

С.В.Максимов, П.Г.Комохов, В.Б.Зверев

МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Допущено Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебного
пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению «Строительство»

Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2000

УДК 691 : 624. 012. 3 : 614.876(075)
ББК 38. 3я73 М17

Рецензенты: кафедра производство строительных конструкций Саратовского государственного технического университета (зав. кафедрой доктор технических наук, профессор Иващенко Ю.Г.), зав. кафедрой строительных материалов, доктор технических наук, профессор БГТА Лесовик В.С.

Материалы для конструирования защитных покрытий.
М17 Учеб. пособие/ С.В.Максимов., П.Г.Комохов, В.Б. Зверев;
под редакцией С.В.Максимова. Москва: Изд-во АСВ, 2000. -
180с.
ISBN 5-93093-069-4

Представлены научные подходы к структуре, свойствам строительных материалов. Дана классификация строительных материалов, определены их основные защитные свойства; показаны новые представления теории и практики управления теплофизическими свойствами, плотностью изделий и покрытий. Рассмотрены природные и искусственные строительные материалы, защитные покрытия на их основе, нормативные требования, направления повышения их термических и акустических свойств, долговечности, водостойкости.

УДК 691 : 624. 012. 3 :
614.876(075) ББК 38. 3я73

ISBN 5-93093-069-4

© Максимов С.В., Комохов П.Г.,
Зверев В.Б., 2000

© Оформление: УлГТУ, 2000

© Изд-во АСВ, 2000

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	6
Раздел первый. Научные основы защитных покрытий	7
Глава 1. Начальные сведения о материалах	7
1.1. Некоторые исходные понятия	7
1.2. Классификация материалов защитных покрытий	8
1.3. Структура строительных материалов	10
1.4. Структурная механика, её составные части	15
1.5. Долговечность изделий и сооружений	20
Глава 2. Свойства защитных покрытий	26
2.1. Понятия о механических, физических, химических, архи- тектурно-художественных свойствах материалов	26
2.2. Основные структурно-механические и энергетические принципы, демпфирование элементов структуры материала	34
2.3. Дефекты в структуре цементных и керамических материалов, теоретические концепции их прочности	39
2.4. Основные понятия о теплопередаче, состояние теории теп- лофизики строительных материалов	42
2.5. Теоретические принципы формирования оптимальной пористой структуры теплоизоляционных материалов.....	49
Раздел второй. Строительные материалы и их применение в защитных покрытиях	54
Глава 3. Природные строительные материалы	54
3.1. Лесные породы	54
3.2. Пороодообразующие минералы	66
3.3. Горные породы	73
3.4. Распространенность элементов в земной коре	87
Глава 4. Искусственные строительные материалы	92
4.1. Технология	92
4.2. Неорганические вяжущие и материалы	95
4.3. Растворы и бетоны на основе неорганических вяжущих ве- ществ	10
7	
4.4. Керамические материалы и изделия	112
4.5. Стекланные и другие плавленые материалы и изделия	116
4.6. Органические вяжущие вещества и материалы	128

Раздел третий. Устройство защитных покрытий	136
Глава 5. Защитные покрытия на основе природных и искусствен ных материалов	13
6	
5.1. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия .	136
5.2. Отделочные защитные материалы	144
5.3. Полимерные строительные материалы и изделия	149
5.4. Гидроизоляционные материалы	157
Глава 6. Классификация защитных покрытий, нормативные тре- 162 бования, направления совершенствования	
6.1. Назначение, классификация защитных покрытий.....	162
6.2. Нормативные требования при устройстве защитных покры тий	16
4	
6.3. Теплоизоляционные, отделочные и специальные покры тия	16
5	
6.4. Водоизоляционные покрытия	168
6.5. Развитие теории и практики защитных покрытий	170
Список литературы	180

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие «Материалы и конструирование защитных покрытий» предназначено для студентов строительных специальностей вузов.

Многочисленность и разноплановость разделов курсов строительных материалов не дает возможности их полного углубленного освоения. Выделение и детальное рассмотрение отдельных разделов на основе передовых достижений науки и техники позволяет ознакомить студентов с многообразием проблем их развития. Одновременно прививаются навыки самостоятельного нахождения путей решения возникающих трудностей как производства строительных материалов, так и их эксплуатации. Это особенно важно при работе по многоуровневой системе обучения. После изучения основ строительных материалов по программе бакалавров, второй уровень, соответствующий подготовке магистров, предусматривает именно такое направление.

Инженеры-строители, проектировщики и производственники должны учитывать разрушение строительных материалов при проектировании конструкций зданий и сооружений. Их сохранность позволяет не только уменьшить объемы природоразрушительных работ по разработке новых карьеров, сократить значительные энергетические, трудовые затраты на строительство новых зданий, но и создает лучшую среду обитания человеку, в которой уменьшены вредные воздействия, сопровождающие разрушения и ремонт строительных сооружений. Особо важной проблемой является снижение теплопотерь зданий и сооружений.

Защитные покрытия на основе строительных материалов представлены не только как сумма расширяющихся знаний о каждом материале, но и как комплекс общих положений, принципов, законов, понятий о материалах как в конкретной, так и абстрактно-логической формах.

В учебном пособии использованы результаты исследований, выполненные П.Г.Комоховым, И.А.Рыбьевым, А.П.Пожниным, В.В.Прокофьевой, С.В.Максимовым, Л.А.Полонским, Б.А.Григорьевым, В.Б. Зверевым.

Предисловие, введение написаны С.В. Максимовым. Первая, вторая и шестая главы написаны П.Г. Комоховым и С.В. Максимовым. Третья, четвертая и пятая главы написаны С.В. Максимовым и В.Б. Зверевым.

Авторы выражают глубокую благодарность коллективу кафедры производство строительных конструкций Саратовского государственного технического университета, руководимому д-ром техн. наук, профессором Иващенко Ю.Г., и зав. кафедрой строительных материалов, д-ру техн. наук, профессору Белгородской государственной технологической академии Лесовику В.С. за ценные замечания, сделанные ими при рецензировании рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс в строительстве существенным образом зависит от уровня развития предприятий промышленности строительных материалов, от их оснащённости современной технологией, позволяющей чутко реагировать на возрастающие требования строительного производства, среди которых долговечность сооружений, изделий и материалов занимает ведущее место.

Изменение свойств материалов во времени носит необратимый характер и зависит от эксплуатационных нагрузок и взаимодействия со средой. Воздействия агрессивной среды приводят к существенным изменениям деформационно-прочностных свойств материалов. Актуальность проблемы перспективного развития защитных покрытий потребовала обосновать ряд научных положений по выдвижению теплопроводности как целевой установки. Создание и применение новых видов теплоизоляционных материалов, совершенствование тепловой изоляции ограждающих конструкций неизбежно приводят к сокращению расхода топлива на отопление зданий и повышению комфорта в помещениях. Применение эффективных акустических материалов, близких по своей структуре и методам получения к теплоизоляционным материалам, повышает культуру строительства, комфортность жизненных условий. Совершенствование технологий гидроизоляционных и огнеупорных материалов увеличивает эксплуатационные свойства конструкций и продолжительность их применения.

Представлены современные концепции прочности и деформативности материалов, действия добавок и демпфирующих компонентов в структуре строительных материалов.

Настоящее учебное пособие призвано ознакомить студентов строительных специальностей высших учебных заведений с наукой о строительных материалах, их тепло, звуке, гидро и огнезащитных свойствах.

Предлагаемое учебное пособие «Материалы для конструирования защитных покрытий» разделено на три самостоятельных и взаимосвязанных раздела. Первый раздел посвящён изложению основных теоретических положений науки о строительных материалах, принципах и закономерностях, действующих в этой науке, качественных характеристиках, методах определения качества материалов и их эффективности и других вопросах, относящихся ко всем материалам и изделиям. Второй основной раздел книги содержит научные и практические сведения о природных и искусственных строительных материалах. При этом уделяется особое внимание к восприятию материалами эксплуатационных нагрузок в зданиях и сооружениях. Третий раздел рассматривает применение строительных материалов в защитных покрытиях, нормативные требования при их устройстве и направления совершенствования.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Глава 1. Начальные сведения о материалах 1.1.

Некоторые исходные понятия

Вещества, составляющие материалы и тела состоят, как известно, из молекул - наименьших частиц данного вещества, сохраняющих его состав. Молекулы, в свою очередь, состоят из наименьших частиц, называемых атомами. Атомы и молекулы находятся в непрерывном движении подобно самой материи. Атомы различаются между собой по массе, способности соединяться с другими атомами, а также некоторыми качественными характеристиками, именуемыми химическими свойствами. Они остаются электрически нейтральными, но в центре атома находится ядро, в котором сосредотачивается основная масса атома. Ядро несет положительный электрический заряд, тогда как окружающие его электроны несут отрицательные заряды и вращаются вокруг ядра по тем или иным орбитам.

Определенный вид атомов с одинаковым химическим свойством называется химическим элементом. Они могут быть как свободными, так и соединенными в молекулах. Последние, в свою очередь, могут образовывать простые вещества (металлы и металлоиды), если их молекулы состоят из одного

химического элемента, и сложные вещества, если их молекулы состоят из атомов разных химических элементов. Среди сложных веществ, встречающихся

при образовании строительных материалов, особенно распространены оксиды (молекулы состоят из атомов кислорода и атомов другого элемента), основания (молекулы состоят из атомов металла и связанных с ним гидроксильных

групп OH), кислоты (в молекулах содержатся атомы водорода, способные замещаться атомами металлов) и соли (молекулы состоят из атомов металлов и кислотных остатков).

Различные атомы и их скопления под влиянием действия различных типов связей - ионных, ковалентных, молекулярных, водородных и металлических - образуют различные материалы. Наиболее распространенными являются молекулярные связи, именуемые также связями Ван-дер-Ваальса. Они сравнительно слабые, возникают при низком уровне энергии. Весьма типичной химической связью является ионная, а также очень широко представлены в материалах связи ковалентные. Величины энергии этих связей весьма значительные, особенно в сравнении с энергией ван-дер-ваальсовой связи. Большим значением энергии отличается и металлическая связь, характерная для металлических материалов. В природе материалов важную роль играет водородная связь, хотя она имеет относительно слабую энергию.

