкие к высокому давлению и др.).

Наибольшее распространение получили кальциевые смазки (солидол), изготавливающиеся из натуральных животных и растительных жиров или жирных синтетических кислот. В качестве загустителей применяется гидроксид кальция в порошковом виде (сухогашеная известь) или в виде водной взвеси (известковое молоко). Солидол выпускается разной консистенции, что определяют вязкость масла и количество загустителя.

#### 3.11.4. Твердые смазочные материалы

Во многих специфических случаях в узлах трения могут применяться только **твердые смазочные материалы**. К таким случаям относятся, например, следующие условия работы узлов трения: эксплуатация ниже температур застывания масел и смазок; эксплуатация при высоких температурах, при которых смазки разлагаются и испаряются; недопустимость присутствия жидкости; невозможность периодического подвода смазочного материала к поверхностям трения и др.

Природные и искусственные твердые смазочные материалы можно разделить на две группы:

– **неорганические** – слоистые (графит, дихалькогениды переходных металлов, нитрид бора и др.); не слоистые (хлориды, фториды и иодиды металлов, оксиды и др.); мягкие металлы и их сплавы (Pb, Sn, Cd и др.);

– **органические** – полимерные материалы (политетрафторэтилен, полиамиды и др.).

Твердые смазочные материалы применяются в виде покрытий конструкционных материалов и антифрикционных наполнителей в композитах.

Основными требованиями к твердым смазочным покрытиям являются: низкое сопротивление срезу; высокая адгезия материала покрытия к подложке;

возможно меньшая толщина слоя покрытия; высокое сопротивление изнашиванию; отсутствие коррозионного воздействия на металлы; высокая температурная стойкость. Перечисленные требования существенно зависят как от природы твердого смазочного покрытия, так и от способа их нанесения на деталь.

Способы нанесения покрытий могут быть разделены по следующим группам: механические (натираание, галтовка и др.); со связующим веществом (окунаание, нанесение кистью, распыление и др.); химико-термические и физические (плазменный, детонационный и др.).

### **3.11.5. Смазочно-охлаждающие жидкости**

**Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ)** – сложные многокомпонентные (в среднем 8...10 составляющих) соединения продуктов нефтехимического и химического производства. Они обладают рядом свойств, обеспечивающих при вводе их в зону резания повышение стойкости инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности, уменьшение сил резания и способствующих удалению стружки.

В основе действия СОЖ на процесс резания лежат три эффекта: смазочный, охлаждающий и моющий.

Применение СОЖ не всегда дает положительный результат. Так, химически активные вещества при резании быстрорежущим инструментом во многих случаях понижают стойкость инструмента вследствие увеличения абразивно-химического износа, а также уменьшения защитного действия нароста на контактных поверхностях. Особенно значительно проявление отрицательного влияния СОЖ на стойкость при малых скоростях резания. В промышленности применяются два основных вида СОЖ: *масляные* и *водорастворимые*.

**Масляные СОЖ** состоят из минерального масла (60...95 %) и различных присадок: антифрикционных, антизадирных, антипенных и антигуманных ингибиторов коррозии. Масляные СОЖ (сульфо-фрезол, МР-1, ОСМ-3) обладают наиболее высоким смазочным действием и применяются в основном при обработке быстрорежущим инструментом на низкой скорости резания и когда необходимо снизить шероховатость обработанной поверхности.

**Водорастворимые СОЖ** (эмульсолы) содержат 70...85 % минерального масла и 30... 15 % эмульгаторов вместе с различными присадками. Из эмульсолов (Э-1, -2, -3, ЭТ-2 и др.) приготавливают водные эмульсии (обычно 1...10 % эмульсола). Водные охлаждающие эмульсии благодаря смазочному и высокому охлаждающему действию получили наиболее широкое применение.

### **3.11.6. Рабочие жидкости и смазочные материалы очистных машин горных предприятий**

**Рабочие жидкости.** В гидросистемах механизированных крепей, очистных комплексов шахт, гидромуфтах, передвижниках забойных конвейеров в качестве рабочей жидкости применяют негорючие водные эмульсии. В состав водной эмульсии входят вода и противокоррозионная присадка (эмульсия) в количестве 1,5...3 % от массы воды.

В качестве противокоррозионных присадок применяют ВНИИ НП-117 (1,5...2 %) или эмульсол Аквол-3 (3 %), представляющие собой экстракты селективной очистки масла с добавлением противокоррозионных, эмульсирующих, противозадирных и поверхностно-активных веществ.

Присадка ВНИИ НП-117 имеет вид густой черно-коричневой жидкости с температурой застывания  $-5^{\circ}\text{C}$ , в связи с чем хранение и эксплуатация эмульсии при минусовых температурах запрещаются. Присадка, применяемая для приготовления эмульсии, должна иметь паспорт или сертификат завода-изготовителя и поставляться потребителю в соответствующей таре. Гарантийный срок хранения присадок: ВНИИ НП-117 – 1,5 года, Аквол-3 – 6 мес.