Следует отметить, что в чистом виде эти пять разновидностей (типов)

связей встречаются редко, поскольку практически всегда налагается два типа связи или более, хотя обычно и превалирует одна из них. Структура выражает способ объединения атомов, составляющих данный материал, или ансамбль атомов, а также молекул. В результате таких объединений образуется либо упорядоченная структура кристалла, либо неупорядоченная структура аморфного тела. Возможны отклонения от этих крайних идеальных типов структур в реальных материалах с наличием дефектов и несовершенств как в расположении частиц, так и в связях между ними.

1.2. Классификация материалов защитных покрытий

Классификация теплоизоляционных материалов. Функциональное назначение теплоизоляционных материалов - устройство тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений, технологической аппаратуры, тепловых и холодильных установок и различных трубопроводов.

Теплоизоляционные и акустические материалы классифицируют по нескольким основным признакам: виду исходного сырья, внешнему виду, структуре, средней плотности, сжимаемости, теплопроводности, сгораемости, коэффициенту звукопоглощения, продуваемости, модулю упругости.

По виду исходного сырья все теплоизоляционные материалы подразделяют на две большие группы: неорганические и органические. К неорганическим материалам относят минеральную и стеклянную вату, пеностекло, ячеистые бетоны, вспученный перлит и вермикулит, теплоизоляционную керамику, асбестосодержащие теплоизоляционные массы и изделия. Органическими материалами считают материалы на основе древесины, различных стеблей растений (торфа, льна, камыша, соломы), а также газонаполненные пластмассы. Существует еще группа материалов, изготовленных из смеси органического и неорганического сырья, например фибролит, получаемый из древесной шерсти и цемента. Преобладание органической или неорганической части является основанием для отнесения материалов к одной из групп.

По структуре теплоизоляционные материалы подразделяют на волокнистые, ячеистые и зернистые.

По средней плотности в сухом состоянии, кг/м^3 , теплоизоляционные материалы подразделяют на группы и марки: 1 группа - особо легкие материалы (ОЛ), имеющие марки 15, 25, 35, 50, 75 и 100; 2 группа - легкие (Л) - 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350; 3 группа - тяжелые (Т) - 400, 450, 500 и 600. Материалы с промежуточным значением средней плотности относят к ближайшей большей марке.

По теплопроводности теплопроводные материалы делят на классы: мало-теплопроводные [А, до $0.058 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$]; среднетеплопроводные [$0.058 \dots 0.116 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$] и повышенной теплопроводности [$X = 0.116 \dots 0.18 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$]. Для подразделения на классы значения теплопроводности материалов определяют при температуре 25°C .

По жесткости теплоизоляционные изделия подразделяют на виды, исходя из относительной деформации сжатия под удельной нагрузкой (табл. 1.1).

Таблица

1.1 Классификация изделий по жесткости

Вид изделий	Относительное сжатие, % при удельной нагрузке, МПа		
	0.02	0.04	0.1
Мягкие	более 30	до 10	до 10
Полужесткие	от 6 до 30		
Жесткие	до 6		
Повышенной жесткости			
Твёрдые			

По возгораемости теплоизоляционные материалы подразделяют на три группы: негорючие, трудногорючие и горючие.

Классификация акустических материалов. Применение акустических материалов призвано создавать комфортные условия в помещениях, снижая вредное воздействие шума на организм человека.

В основе классификации лежит функциональное назначение этих материалов: а) звукопоглощающие (в конструкциях облицовок внутренних помещений и для отдельных звукопоглотителей); б) звукоизолирующие (в многослойных ограждающих конструкциях).

Звукопоглощающие материалы классифицируют по следующим основным признакам: жесткости, эффективности, структуре и возгораемости.

По жесткости эти материалы подразделяют на мягкие, полужесткие, жесткие и твердые.

По структурным признакам звукопоглощающие материалы подразделяют на пористо-волокнистые, пористо-ячеистые (из ячеистого бетона и перлита) и пористо-губчатые (пенопласты, резины).

По возгораемости они рассматриваются как негорючие, трудногорючие и горючие.

По эффективности звукопоглощаемые материалы подразделяют на три класса в зависимости от величины среднеарифметического реверберационного коэффициента α : 1-й класс - α свыше 0.8; 2-й класс - α от 0.8 до 0.4; 3-й класс - α от 0.4 до 0.2.

По структуре звукоизоляционные материалы подразделяют на пористо-волокнистые, пористо-губчатые.

Классификация огнеупорных материалов. В основе огнеупорных материалов лежат: химико-минеральный состав, огнеупорность, пористость, термическая обработка.

По химико-минеральному составу материалы делят на типы: кремнеземистые, алюмосиликатные (низко-, средне- и высокоглиноземистые), магнизи-

альные, магнезиальноизвестковые, магнезиальношпинелидные, магнезиально-силикатные, углеродистые, карбидкремниевые, цирконистые, окисные и некислородные.

По огнеупорности материалы различают на огнеупорные (от 1580 до 1770°C), высокоогнеупорные (1770 до 2000 °C) и высший огнеупорности (свыше 2000 °C); по пористости - на особо плотные (с открытой пористостью до 3 %), высокоплотные (свыше 3 до 10 %) и далее вплоть до легковесных (от 45 до 85 %) и ультралегковесных (свыше 85 %); по термической обработке - обожженные, безобжиговые, горячепрессованные и плавленолитные.

Классификация гидроизоляционных материалов. Гидроизоляционные материалы предназначены для защиты конструкций от действий агрессивных сред они классифицируются по назначению, природе их основы, технологическим особенностям.

По назначению гидроизоляционные материалы подразделяются на антифильтрационные, антикоррозионные и герметизирующие.

По природе их основы - на асфальтовые, минеральные, пластмассовые и металлические.

По технологическим особенностям - на вяжущие, смеси с минеральными наполнителями и на штучные материалы.

Асфальтовыми гидроизоляционными материалами называют материалы на основе смешения битумов и битуминозных веществ с минеральными.

Минеральные гидроизоляционные материалы приготавливают на основе различных цементов, шлаков и глин, их применяют для окраски и штукатурки сооружений, для массивных покрытий.

Металлические гидроизоляционные материалы представляют собой листы из латуни, меди, алюминия, нержавеющей стали, применяемые для монтируемой гидроизоляции и уплотнения деформационных швов. Алюминевая и медная фольга используется для усиления рулонных материалов.

Пластмассовые гидроизоляционные материалы - это искусственные материалы из пластических масс, приготавливаемых на основе полимерных вяжущих, их смесей с минеральными наполнителями и различными добавками. Наибольшее применение для гидроизоляции нашли окраски на основе эпоксидных, полиэфирных и фенольных смол, штукатурки на основе плёнки и листы из полиэтилена и поливинилхлорида, каучуковые герметики.

1.3. Структура строительных материалов

Под структурой, или внутренним строением строительных материалов, как и других физических тел, понимают пространственное расположение частиц разной степени дисперсности (измельченности) с совокупностью устойчивых взаимных связей и порядком сцепления их между собой. Кроме того, в понятие структуры входит расположение пор, капилляров, поверхностей

раздела фаз, микротрещин и других структурных элементов. Под микроструктурой подразумеваются расположение, взаимоотношение и взаимосвязь различных по размеру атомов, ионов и молекул, из совокупности которых состоят различные вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях. Атомно-молекулярное строение определяют макроскопические особенности материала. На макроскопическом уровне устанавливаются в той или иной мере устойчивое расположение, взаимосвязь и порядок сцепления макромолекул, мицелл, кристаллов, кристаллических обломков и сростков, аморфных сравнительно крупных частиц, составляющих материалы, а также соотношения компонентов.

Основной формой правильного расположения микрочастиц в пространстве является кристаллическая решетка. Каждому типу связи соответствует свой характерный тип кристаллической решетки, а именно: ионная решетка; молекулярная, или поляризационная, решетка, формирующаяся с помощью сил Ван-дер-Ваальса; атомная с резко выраженной в решетке ковалентной связью; металлическая; решетка с водородными связями. Особенностью твердых тел является взаимосвязь, или корреляция, положений соседних атомов с ближним и дальним порядками. В кристаллических решетках дальний порядок распространяется на большие области, а ближний порядок - на окружение данного атома. Все тела с кристаллической решеткой имеют правильную форму кристаллов, хотя реальные кристаллы обычно имеют отклонения от идеальной геометрической структуры.

Твердые вещества, не обладающие кристаллической структурой, относятся к аморфным. К самым распространенным представителям аморфных тел относятся стекла. Беспорядочное расположение атомов и молекул в аморфных телах усложняет изучение их структуры. О ней нередко судят по некоторым косвенным показателям. Так, например, аморфные вещества при нагревании способны плавиться постепенно, не имея определенной температуры плавления; они обладают изотропностью, т.е. одинаковыми свойствами во всех направлениях. Упорядоченность расположения частиц может наблюдаться (например, у стекол) только в небольших элементах объема (ближний порядок). В этих зонах структура именуется как кристаллитная: между кристаллами, занимающими микрообъемы, находятся прослойки полностью аморфного вещества.

У твердых тел имеются значимые признаки их кристалличности: определенная температура плавления - перехода их в жидкое состояние; определенная геометрическая форма кристаллов, которая остается характерной для данного вещества; анизотропия, т.е. неодинаковость свойств в различных направлениях. Тепловой эффект кристаллизации - основной критерий этого фазового превращения.

Кристаллическое и аморфное строение нередко может быть присуще одному и тому же веществу, например кристаллический кварц (кристобалит) и

кварцевое стекло имеют общий химический состав SiO_2 . Одно и то же кристаллическое вещество может находиться в различных формах (модификациях) существования кристаллов, что известно под названием полиморфизма. Полиморфизм вызывает изменение свойств при сохранении постоянного состава вещества, что лишний раз указывает на важную роль структур в становлении качества материалов. Так, например, алмаз и графит, являясь кристаллическими модификациями углерода, обладают резко различной твердостью: алмаз применяется при бурении прочных горных пород, графит - мягок и используется как смазка или для стержня карандаша. Другой пример - кристаллические модификации железа, получающиеся при его нагревании и охлаждении: при высокотемпературной форме кристаллов железо способно сравнительно много растворять углерода, тогда как при низкотемпературной - углерод практически нерастворим, а при охлаждении железа из растворенного состояния углерод переходит в механическую примесь.

Структура не остается неизменной, «застывшей». В пространстве и во времени она непрерывно претерпевает изменения. Этому, в частности, способствует постоянное движение элементарных частиц, атомов, молекул, взаимодействие материала с окружающей средой.

Микроструктура и ее изменения изучаются с помощью оптических методов, электронной микроскопии, дифференциально-термического анализа, рентгенографии и др. В зависимости от характера связей контактируемых частиц однородные микроструктуры разделяют на коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные.

Коагуляционными называют структуры, в образовании которых участвуют сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия между частицами - ван-дер-ваальсовы силы сцепления, действующие через прослойки жидкой среды. **Конденсационными** называются структуры, возникающие при непосредственном взаимодействии частиц, или под влиянием химических соединений в соответствии с валентностью контактирующих атомов, или под влиянием ионных и ковалентных связей. **Кристаллизационными** (или **кристаллическими**) называют структуры, образовавшиеся путем выкристаллизовывания твердой фазы из расплава или раствора и последующего прямого срастания отдельных кристаллов в прочный их агрегат, в том числе под влиянием химических связей. П.А.Ребиндер, впервые разделивший микроструктуры на эти три разновидности, отмечал возможным и даже более типичным образование смешанных структур как совокупности двух или трех однородных, например кристаллизационно-коагуляционной и др. При определенных условиях может быть самопроизвольный (спонтанный) переход с различной скоростью коагуляционной структуры в конденсационно-кристаллизационную и др. С реальным характером микроструктур связаны в известной мере представления об их качественных характеристиках. Так, например, при коагуляционных структурах почти всегда наблюдается пониженная прочность вещества, способность

к тиксотропному восстановлению структуры, разрушенной под влиянием механического воздействия, например вибрирования. Конденсационные и особенно кристаллизационные структуры придают веществу повышенную прочность, хрупкость, лишают его тиксотропности.

Определенный объем, иногда значительный, в микроструктуре занимают замкнутые и сообщающиеся поры или те и другие вместе.

В микроструктурах могут встречаться кроме пор другие виды неплотностей. Среди них дефекты кристаллической решетки в виде так называемых вакансий, вызванных «испарением» атома из узла решетки; в виде дислоцированных атомов, т.е. перемещенных в междоузлии кристаллической решетки; в виде примесей кристаллической решетки со значительным искажением качества вещества по сравнению с чистыми и сверхчистыми веществами. Особо опасными являются дефекты в виде микротрещин, способных под нагрузками расти с переходом в макротрещину или магистральную трещину, охватывающую макрообъемы кристаллических агрегатов и тел.

Кроме вяжущего вещества микро дисперсной структурой обладают также приповерхностные слои или контактные зоны в материале, отделяющие вяжущие вещества от поверхности другого компонента, например зерен заполнителя. Состав и структура тонких контактных слоев (моно- и полимолекулярных) отличаются от основного вяжущего вещества. Отличается от других объемов материал и качество этих слоев, так как оно зависит от пограничных дефектов структуры, прочности сцепления контактируемых веществ и прочего, хотя различие в качестве приповерхностного слоя и остального объема вяжущего вещества является не скачкообразным, а довольно плавным.

«Укладка» микрочастиц происходит компактно, т.е. как бы с учетом принципа наиболее плотной упаковки. Этот принцип характеризуется тем, что в кристаллических телах при укладке атомов, ионов или молекул в кристалле возникает наименьшее остаточное свободное пространство. Однако такой принцип применим не ко всем видам кристаллов, так как при плотной упаковке может возникнуть меньшая устойчивость равновесия, что, например, не в малой степени зависит от направления валентностей контактируемых частиц.

Макроструктура различима невооруженным глазом. Для наиболее распространенных строительных материалов она образована совмещением микроструктуры вяжущего вещества и полизернистых или иных видов (волокистых, пластинчатых, угловатых и т.п.) грубодисперсных частиц заполнителя, а также в ней содержится капиллярно-поровая часть. В большой группе особо легких бетонов (ячеистых бетонов) макродисперсные поры в виде замкнутых ячеек являются как бы своеобразной разновидностью «заполнителя».

Подобно плотной, компактной упаковке частичек в микроструктуре вяжущих веществ, грубозернистые заполнители подбирают с наименьшим объемом меж зерновых пустот, что позволяет экономить на расходе вяжущего ве-

щества. С этой целью зернистые заполнители предварительно разделяют на фракции по размерам, с тем чтобы затем пробным подбором или расчетом найти содержание каждой фракции при плотной их смеси.

Если крупные частицы, например, щебня или гравия в такой мере сближены, что контактируют непосредственно друг с другом или через тонкие прослойки вяжущего, то сформировавшаяся структура называется **контактной**. Если имеется разделение частиц прослойками вяжущего вещества значительно усредненной толщины, то макроструктуру принято именовать **порфировой**.

В первом приближении оценить вид структуры можно по коэффициенту упаковки. Под коэффициентом упаковки понимают отношение проекции расстояния между соседними крупными зернами (частицами) на плоскость к их диаметрам:

$$K_y = (L - d)/d$$

где K_y - коэффициент упаковки; L - проекция расстояния между центрами соседних зерен (частиц); d - диаметр частиц (зерен), для которых вычисляется этот коэффициент, а если частицы (зерна) разного диаметра (размера), то $d = r_1 + r_2$, где r_1 и r_2 - радиусы соседних частиц.

Положительные значения коэффициента упаковки характеризуют порфировую структуру, а отрицательные - контактную. При $K=0$ наблюдается соприкосновение частиц друг с другом без зацепления, т.е. без захода одной частицы за другую. При максимальной плотной упаковке частиц шарообразной формы и одного диаметра с количеством их 74% по объему коэффициент упаковки равен - 0.1. Увеличение количества частиц в материале (например, щебня) приводит к дальнейшему увеличению отрицательной величины коэффициента упаковки, т.е. к большему зацеплению или заходу щебенки друг за друга, что характерно для контактной структуры. Но на величину K влияет не только количество, но и размер крупнообломочных частиц. Чем крупнее зерна, тем меньшее количество щебня требуется для того, чтобы коэффициент упаковки оказался отрицательной величиной.

Структурные характеристики получаемого материала, например толщины пленок среды, содержание пор и их размеры и другое, изменяются при разных технологиях. Так, макроструктура прессованных изделий отличается от получаемых при литьевой технологии из одинаковых по качеству компонентов; микроструктура вяжущей части изделий после твердения в обычных условиях на воздухе отличается от образующейся при твердении в условиях повышенных давлений и температур и т.п.

1.4. Структурная механика, её составные части

Основы материаловедения должны базироваться, по крайней мере, на стыке трех фундаментальных наук - физической и коллоидной химии, физики твердого тела и механики твердого деформируемого тела. Поскольку строительные материалы - сложные, неоднородные и гетерофазные материалы, обеспечение надежного и современного управления их качеством-задача с многими неизвестными. Чтобы регламентировать технологические операции производства строительных материалов с заданными свойствами, сопоставлять современные представления о физике и механике процессов структурообразования, о распределении внутренних напряжений и деформаций, механизме развития трещин в структуре на ее различных уровнях, должен быть единый подход на основе физико-химической механики.

Микроскопический уровень устанавливает фазовый состав новообразований, размеры и распределения пор, раскрывает взаимосвязь между дефектами структуры составляющих компонентов материала с учетом их химии поверхности.

Формирование структуры материалов с высокими технологическими свойствами должно базироваться на дискретной теории упругости, способной отражать взаимодействие как связующих частиц, кристаллогидратов, так и влияние системы, ранга пор, а также фазового состава заполнителя.

Преимущества структуры связующих с высокой удельной поверхностью новообразований состоят в том, что в ней сглаживаются (размазываются) типы условных микротрещин, уменьшаются их размеры и снижается концентрация напряжений. Связь между крупными кристаллами по точкам контакта подобна такой микротрещине, которая согласно критерию Гриффитса, приведет к большей концентрации напряжений в структуре монолита.

Поровая структура формируется от момента затворения водой до камнеобразования материалов и заканчивается в течение длительного времени эксплуатации. По величине и происхождению поры, например цементного камня, подразделяются:

- поры геля, средний радиус около 2 нм - до 28 %;
- промежуточные, в т. ч. контракционные - с радиусом около 25-50 нм;
- капиллярные поры с радиусом 200-1500 нм.

Направление регулирования пористости включает снижение среднего и наибольшего размеров пор к варианту одноранговой пористости, т.е. принцип сближения пор по размерам смежных рангов.

Особый интерес принадлежит системе и размерам пор в пористом заполнителе.

Абсолютное значение условно замкнутых пор керамзита больше, чем у цементного раствора в структуре керамзитобетона: по объему в 2-4 раза, по количеству в 6-8 раз, по удельной поверхности в 2-3 раза. В искусственных

гранулах заполнителей содержится от 58 до 91% газовой фазы, от 8 до 33% аморфной и от 3 до 15 кристаллической фаз.

Для вулканогенных пористых заполнителей характерна микронеоднородность структуры:

- химическая, вызванная ликвационными явлениями;
- структурная, образовавшаяся с выделением упорядоченных микрозон в стеклофазе;
- физическая, вызванная микропоровым пространством, нарушающим сплошность камня.

Микроскопический уровень материалов должен включать и кристаллохимические свойства воды, как матричной основы связующего. В большой мере это касается физически адсорбционно связанной (псевдотвердой) воды, а не свободной, и тем более химически связанной. Адсорбционная вода подразделяется на цеолитную (внутрифазовую), воду коллоидов, входящую в структуру связующего геля, и гигроскопическую.

Средняя энергия связи испаряемой воды по данным Пауэрса тем больше, чем ниже пористость связующих. При минимальной пористости цементного геля (28%) средняя энергия связи испаряемой воды составит около 3600 кал/моль. Энергия связи испаряемой воды в первом адсорбционном слое (монослой) составляет 8000 кал/моль.