Готовят, транспортируют и хранят эмульсию в соответствии со специальной инструкцией.

Готовится эмульсия путем перемешивания. Присадка (эмульсол) смешивается с питьевой водой, отвечающей определенным требованиям. Вначале из воды (подогретой до  $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ ) и присадки готовится 10–25 %-ный концентрат, который тщательно перемешивается до получения однородной смеси.

В концентрат добавляется подогретая до  $15\text{--}25^{\circ}\text{C}$  вода в таких объемах, чтобы содержание присадки ВНИИ НП-117 составляло 1,5...2%, Аквол-3 – 3 %. Затем весь объем смеси тщательно перемешивается (10...15 раз) с помощью насоса любого типа с подачей  $0,5\text{--}1,66\cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с. Более качественно и быстро эмульсию готовят с помощью специальных ультразвуковых установок.

Правильно приготовленная эмульсия представляет собой однородную жидкость молочного цвета без явно выраженного запаха, видимых сгустков, расслоений, загрязнений. Основные сведения, об эмульсии должны быть занесены лицом, ее приготовившим, в специальный журнал. Там же должны находиться паспорта (сертификаты) присадки и справки с результатами химических анализов воды, присадки и эмульсии. Анализ воды, эмульсии выполняют в шахтной или другой химической лаборатории.

Эмульсию готовят в специально оборудованном помещении с хорошей вентиляцией. Рабочий, занятый приготовлением эмульсии, должен пользоваться прорезиненными фартуком, рукавицами, иметь защитные очки и соблюдать меры личной гигиены.

Качество эмульсии необходимо проверять периодически во время работы крепи (не реже одного раза в месяц), так как при эксплуатации может произойти обеднение рабочей жидкости из-за оседания присадки на стенках гидроаппаратуры крепи, а также загрязнение рабочей жидкости.

Не рекомендуется в гидросистему одной и той же крепи заливать рабочую жидкость с разными присадками, так как это может привести к образованию сгустков и засорению гидросистемы крепи.

**Смазочные материалы.** Для смазки очистных машин применяются жидкие минеральные масла и консистентные смазки. В гидросистемах жидкие смазочные масла являются одновременно и рабочей жидкостью.

В жидкие минеральные масла добавляется противокоррозионная присадка КП2 (ГОСТ 23639–79) в количестве 10 % к маслу ТАП 15В и 5 % к маслам И20А и И40А. Виды смазок, применяемых в серийных очистив машинах, приведены в табл. 3.11



Жидкие масла доставляются в шахту в бочках или в специально подготовленных емкостях. Консистентные смазки поступают в заводской таре или в мелкой расфасовке в полиэтиленовых пакетах.

Таблица 3.11

**Смазки, применяемые в серийных очистных машинах**

Смазка, масла	Стандарт, технические условия	Комбайн, конвейер	Места смазки
Индустриальное общего назначения 20А (И20А)	ГОСТ 20799–75	К103; КА80; МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68	В гидросистемах подъема и опускания исполнительных органов
Индустриальное общего назначения 40А (И40А)	ГОСТ 20799–75	МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1К1У; 1ГШ68	В гидросистемах механизмов подачи
Шахтол	ТУ 38, УССР 2–01.359–81	КЮ3; КА80; МК67М; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КТУ; 1ГШ68 СП202; СП202ВШ; СПМ87; СП87П	В редукторах машин
Универсальная, среднеплавкая, синтетическая УСс (солидол синтетический)	ГОСТ 4366–76	МК67М; 1К101У; 2К52МУ; СП202; СП87П; СПМ87	В подшипниках тяговых звездочек, механизмах управления, натяжных устройствах
Универсальная, тугоплавкая, водостойкая УТВ (смазка 1-13 жировая)	ОСТ 38.01.145–80	К103; 1К101У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68	В цапфах поворотных редукторов, в механизмах управления
ЦИАТИМ203	ГОСТ 8773–73	1КЮ1У; 2К52МУ; КШ1КГУ; 1ГШ68; СП202; СП202В1М; СП87П; СПМ87	В подшипниках двигателей, валов, в лабиринтах звездочек