Свободная (испаряемая) вода представляет собой отдельную фазу. Некоторая часть этой воды удерживается физической адсорбцией (ван-дер-ваальсовы силы). Если относительная влажность достаточно высока, некоторая часть воды может удерживаться за счет сил гидростатического действия, обусловленного капиллярными явлениями.

Вода, по современным представлениям, - трехмерная сетка из молекул, соединенных водородными связями. Каждая молекула может образовывать до четырех водородных связей, направленных приблизительно к вершинам правильного тетраэдра. Эта сетка существует во всем интервале температур и давлений, в котором вода находится в жидком состоянии. На рис. 1.1 и 1.2 представлены строение молекулы воды и разные типы водородных связей.

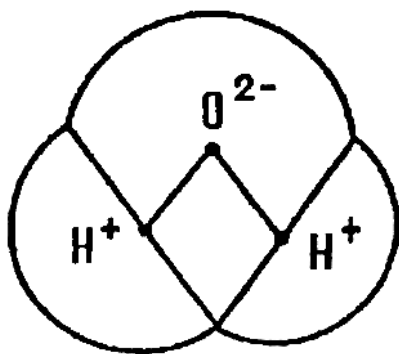


Рис.1.1. Строение молекулы воды

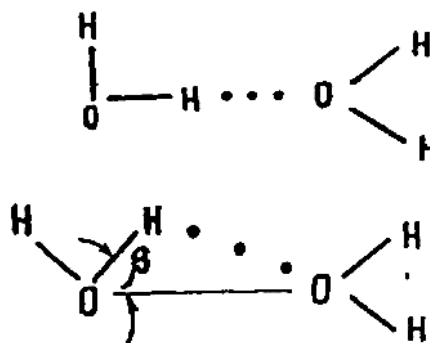


Рис.1.2. Разные типы водородных связей в димерах воды

Активность воды в силу различных факторов: дефектов граничной поверхности, температуры, давления, наличия в ней электролитов, газовых включений, примесей, влияющих на ориентацию водородных связей и их энергию, изменяется в диапазоне от 2.6 до 388.46 ккал/моль. Молекула воды

с радиусом $1 \dots 38 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$) составляет всего десятую долю размера частиц твердой фазы цементного геля, имеет структуру тетраэдра с углом ме-

жду связями О-Н 109 градусов. Длина связи О...Н равна 1.8 \AA , расстояние

О...О равно 2.82 \AA . В двух связях она может выступать в качестве донора, и в двух - в качестве акцептора протона, т.е. участвовать в четырех водородных связях.

Если разогнать молекулы воды до высоких скоростей, увеличится ее энергия. Для активации воды применимы общие законы термодинамики, отражающие энергетические изменения ее внутренней энергии.

Природа несплошности цементных материалов определена самим физико-химическим процессом гидратации цемента. Поэтому в цементном камне уже на ранней стадии структурообразования развиваются два различных взаимозависимых процесса - деформирование и разрушение. Количество и размеры кристаллических образований - этtringита и портландита, их взаимодействие с коллоидной массой геля определяют характер формирования и разрушения структуры, прочность и упругость цементного камня. Не только вид внутренних связей фаз новообразований является важным фактором в значении модуля упругости, но и плотность новообразования имеет для него большое значение (табл. 1.1). Существенна роль новообразований в физике и механике разрушения. Упруговязкие и слоистые образования в структуре цементных материалов уменьшают локальные напряжения и гасят энергию роста трещин.

Таблица 1.1

Характеристика прочности и модуля упругости фаз новообразований в цементном камне

Фаза новообразования	Размер, мкм	Прочность, МПа		Динамический модуль упругости, МПа
		сжатие	растяжение	
Этtringит	50-1000	-	70	$75 \cdot 10^{-4}$
Портландит	500 - 200	320 - 700	-	$15 \cdot 10^{-4}$
С-S-H				
а) низкоосновный	10-10000			$5 - 6 \cdot 10^{-4}$
б) высокоосновный	10^4 \AA	1500	-	$8 - 9 \cdot 10^{-4}$

Уровень макроструктуры определяет принципы конструирования бетона и керамики как композиционных материалов, характеризующихся относительным содержанием компонентов, их свойствами и однородностью распределе-

ния. Данный уровень структурной механики способен интегрально отражать формирование структуры с заданными свойствами, развитие и торможение трещин за счет взаимодействия отдельных фаз и включений, вызываемых как локальными внутренними напряжениями, так и прилагаемыми внешними силами.

Третья составная часть структурной механики - это поверхности раздела. Граница раздела фаз - это область природы формирования прочности твердого тела включает коллоидно-химические явления и связанные с ними поверхностные явления и эффекты: электростатический потенциал; адсорбцию, десорбцию и хемосорбцию, диффузию и осмос; гидролитическое воздействие при разрушении связей.

Принципиально важное значение принадлежит механико-энергетическим показателям на границе контакта. К ним относятся плотность энергии когезии, диэлектрические свойства жидкой фазы, полярность молекул воды и поверхности твердой фазы, межфазное натяжение, включая расклинивающий эффект Дерягина (рис. 1.3).

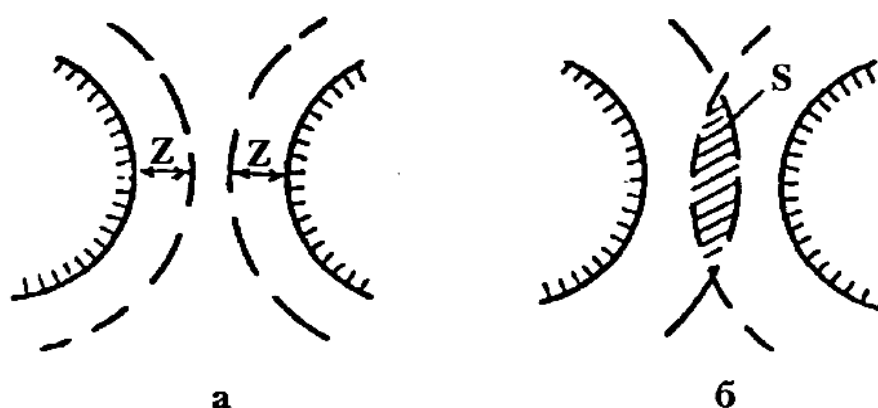


Рис. 1.3. Возникновение структурной силовой составляющей расклинивающего давления в прослойках жидкости между частицами: а - положение частиц до перекрытия граничных слоев толщиной «Z», б - после перекрытия граничных слоев

Для цементных и глинистых дисперсий влияние поверхностных явлений оказывается преобладающим. С природой подложки, с плотностью воды для адсорбционного слоя жидкой фазы связано образование двойного электрического слоя - дзета потенциала (Д.П.). Д.П. выражает уровень электрических зарядов и кулоновского взаимодействия между частицами твердой поверхности. Любое механическое возмущение (перемешивание и другое) ведет к перераспределению электрокинетических свойств дисперсной фазы. Происходит перестройка ориентационной упорядоченности молекул воды.

Описание процесса разрушения композиционных материалов с позиции структурной механики представлено в таблице 1.2.

Таблица

1.2 Описание процесса разрушения с позиции структурной механики бетона

Что определяет разрушение	Уровень рассмотрев	1ия (масштабный эффект)
	Микроструктура и поверхность раздела цементирующих фаз	Макроструктура и поверхность раздела системы цементный камень
Физика разрушения	Атомно-молекулярные хар размер новообразований, внутреннее трение, теплые ций и роста	актеристики, строение, состав и плотность и виды дефектов, 1ассоперенос, скорости деформа-)сти волн напряжений активация
Механика разрушения	Поля напряжений, вызываемые новообразованиями, порами, трещинами, соединение пор и дефектов Расклинивающее	Локальные напряжения от заполнителя, макропор и трещин, взаимодействие трещин и пор молекул воды, тепловыделение аторы напряжений, класс трещин
Критерий разрушения	Одноосное, двухосное и ос определяющие связь меж течения и	хъемное напряженные состояния, ду напряжением пластического шряжением
Критерий прочности	Устанавливается с учетом говязкие,	вида деформаций: упругие, упру-<ие.
Структурные типы разрушения	Хруп	кий, вязкий
Морфология поверхности разрушения	Ступеньки скола, гладкая г рушение	юверхность скола и отрыва, раз-излом, зернограницный

В последние годы для повышения адгезионной прочности на контакте поверхности связующее - пористый заполнитель применяется модифицирование поверхности за счет специальной пропитки заполнителя растворами солей, содержащими катионы алюминия, марганца, никеля и др.

При рассмотрении изделий на основе силикатов дефекты структуры следует подразделять на два рода. Дефекты первого рода - округлые дефекты типа пор, дефекты второго рода - остrokонечные дефекты типа трещин. Возможно совмещение дефектов, например, пора с трещиной. Пory можно рассматривать как концентраты напряжений при условии, что расстояние между порами не менее двух диаметров, т.к. в противном случае на локальном напряженном состоянии сказывается эффект взаимодействия, который может выровнять напряжение между порами.

Дефекты второго рода в виде микротрещин присутствуют в бетоне до приложения внешних нагрузок.

В последние годы большое развитие получила механика хрупкого разрушения, берущая начало от работ Гриффитса, Орована, Ирвина и занимающаяся изучением процесса разрушения. Бетоны и керамика являются неоднород-

ными материалами и полностью переносить на них механику хрупкого разрушения не представляется возможным. Но вместе с тем многие закономерности остаются справедливыми при их рассмотрении как двухкомпонентных материалов отдельно на уровне матрицы и заполнителя с учетом влияния контактной зоны.

Для роста трещин характерно преимущественное развитие одной, наиболее опасной трещины. На деформативные свойства материала оказывает влияние не только наиболее опасная трещина, но и общее количество и ориентация всех трещин. Распространение трещин в хрупком или квазихрупком теле в условиях локальной симметрии наступает тогда, когда интенсивность напряжений у вершины трещины достигает своего критического значения.

При прочности и модуле упругости заполнителя, превышающих данные показатели у связующего, прочность материала определяется в основном прочностью связующего. Истинная прочность заполнителей в материале выше, чем при испытании дроблением. Объясняется это их большим объемным сжатием по сравнению с раствором.

При конструировании и изготовлении материалов следует получать новые типы структуры, обладающие лучшими свойствами по сравнению со свойствами отдельных составляющих компонентов. Такой неаддитивный эффект можно представить в виде схемы, в которой обозначим цементный раствор как компонент А, а заполнитель упругости - В. Для таких композитов типична формула: $A + B = C$, где С не является алгебраической суммой А и В. Эта концепция для материаловедения не нова. И тем не менее, приняв ее за основу на макроуровне структурной механики, появляется надежность управления качеством материала с его полезными техническими свойствами и недостатками. Иначе говоря, новый материал сможет унаследовать от исходных составляющих сочетание полезных свойств и недостатков материалов А и В с возможностью ликвидации определенных недостатков за счет введения дополнительного компонента. Так создается строго научный принцип конструирования композитных материалов.

1.5. Долговечность изделий и сооружений

Комплексной характеристикой качества материалов является долговечность - способность сопротивляться внешним и внутренним факторам в течение возможно более длительного времени. О долговечности судят по продолжительности изменения до критических пределов прочности, упругости или других свойств. С этой целью образцы или изделия подвергают в лабораторных или натурных (эксплуатационных) условиях воздействию комплекса механических, физических, химических и других факторов, реально воздействующих на конструкцию. После расчетного периода времени действия комплекса факторов, или определенного цикла испытаний, устанавливают степень

изменения первоначальных числовых значений свойств и сравнивают с допустимой величиной их изменения.

О долговечности пока судят по отклонениям в структуре материала, хотя первопричиной изменения свойств обычно служит нарушение микро- или макроструктуры, отклонение общей структуры от оптимальной.

При изучении структур обычно выбирают наиболее значимые (ключевые) характеристики. Количественной оценкой структур занимается стереология. Ее методы позволяют по плоскостным микрофотоснимкам или другим данным структурного анализа определять объемное содержание изучаемых структурных элементов: размер и объем пор; внутреннюю удельную поверхность твердой фазы; размер твердых частиц, толщину прослоек жидкой среды; соотношение объемов кристаллической и аморфной (стекловидной) частей в вяжущем; однородность расположения частиц в объеме.

Основные, или ключевые, характеристики свойств и структуры имеют, как уже отмечалось, критические уровни, переход за пределы которых сопряжен со сравнительно интенсивным разрушением материала или срочным капитальным ремонтом конструкции. При выборе критических уровней ключевых показателей свойств ориентируются на требования действующих стандартов и строительных норм. В них указаны числовые показатели технических свойств материала и допустимые пределы их изменения.

Среди типичных эксплуатационных факторов, оказывающих негативное влияние на состояние строительных конструкций и материалов, можно выделить *механические* - воздействие внешних нагрузок различной величины и интенсивности статического и динамического характера, а также собственного веса изделий; *температурные* - воздействия устойчивой температуры и ее колебаний; *воздушную и газовую среду* с содержанием в ней углекислого газа, пара, пыли, и других примесей; *водную среду* с широкими пределами ее агрессивности; *кислоты, щелочи, солевые растворы* разных концентраций и другие жидкие среды, например растительные масла, нефтепродукты и т.п.; *климатические*, к которым кроме упомянутых выше факторов относятся также солнечная радиация, ветер, влажность воздуха; воздействие некоторых других возможных *физических факторов* - электрического поля и тока, излучения, магнитного поля и т. п.

Рассмотрим проблемы долговечности строительных материалов на примере наиболее распространенных и подвергаемых внешним воздействиям железобетонных изделий.

В строительной практике все случаи коррозионного повреждения железобетонных конструкций по признакам разрушения разделяют на две группы: разрушения, связанные с коррозией бетона, и разрушения, вызываемые коррозией арматуры в бетоне. Число сред, агрессивных по отношению к бетону и арматуре, весьма велико.

Данные инженерных исследований показывают, что бетонные и железобетонные конструкции могут прийти в аварийное состояние в течение 10-15 лет и раньше. Так, А.Ф. Полак описывает полное коррозионное разрушение фундаментной балки за шесть лет эксплуатации в результате проливов кислот на Усольском химическом заводе, вследствие чего на стене цеха появились вертикальные трещины, что привело здание в аварийное состояние. В.М. Москвин приводит факт разрушения на химическом заводе бетонных фундаментов под аппаратурой (под насосами перекачивающими кислоту), не выдержавших даже расчетный срок службы, равный 6 месяцам.

Большинство же разрушений железобетонных конструкций зданий действующих предприятий часто происходит в результате коррозии арматуры, достигающей после 20-25 лет эксплуатации конструкций во влажных помещениях 50 % для рабочих стержней и 100 % - для хомутов.

При обследовании одного из цехов Кабардинского крахмального завода, Марийского целлюлозно-бумажного комбината через 11 лет эксплуатации железобетонные балки покрытия имели продольные трещины шириной 10-15 мм. При вскрытии растрескавшегося защитного слоя обнаружилось, что арматура покрыта слоем ржавчины толщиной до 8 мм. Хомуты проржавели полностью, а продольные стержни сильно уменьшились в диаметре (до 60 %) и отстают от бетона. В наиболее сильно разрушенных балках обнаженная рабочая арматура имела сечение 13 и 9 мм вместо проектных 24 и 20 мм.

Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования типичных коррозионных процессов и стойкости цементных бетонов позволили объединить отдельные случаи коррозии в различных средах по общим признакам механизма коррозии. По общепринятой международной классификации, предложенной В.М. Москвиным, коррозионное воздействие жидкой среды на бетон подразделяют на три основных вида. К **первому виду** относят процессы коррозии, возникающие под действием вод с малой жесткостью, когда составные части цементного камня растворяются и уносятся протекающей водой. Особенное развитие эти процессы получают при фильтрации воды сквозь толщу бетона.

Коррозия второго вида объединяет процессы, которые развиваются в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составными частями цементного камня. Продукты реакции либо легко растворимы и уносятся водой, либо выделяются в виде аморфной, не обладающей вяжущей способностью массы на месте реакции. К этому виду относят процессы, возникающие в бетоне при действии кислот, магниезиальных солей и др.

Коррозия третьего вида объединяет все процессы коррозии, при развитии которых в порах, капиллярах и других пустотах бетона происходит накопление малорастворимых солей; кристаллизация последних вызывает возникновение значительных усилий в стенках, ограничивающих рост кристаллических

сростков, и как следствие - разрушение структурных элементов бетона. К этому виду можно отнести коррозию при действии сульфатов, где разрушение бетона вызывается ростом кристаллов гипса и сульфоалюмината кальция.

В естественных условиях, как правило, одновременно наблюдается коррозия нескольких видов, но преобладает обычно какой-либо один вид и всегда можно проследить и учесть роль второстепенных для данного случая видов коррозии.

В классификации коррозии бетона в газовой среде, предложенной С.Н.Алексеевым, также различаются три вида. Принципиального различия между коррозией в водной и газовой среде нет, но в каждом случае есть свои характерные особенности.

В случае газовой коррозии агрессивные по отношению к цементному камню бетона газы, проникая в его толщу по открытым каналам, трещинам и другим неплотностям, поглощаются водой, частично заполняющей капилляры, и ее адсорбционными пленками, образуя обыкновенную агрессивную жидкость. Раствор газов в жидкостях представляет собой истинный раствор. Концентрация растворенной фазы, как правило, невысока, так что эти растворы можно отнести к разбавленным. Характерно, что продукты газовой коррозии остаются на месте реакции, а не выносятся наружу, что может привести к уплотнению бетона.

На поверхности бетона под воздействием агрессивной среды через некоторое время образуется слой продуктов коррозии, в котором может быть выделено несколько зон. В.М. Москвин на основании исследований взаимодействия бетона с морской водой, содержащей магниевые соли ($MgCl_2$, $MgSO_4$) предложил рассматривать последовательность распределения зон разрушения бетона в порядке, представленном на рис. 1.4. Общая схема взаимодействия бетона с кислыми газами, вызывающими «нейтрализацию» бетона (рис. 1.5), предложена С.Н. Алексеевым, где под «нейтрализацией» бетона понимают непрерывный во времени процесс проникания в него ионов газа.

В таблице 1.3 приведена ориентировочная оценка воздействия агрессивных сред на незащищенные бетонные и железобетонные конструкции.

Таблица 1.3.

Воздействие агрессивных сред на бетонные конструкции

Степень агрессивности среды	Глубина разрушения поверхностного слоя, мм/год	Среднегодовая потеря несущей способности при эксплуатации конструкций, %	
		подземных	несущих и ограждающих
слабая	до 0.4	3	5
средняя	0.4... 1.2	5	10
сильная	1.2	8	15

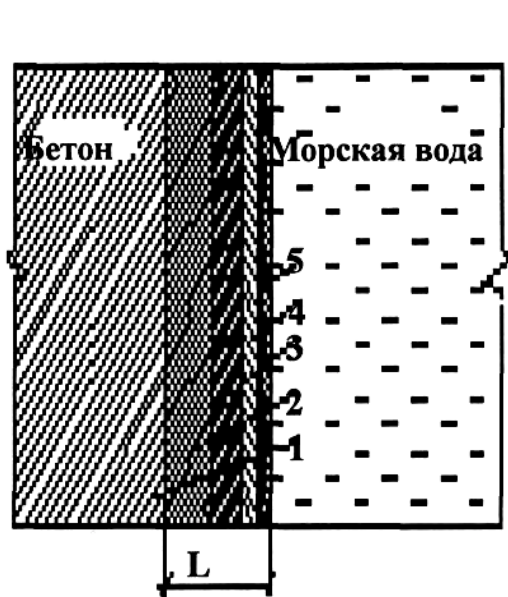


Рис.1.4. Схема развития коррозии бетона в морской воде: 1 – зона выщелачивания (коррозия I вида); 2 – зона сульфатной коррозии (III вида); 3 – часть зоны сульфатной коррозии с преобладающим влиянием образования гипса; 4 – зона магниальной коррозии (II вида); 5 – карбонизированный слой