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ржевская С.В. Материаловедение Учебник, изд. 4-е. – М.: Логос, 2004. – 413 с.
2. Домокеев А.Г. Строительные материалы. Учебник для строительных вузов, 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 495 с., ил.
3. Воробьев В.А., Комар А.Г., Строительные материалы. М.: Стройиздат, 1976.– 479 с.
4. Казаков С.С., Элькин И.Л. Справочник машиниста углендобывающих комплексов. – К.: Техника, 1989.– 165 с.
5. Гаевик Д. Т. Справочник смазчика. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с: ил.
6. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. – М.: Металлургия, 1983. – 384 с.
7. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с: ил.
8. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.
9. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1988. – 527 с: ил.
10. Композиционные материалы: Справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. / Под общ. ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с: ил.
11. Лахтин Ю.М. Леонтьева В.П. Материаловедение : Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1990. – 528 с.
12. Лившиц Л.С. Материаловедение для сварщиков (сварка сталей). – М.: Машиностроение, 1979. – 253 с: ил.
13. Материаловедение: Учеб. для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. / Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 648 с: ил.
14. Материаловедение и технология металлов: Учеб. для вузов / Г.П. Фетисов, М.Г. Карпман, В.М. Матюнин и др. / Под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высшая школа, 2000. – 638 с: ил.
15. Научные основы материаловедения / Б.Н. Арзамасов, А.И. Крашенинников, Ж.П. Пастухова, А.Г. Рахштадт. – Учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. –366 с: ил.
16. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: Учеб. пособ. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с: ил.
17. Справочник по триботехнике: В 3 т. / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с: ил.
18. Шубина Н.Е. Материаловедение в горном машиностроении: Учеб. пособ. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – 272 с.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

## А

Авиаль 99  
Алюминий 94  
Ангидрит 130  
Андезит 127  
Анизотропия 13  
Анодное покрытие 119  
Антисептирующие пасты 198  
Антифрикционность 102  
Асбестовый картон 210  
Асфальтополимербетон 216  
Атмосферостойкость 34

## Б

Баббиты 103  
Базальт 127  
Белила 236  
Бентониты 136  
Бетон 154, 159, 182  
    водонепроницаемый 183  
    легкий 173  
    тяжелый 169  
Бетониты 142  
Биметалл 94  
Битум 214  
Блюм 112  
Бризол 219  
Бронзографит 108  
Бронзы 90

## В

Вата минеральная 208  
Влажность древесины 204  
Водонепроницаемость 158, 180  
Водопоглощение 22, 158  
Водопотребность 152  
Водостойкость 34  
Водоцементное отношение 160  
Воздушная усадка глин 137  
Волочение 113  
Вулканизация 227  
Выносливость 37  
Вяжущие  
    воздушные 143  
    гидравлические 143  
    силикатные 181  
Вязкость 25

## Г

Габбро 127  
Гигроскопичность 22, 194  
Гидротация 151  
Гидрофильность 22  
Гидрофобность 22  
Гипс 130  
Глина 130  
Глинозем 189  
Гомогенизация 101  
Гравий 134, 165, 175  
Гранит 126  
Графит 236  
Грибные поражения 197

## Д

Дегтебетон 216  
Дегти 214  
Дендриты 104  
Диабаз 127  
Диорит 127  
Дисперсность 14  
Дисперсные системы 15  
Долговечность 34  
Доломит 130  
Домен 28  
Дуралюмины 99

## Ж

Жаропрочность 38  
Жаростойкость 35  
Железо 41  
Железобетон 175, 184  
Железографит 108  
Жесткость 24  
Жесть 56  
Живучесть 37