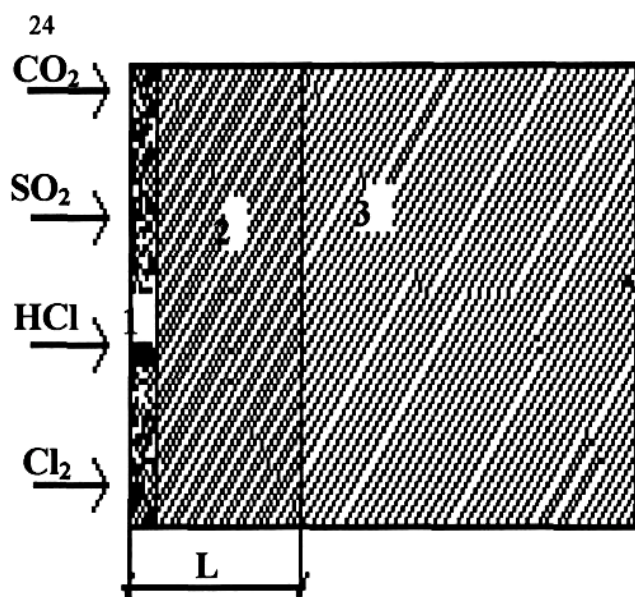


Рис.1.5. Схема взаимодействия бетона с кислыми газами: 1 – слой, нейтрализованный газами SO_2 , HCl , Cl_2 ; 2 – карбонизированный газом CO_2 ; 3 – нормальный бетон

Влияние агрессивных сред на бетон оценивают по внешнему виду бетонных образцов, величине линейной деформации, потере по массе, изменению прочности при сжатии, изгибе или растяжении, глубине коррозионных разрушений, изменению динамического модуля упругости, изменению концентрации одного из компонентов, вступивших во взаимодействие и т.д.

За критерий стойкости при оценке влияния агрессивных сред по внешнему виду принимают продолжительность периода до появления признаков визуально оцениваемых разрушений бетона. Для оценки степени коррозионного разрушения образцов может быть использована пятибалльная система. Баллом «5» характеризуется отличное состояние образцов, без изменения внешнего вида, баллом «1» - полное разрушение.

Метод изменения линейных деформаций бетонных образцов, находящихся в агрессивных растворах, характеризует коррозию бетона в условиях, когда под влиянием агрессивных растворов образуются новые соединения, объемы которых больше суммы объемов исходных веществ, что сопровождается увеличением объема образцов. Принято считать, что если величина расширения образцов через шесть месяцев превышает 0.05 %, а через год 0.1 %, это свидетельствует о деструктивных процессах, приводящих к разрушению.

В основе метода изменения прочности при сжатии, изгибе и растяжении лежит понимание факта коррозии как процесса снижения прочности бетона. Определяя через заданные промежутки времени прочность образцов, находившихся в агрессивной среде, и образцов, твердеющих в нейтральной среде,

получают кривые изменения прочности во времени, по которым ориентировочно судят о степени развития коррозии. Количественным показателем коррозии является коэффициент стойкости K_c , представляющий собой отношение прочности образцов, находившихся в растворе, к прочности образцов, твердевших тот же срок в воде.

Метод определения потери массы бетонных образцов за определенный промежуток времени оценивает воздействие органических кислот на цементный камень.

Для исследования характера изменения во времени защитных свойств цементных бетонов различных по прочности под действием кислых газов используют качественную методику - определение глубины нейтрализации бетона путем периодической обработки свежих сколов образцов 1%-ным спиртовым раствором фенолфталеина. После нанесения индикатора измеряют линейкой расстояние от поверхности образца до границы ярко окрашенной зоны в направлении, нормальном к поверхности. Измеренная величина есть глубина нейтрализации бетона.

Изменение распределения концентрации цементного камня в объеме бетона по глубине образца и во времени учитывается дифференциальными уравнениями перемещения агрессивного фронта, основанными на первом и втором законах Фика.

Среди огромного количества лабораторных методов исследования коррозии бетона, по мнению большинства специалистов, наиболее рациональными являются методы, основанные на определении предела прочности. Эти методы учитывают влияние двух видов коррозии: растворение соединений, составляющих цемент, и возникновение новообразований с большим объемом, чем объем исходных продуктов. Оба процесса вызывают изменение прочностных показателей.

Глава 2. Свойства защитных покрытий

2.1. Понятия о механических, физических, химических, архитектурно-художественных свойствах материалов

Защитные покрытия из строительных материалов в процессе эксплуатации сохраняют изделия и сооружения от механических, физических и химических воздействий.

При выборе материала защитных покрытий учитывают его способность сопротивляться реальным воздействиям без нарушения сплошности, свойств и размеров. Необходимо одновременно учитывать сопротивляемость материалов механическим нагрузкам, стойкость к воздействию ожидаемых физических (например, температуры и ее колебаний, в особенности при переходе через 0 °С, водной среды и др.) и химических (кислоты, щелочи, солевые растворы и др.) факторов.

Свойствами называют способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельных или совокупных внешних или внутренних факторов. Фактические показатели этих свойств, выраженные в принятых числовых значениях, позволяют оценивать качество строительных материалов.

Механические свойства отражают способность тел (материалов) сопротивляться силовым (от механических нагрузок), тепловым, усадочным или другим напряжениям без нарушения установившейся структуры. Механические свойства разделяются на **деформационные и прочностные**.

Деформационные свойства характеризуют способность материала к изменению формы или размеров без отклонений в величине его массы. Главнейшие виды деформаций - растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб. Все они могут быть обратимыми и необратимыми, или остаточными. Обратимые полностью исчезают при прекращении действия на материал факторов, их вызывающих. Необратимые деформации, называемые, кроме того, пластическими, накапливаются в период действия этих факторов; после их снятия деформации сохраняются. Обратимые деформации, исчезающие мгновенно и полностью, называются упругими, а если в течение некоторого времени, то - эластичными.

На характер и величину деформаций влияет не только величина нагружения, но и скорость приложения нагрузки, а также температура материала. Как правило, с повышением скорости деформирования и понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругопластическим, уменьшаясь по абсолютной величине.

Пластические деформации, медленно нарастающие без увеличения напряжения, характеризуют текучесть материала. Пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени под влиянием силовых факторов, не способных вызвать остаточную деформацию за обычные перио-

ды наблюдений, называется **деформацией ползучести**, а процесс такого деформирования - **ползучестью** или **крипом**. Деформационные свойства строительных материалов, как и других тел, обуславливаются периодом, или временем релаксации. Релаксацией называется процесс самопроизвольного падения внутренних напряжений в материале, связанных с молекулярным перемещением при условии, что начальная величина деформации остается неизменной, например зафиксированной жесткими связями.

К другому важному механическому свойству относится **прочность**, т.е. способность материалов в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических, тепловых и других напряжений. Типичными прочностными характеристиками являются предел упругости, предел текучести и предел прочности при воздействии сжимающих, растягивающих или других видов усилий. Пределу упругости соответствует напряжение материала при максимальной величине упругой деформации; пределу текучести - постоянное напряжение при нарастании пластической деформации; пределу прочности - максимальное напряжение в момент разрушения материала (рис.2.1).

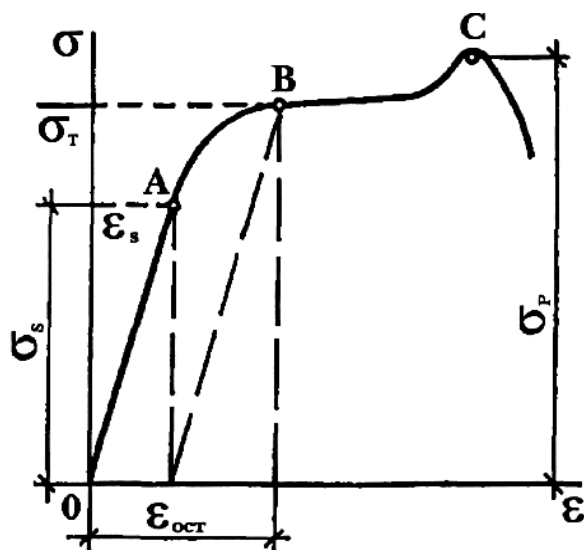


Рис 2.1. Диаграмма $\sigma - \epsilon$ при растяжении (σ_s - предел упругости, МПа; σ_T - предел текучести, МПа; σ_p - предел прочности, МПа; E - модуль упругости, или модуль Юнга, численно равный σ_s/ϵ_s , МПа; ϵ_s - относительная упругая деформация)

Величины модуля упругости и прочности можно определять неразрушающими методами, при которых испытуемый образец остается неразрушенным, в отличие от того, как это происходит, например, при испытании его под прессом. Среди неразрушающих методов - ультразвуковые, радиометрические, ударные и др.

Дополнительными характеристиками механических свойств при оценке качества материалов могут служить **твердость, истираемость и ударная вязкость**.

Твердость выражает способность материала сопротивляться проникновению в него более твердых тел, например при вдавливании стального шарика или конуса, царапаний резцом, сверлении, ударах молотка, пулевым выстреле и др. Эти условия испытания дают значения твердости либо только качественные, например по следу царапания, либо также и количественные - по глубине или площади отпечатка с учетом приложенной нагрузки.

О твердости нередко также судят по потере массы образцами при испытании на металлических кругах в присутствии абразивных порошков.

Ударная вязкость характеризует способность материала сопротивляться сосредоточенным ударным нагрузкам и определяется количеством работы, затрачиваемой на излом образца в фиксированном с помощью насечки месте. Работа, отнесенная к площади поперечника образца, характеризует единичную ударную работу на излом, называемую удельной ударной вязкостью. Она имеет практическое значение при оценке качества металлов, асбестоцементных и керамических изделий.

Строительные материалы обладают комплексом **физических свойств**.

К физическим относятся свойства, выражающие способность материалов реагировать на воздействие физических факторов - гравитационных, т.е. основанных на законе земного притяжения, тепловых, водной среды, акустических, электрических, излучения (ядерного, рентгеновского и др.) и т.п. Ниже рассмотрены некоторые физические свойства материалов.

Средняя плотность характеризует массу единицы материала в естественном состоянии (вместе с порами). Эта важная физическая характеристика определяется путем деления массы m образца на его объем V_0 и выражается зависимостью:

$$\rho_0 = m / V_0, \text{ г/см}^3, \text{ кг/м}^3 \quad (2.1)$$

Для точного измерения объема удобно принимать образцы правильной геометрической формы, хотя имеются несложные приемы измерения объема образцов и неправильной формы. При влажных образцах отмечается величина их влажности, при которой определялась средняя плотность.

Среднюю плотность рыхлых материалов, например песка, щебня, гравия, называют **насыпной плотностью**. В ее величине отражается влияние не только пор в каждом зерне или куске, но и межзерновых пустот в рыхлонасыпном объеме материала.

Истинная плотность - масса единицы объема однородного материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без учета пор, трещин или других полостей, присущих материалу в его обычном состоянии. Определяется как отношение массы m материала, выраженной в граммах или килограммах, к объему V его в абсолютно плотном состоянии:

$$\rho = m / V, \text{ г/см}^3, \text{ кг/м}^3 \quad (2.2)$$

Величина ρ , как правило, больше ρ_0 (средней плотности), так как подавляющее количество материалов содержит поры, трещины, каверны.

Пористость - степень заполнения объема материала порами; определяют ее с помощью вычисления по формуле:

$$\Pi = [(\rho - \rho_0)100] / \rho, \% \quad (2.3)$$

Если требуется выяснить, являются ли поры замкнутыми или сквозными, как распределены они в объеме материала по своим размерам, какое имеется реальное соотношение пор разных диаметров, тогда производят дополнительные исследования с применением специальных методов: ртутной порометрии, сорбционного, капиллярного всасывания и др.

При воздействии статических или циклических тепловых факторов материал характеризуется теплопроводностью, теплоемкостью, температуре - устойчивостью, огнеупорностью и другими свойствами.

Теплопроводность - способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий под влиянием разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Это свойство характеризуется теплопроводностью Λ , которая показывает количество теплоты, которое проходит через стенку толщиной 1 м и площадью 1 м² при перепаде температур на противоположных поверхностях в 1°С в течение 1 ч.

В качестве примеров следует отметить, что гранит имеет теплопроводность 3.2 ... 3.5 Вт/(м·К), а кирпич керамический - 0.80 ... 0.85 Вт/(м·К).

Теплоемкость характеризует способность материала аккумулировать теплоту при нагревании. Теплоемкость оценивается с помощью так называемой удельной теплоемкости, которая показывает количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг материала на 1°С. Удельную теплоемкость C иначе называют коэффициентом теплоемкости.

$$C = Q / m(t_2 - t_1), \quad (2.4)$$

где Q - количество теплоты, затраченное на нагревание материала, Дж; m - масса материала, кг; $(t_1 - t_2)$ - разность температур материала до и после нагрева, °С. Ее размерность - Дж/(кг·К).

Коэффициент теплоемкости воды равен $4.2 \cdot 10^3$ Дж/(кг · °С). Строительные материалы в сухом состоянии имеют более низкие значения этого коэффициента, например: каменные материалы - от $0.75 \cdot 10^3$ до $0.94 \cdot 10^3$, лесные материалы - от $2.42 \cdot 10^3$ до $2.75 \cdot 10^3$ Дж/(кг · °С), сталь $0.50 \cdot 10^3$ Дж/(кг · °С).

Огнестойкость характеризует способность строительных материалов выдерживать без разрушения действия высоких температур в течение сравнительно короткого промежутка времени (пожара). В зависимости от степени огнестойкости строительные материалы разделяют на *несгораемые, трудносгораемые и сгораемые*. Несгораемые материалы в условиях высоких температур

не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию. При этом некоторые материалы почти не деформируются (кирпич, черепица), другие могут сильно деформироваться (сталь) или разрушаться, растрескиваться (природные камни, например гранит), особенно при одновременном воздействии воды, применяемой при тушении пожаров. Трудногораемые материалы под воздействием высоких температур тлеют и обугливаются, но при удалении огня процессы тления или обугливания полностью прекращаются. Среди такого рода материалов находятся фибролит, гидроизол, асфальтовый бетон и др. Сгораемые материалы воспламеняются и горят или тлеют под воздействием огня или высокой температуры, причем горение или тление продолжается также после удаления источника огня. Среди них - древесина, войлок, битумы, смолы и др.

Если источник высокой температуры (выше 1580°C) действует на материал в течение длительного времени (соприкосновение с печами, трубами, нагревательными котлами и т.п.), а материал сохраняет необходимые технические свойства и не размягчается, то его относят к огнеупорным. Огнеупорными являются шамот, диас, магнезитовый кирпич и другие материалы, применяемые для внутренней футеровки (облицовки) металлургических и промышленных печей.

Материалы, способные длительное время выдерживать воздействие высоких температур (до 1000°C) без потери или только с частичной потерей прочности, относят к жаростойким, например жаростойкий бетон, керамический кирпич, огнеупорные материалы.

Температуростойкость или **термостойкость** - способность выдерживать чередование (циклы) резких тепловых изменений, нередко с переходом от высоких положительных к низким отрицательным температурам. Это свойство материала зависит от степени его однородности и от способности каждого компонента к тепловым расширениям. Последняя характеризуется коэффициентом теплового расширения - линейным или объемным. Линейный коэффициент показывает удлинение 1 м материала при нагревании его на 1°C , а объемный характеризует увеличение объема 1 м^3 материала при нагревании его на 1°C . Для цементного бетона линейный коэффициент теплового расширения равен $(10 \dots 14) \cdot 10^{-6}$, для древесины вдоль волокон $(3 \dots 5) \cdot 10^{-6}$.

Отношение материала к статическим или циклическим воздействиям воды или пара характеризуется величинами водопоглощаемости, гигроскопичности, водопроницаемости, паропроницаемости, водостойкости.

Водопоглощаемость - способность материала впитывать и удерживать воду. Процесс впитывания воды в поры называется водопоглощением и в лабораторных условиях проходит при нормальном атмосферном давлении. Образец постепенно погружают в воду и его полного водопоглощения достигают путем кипячения в воде, если температура 100°C не влияет на состав и струк-

туру материала. Образцы выдерживают в воде в течение определенного срока или до постоянной массы.

Величина водопоглощаемости (%) определяется по массе:

$$B = (M_2 - M_1) \cdot 100 / M_1 \quad (2.5)$$

)

или по объему

$$B_0 = (M_2 - M_1) / v, \quad (2.6)$$

где M_1 - масса до водопоглощения; M_2 - масса после водопоглощения; v - объем образца.

Водопоглощаемость меньше пористости, так как не все поры заполняются водой и удерживают ее.

Сходная величина **водонасыщаемости** определяется после насыщения материала (образца) водой под давлением 0.2 ... 0.3 МПа или 0.1 МПа при условии, что в порах был предварительно создан вакуум с помощью специального вакуум-насоса. Водонасыщаемость всегда больше водопоглощаемости, так как при принудительном пропитывании под давлением заполняются не только более крупные, но и тонкие поры и капилляры, недоступные воде при обычном процессе водопоглощения.

Гигроскопичностью называется способность материала поглощать влагу из влажного воздуха или парогазовой смеси. Степень поглощения воды или паров, которые частично конденсируются в порах и капиллярах материала, зависит от относительной влажности и температуры воздуха, парциального давления смеси. С увеличением относительной влажности и со снижением температуры воздуха гигроскопичность повышается.

За характеристику гигроскопичности принята величина отношения массы поглощенной влаги при относительной влажности воздуха 100 % и температуре +20 °С к массе сухого материала.

Влагоотдачей называют способность материала отдавать влагу в окружающую среду. Она измеряется количеством воды, которое материал теряет в сутки при относительной влажности воздуха 60 % и температуре +20°С. Влага, находящаяся в тонких порах и капиллярах, удерживается прочно, особенно ад-сорбционно-пленочная влага, что способствует ускоренному передвижению поглощаемой воды по сообщающимся порам в материале. Если между влажностью окружающей среды воздуха и влажностью материала устанавливается равновесие, то отсутствуют гигроскопичность и влагоотдача, а состояние принято именовать воздушно-сухим.

Водопроницаемость - способность материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в 1 час через 1 см² поверхности материала при заданном давлении воды. Иногда она также характеризуется периодом времени, по истечении кото-

рого появляются первые признаки просачивания воды под определенным дав-

лением через образец испытываемого материала. Давление воды устанавливается стандартом в зависимости от вида материала.

Паро- и газопроницаемость оцениваются с помощью особых коэффициентов, сходных между собой. Они равны количеству водяного пара (или воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 ч при разности давлений 10 Па.

Водостойкость - способность материала сохранять в той или иной мере свои прочностные свойства при увлажнении. Числовой характеристикой водостойкости служит отношение предела прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии к пределу прочности при сжатии в сухом состоянии. Это отношение принято называть коэффициентом размягчения. К водостойким относятся материалы, коэффициент размягчения которых больше 0.8, например гранит, бетон и др. Эти материалы можно применять в сырых местах без специальных мер по защите их от увлажнения.

В жестких условиях находится тот материал, который увлажняется при резких температурных перепадах. Вода, поглощенная материалом, особенно порами в поверхностном слое, замерзает при переходе через нулевую температуру с расширением на 8.5 %. Кристаллизация льда в порах и оттаивание вызывают внутренние напряжения, приводящие к образованию микро- и макротрещин. Способность материала, насыщенного водой, выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без значительных технических повреждений и ухудшения свойств называется морозостойкостью. Обычно замораживание образцов, насыщенных водой, производится в специальных морозильных камерах при температуре выше -17°C, а оттаивание организуется в воде, имеющей комнатную температуру. Продолжительность одного цикла составляет одни сутки. Многие материалы выдерживают от 200 до 300 циклов и более. Могут применяться и ускоренные методы испытания на морозостойкость или сохранность в солевых растворах при чередующейся кристаллизации соли в порах материала. В отношении некоторых материалов, например природного камня, о морозостойкости судят по величине коэффициента размягчения. Принято считать, что если коэффициент размягчения не ниже 0.9, то данный материал обладает достаточной морозостойкостью.