## З

Закаливаемость 48  
Заполнители 154  
Звукопоглощение 22  
Звукопроницаемость 23

## И

Известняк 130  
Известь 147  
Инвар 70  
Ингибиторы 120

Индекс вязкости 244

Истираемость 38

## К

Кальцит 130

Камбий 194

Каолины 130, 135

Катодное покрытие 119

Каучук 227

Кварц 125, 129

Кварциты 133

Керамзит 141, 174

Кирпич 138, 142, 186

Ковка 113

Коллоидные системы 16

Композиты 11

Коробление 50, 194

Коррозия 117

Коэффициент размягчения 34

Красностойкость 36

Кремнезем 189

Кремнеземистые огнеупоры 141

Кремний 44

Кристаллы 13, 16

## Л

Лазурь малярная 237

Лаки 241

Лакокрасочные покрытия 120

Латекс 227

Латуни 88

Легковесные огнеупоры 141

Литопон 236

## М

Магнезит 130, 141

Магнетизм 28

Магний 100

Магнитодиэлектрики 30

Макроструктура 193

Марганец 44

Мартенсит стали 47

Мастики 219

Материалы

битумные 213

гидроизоляционные 217

звукоизоляционные 211

качество 10

кровельные 217

лакокрасочные 233

магнитные 30

магнитомягкие 31

магнитотвердые 31

металлические порошковые 106

немагнитные 30

обмазочные 219

огнеупорные 141

покровные 217

теплоизоляционные 206

фрикционные 108

Мел 130, 236

Мергель 131

Металлизация 120

Металлический профиль 56

Металлы 11, 40, 76

тугоплавкие 83

цветные 41

черные 40

Метизное производство 56

Микроструктура 170

Минераловатные плиты 213

Минеральный войлок 208

Молибденирование 84

Морозостойкость 35, 158

Мраморы 133

## Н

Набрызгбетон 183

Надежность 33

Наполнители 219

Неметаллы 11

Ниобий 83

## О

Обаполы 205

Обработка металлов 50, 111

Огневая усадка глин 137

Огнестойкость 34

Огнеупорность 36, 138

Огнеупоры 36

Оксидирование 102, 119

Олифы 239

Олово 103

Ондулин 219

Охра 236

## П

Пайка 105

Парамагнетики 29

Патина 86

Пек 215

Перекись марганца 236

Пермаллой 72

Песок 134, 164

Пигменты 234  
Пиломатериалы 202  
Плазма 16  
Плакирование 99, 120  
Пластификаторы 225, 167  
Пластические смазки 246  
Пластичность 24, 136  
Пластмассы 220  
Пластобетон 226  
Плотность 17, 194  
Подтоварник 204  
Полевые шпаты 125  
Ползучесть 36  
Поливинилацетат 223  
Поливинилхлорид 223  
Поликристаллы 13  
Полимеры 221  
Пористость 18, 194  
Пороки древесины 196, 204  
Портландцемент 150, 179  
    гидрофобный 180  
    пластифицированный 180  
    пуццолановый 180  
    расширяющийся 153  
    сульфатостойкий 179  
    фактическая прочность 152  
    шлакопортландцемент 180  
Порфиры 127  
Припой 105  
Прокаливаемость 48  
Прокат 55  
Прочность  
    длительная 38  
    древесины 195, 204  
    механическая 24  
    портландцемента 152  
    предел 25

## Р

Радиационная стойкость 34  
Разбавители 240  
Раскряжевка 201  
Распил 205  
Раствор  
    акустический 179  
    истинный 15  
    отделочный 178  
    специальный 177  
    строительный 176  
Растворимость 15  
Растворитель 15  
Редоксайд 238

Резина 227  
Релаксация напряжений 36  
Рубероид 218  
Рудничные стойки 204

## С

Сажа 238  
Свариваемость 32  
Сварка 114  
Светостойкость 34  
Свойства  
    литейные 32  
    магнитные 28  
    материала 9  
    механические 23  
    потребительские 33  
    технологические 32  
    физические 17  
    электрические 26  
Связность 137  
Связующая способность 137  
Сердцевина 193  
Сиенит 127  
Силумин 98  
Ситаллы 192  
Сляб 112  
Смазочные материалы 243, 249  
Сорбит 46  
Сортамент 204  
Спекание 106  
Сплавы  
    алюминиевые 95  
    антифрикционные 99, 102  
    железоуглеродистые 42  
    магниевые 100  
    прецизионные 69  
    твердые 67  
    титановые 80  
Сталь 42  
    автоматная 65  
    закалка 48  
    износостойкая 64  
    инструментальные 57  
    литейная 66  
    магнитно-мягкая 71  
    отжиг 47  
    отпуск 49  
    парамагнитная 72  
    пружинная 65  
    старение 72  
    углеродистая 54  
Стекло 188

Стеклопластики 225  
Суперпластификатор 168

## **Т**

Твердость 25  
Теплопроводность 20, 190, 206  
Теплостойкость 36  
Термическое старение 73  
Термостойкость 35  
Тес 202  
Тиурам 230  
Толь 218  
Томпак 89  
Торкретбетон 183  
Троостит 46  
Трубы керамические 140

## **У**

Углепласт 226  
Удобоукладываемость 154, 181  
Умбра 236  
Упругость 24  
Усталость 37  
Усушка древесины 194

## **Ф**

Ферромагнетики 29  
Фибролит 211  
Флокены 46  
Фольгоизол 100  
Фольгорубероид 100  
Фосфатирование 120  
Фосфор 45

## **Х**

Химическая стойкость 34, 190  
Химические осадки 129  
Хладостойкость 36  
Хрупкость 24, 190

## **Ц**

Цемент  
водонепроницаемый 153  
безусадочный 153, 181  
расширяющийся 153  
глиноземистый 180  
расширяющийся 180

## **Ч**

Черепица  
гибкая (мягкая) 219  
глиняная 139  
Чугуны 75

## **Ш**

Шлаковая пемза 175  
Штамповка 113

## **Щ**

Щебень 134, 165

## **Э**

Эластичность 24  
Электропроводность 26

Навчальне видання

**Бузило** Володимир Іванович  
**Овчинніков** Микола Павлович  
**Сердюк** Володимир Петрович  
**Долгий** Олександр Анатолійович

## **МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО**

Навчальний посібник

(Російською мовою)

Друкується в редакційній обробці авторів.

Підп. до друку 04.09.2013. Формат 30 x 42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 14,3.  
Обл.-вид. арк.14,3.Тираж 100 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.