К физическим свойствам относятся также **звукопоглощаемость**, **поглощаемость ядерных излучений и рентгеновских лучей**, **электропроводность**, **светопроницаемость**. С помощью испытаний соответствующих образцов материала определяются числовые характеристики этих свойств. Они сравниваются с допустимыми нормами.

Для более полной оценки качества материалов изучают также **химические свойства**. Эта группа свойств выражает способность и степень активности материала к химическому взаимодействию с реагентами внешней среды и, кроме того, способность сохранять постоянным состав и структуру материала в условиях инертной окружающей среды. Большинство строительных мате-

риалов проявляют активность при взаимодействии с кислотами, щелочами, агрессивными газами и другими средами. Постепенное или быстрое изменение структуры и ее разрушение под влиянием агрессивных химических и электрохимических процессов в материале называют коррозией. Этот вопрос рассматривался при изучении долговечности изделий и сооружений.

К архитектурно-художественным свойствам относят: **блеск** - способность направленно отражать световой поток; **текстура** - рисунок природного материала, выражающий на его поверхности характерную структуру, особенности строения;

фактура - видимое строение поверхности материала (изделия). По характеру поверхности материала различают две группы фактур: рельефные и гладкие;

цвет - осознанное зрительное ощущение, вызываемое в результате действия потоков электромагнитного излучения в диапазоне видимой части спектра. Цветовая характеристика необходима для оценки материала с целью обеспечения комфорта и цветовой гармонии отделки.

Прозрачность - свойство материала пропускать свет, не изменяя направление его распространения. Показатель учитывают при использовании полимерных материалов в зоне световых лучей. Определяется как

$$\tau_{\text{пр}} = \Gamma / I_0,$$

(2.7)

где Γ - интенсивность света, прошедшего выходную поверхность; I_0 - интенсивность света, падающего на противоположную поверхность материала.

Этот показатель называется коэффициентом прозрачности.

Радиационная стойкость - свойство материала противостоять воздействию интенсивных потоков радиоактивного излучения, изменяющего его структуру и свойства. Показатель учитывают при выборе конструкционных материалов, работающих в зоне ионизирующих излучений для обеспечения надежности защиты от них.

Светопроницаемость (или просвечиваемость) - свойство материала пропускать прямой и рассеянный свет. Показатель необходим при расчете освещенности помещений. Этот показатель характеризуется коэффициентом светопроницаемости и количественно определяется как

$$\eta = 1 / t_0,$$

(2.8)

где 1 - полный световой поток, выходящий из слоя материала во всех направлениях; t_0 - световой поток, падающий на материал.

Светостойкость - свойство материала сохранять свой цвет под действием световых лучей. Показатель учитывают при выборе светостойких пигментов в покрытии и связующих в композициях.

Изменение линейных размеров называется относительной деформацией и определяется как

$$\varepsilon = 100\Delta l / l, \quad (2.9)$$

где Δl - абсолютная деформация, см; l - первоначальный размер образца, см.

Эластичность - свойство материала выдерживать без повреждения изгиб из плоскости. Показатель необходим для оценки эксплуатационных свойств лакокрасочных покрытий. Количественно оценивается в миллиметрах по минимальному диаметру металлических стержней, вокруг которых происходит изгиб.

Деформируемость - свойство твердых материалов изменять свою форму (линейные размеры) или объем под действием внешней нагрузки, а также собственной массы, температуры и других факторов.

2.2. Основные структурно-механические и энергетические принципы, демпфирование элементов структуры материала

В процессе формирования дисперсных систем, составляющих основу свойств силикатных материалов, необходимо учитывать, что каждому микро- и макроскопическому состоянию отвечает свой энергетический уровень.

Физика разрушения твердого тела отражает прежде всего динамические эффекты коллективных возбуждений твердой и жидкой фаз. Теория коллективных взаимодействий в твердеющей сложной жизнеспособной системе основана на представлениях о зависимых и независимых друг от друга флуктуациях плотности. Физика разрушения твердых тел включает в себя два взаимосвязанных процесса: возникновение в упругом континиуме зародышевых трещин и накопление их в зоне разрушения до критической концентрации, при которой тело разрушается. Физическая суть механизма трещин может быть различной, например, накачка энергии из окружающей среды в разрушающуюся флуктуацию плотности, так называемый дилатон по Журкову. Согласно современным представлениям флуктуации в твердом теле связаны с процессами возбуждения, столкновения фотонов (с фотонами, дефектами кристаллической решетки, границей поверхности и др.). Фотон - квазичастица и существует лишь как элемент возбуждения в твердом теле.

Квазичастица - одно из фундаментальных представлений, лежащее в основе современной квантовой теории твердого тела. При этом следует акцентировать внимание на то, что флуктуации в твердом теле - эффект коллективный. В нем участвует группа атомов, создавая флуктуации энергии и очаги беспорядка. Эти процессы возникают самопроизвольно и существуют при температуре выше абсолютного нуля. Дилатон не только очаг локального разрушения, но и одновременно является точечным источником дислокации.

Рассмотрим данные по изменению удельной поверхности энергии разрушения некоторых поликристаллических материалов (табл.2.1). Как известно, поверхностная энергия является мерой прочности на разрыв твердых тел. Приведенные данные в определенной мере отражают физику разрушения в зеркальном отражении условий формирования прочности этих материалов, т.е. их генезис.

Таблица

2.1 Удельная поверхностная энергия разрушения некоторых поликристаллических материалов

Вид материала	Удельная поверхностная энергия, Дж/м ²
Гранит	31
Клинкер портландцемента	12-22
MgO	20-40
Al ₂ O ₃	18-46
Стекло	4

Искусственные керамические материалы получают методом термической обработки различного минерального сырья и техногенных побочных продуктах промышленности. Выделение химически связанной воды при дегидратации обуславливает поризацию перлита и вермикулита. Для перлита характерны замкнутые сферические и капиллярные поры, которые образовались за счет паров воды. Вермикулит - слоистый пакет чередующихся многотысячных пластинок, образовавшихся на несовершенных плоскостях спайности природных слюд (биотита, флогопита). Фазовый состав в преобладающем виде для перлита - остеклованные кислые алюмосиликаты, кварц, полевые шпаты, пи-роксены.

Вспученные пластичные глины (керамзит) - один из наиболее популярных видов пористых заполнителей. Качество вспучивания пластичных каолиновых глин, как слоистых, ленточных гидросиликатов, высокое. Размер пор во вспученных глинах возрастает прямо пропорционально крупности гранул. Поры, как правило, замкнутые, сферические. Мелкие фракции керамзита обладают наибольшим водопоглощением и высокой морозостойкостью (табл.2.2).

Таблица 2.2

Водопоглощение и морозостойкость керамзитового песка, цементного камня и глиняного кирпича

Вид материала	Пористость, %	Водопоглощение за 1 час, % по объему	Объем пор, заполненных водой, от общего	Морозостойкость при - 50°C
Керамзитовый песок	65.5	3.5	5.4	35
Цементный камень	38.0	36.0	94.7	19
Кирпич глиняный	27.7	21.0	75.8	21
Ячеистый бетон	80.9	27.5	34.0	28

Определяющая роль в механизме разрушения материалов типа бетона и керамики принадлежит адгезионной и когезионной прочности связующих. С точки зрения распространения трещины в хрупком теле механизм разрушения силикатных материалов можно представить в следующем виде. Как только трещина начинает распространяться, скорость подвода движущейся ее энергии превосходит скорость ее потребления (диссипации) в форме поверхностной энергии и энергии деформирования (в случае постоянной нагрузки). Этот избыток может перейти в кинетическую энергию частей, смещаемых при продвижении трещины, и распространение трещины ускоряется. Рассмотрим схему уровней возможных разрушений, которая показана на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Схема уровней возможных разрушений в реальном твердом теле

При этом следует представлять материалы типа бетонов и керамики в виде однородной и хрупкой пластины, находящейся под влиянием равномерно растягивающих напряжений (рис.2.3).

Согласно теории распространения трещин в вязкоупругих средах, типа силикатных материалов, развитие трещины предлагается моделировать как совокупность элементов Фойгта (рис.2.4). Каждый из элементов испытывает под напряжением определенную деформацию. Когда деформация первого элемента, соответствующего малой области в вершине трещин, достигнет критического значения, область разрушается, длина трещины возрастает, напряжение перераспределяется на соседние элементы, после чего процесс повторяется снова и снова.

е

Трещины распространяются преимущественно вдоль зоны меньшей плотности в перпендикулярном направлении возникших минимальных напряжений, то есть вдоль образца (вдоль волокон) и между фазами цементного камня, иногда разрушая их отрывом или скольжением ступеньками среза. Это типичные поверхности вязкого разрушения. Траектория развития продольных трещин относительно прямолинейна или с тенденцией ветвления.

Скорость, с которой будет уменьшаться внутрискруктурная запасенная упругая энергия при силовом нагружении, реализуется способностью структуры к демпфированию и ее разрушению.

Руководствуясь изложенными выше основами и положениями структурной механики силикатных материалов, представляется возможным, в зависимости от уровня структурных фаз, их дефектов (включая поры и капилляры), с учетом поверхности раздела, классифицировать образование трещин по их размерам.

Субмикротрещины. Их длина соответствует размеру цементного геля, образовавшихся гидросиликатов кальция. Размер этого класса трещин и дефектов $10^9 - 10^7$ м.

Микротрещины. Длина трещины больше, чем в первом случае, а вызванная ею концентрация напряжений больше концентрации напряжений, вызванной дефектами, т.е. субмикротрещинами. Их размер определяется верхней границей радиуса микропор, капиллярных пор цементного камня, цементирующими фазами кристаллической структуры - портландита и комплексами гидросульфалоумоферрита. Класс этого рода трещин можно характеризовать размером в пределах $10^{-7} - 10^{-5}$ м. Он соответствует длине гриффитсовских трещин.

Макротрещины. Их длина соответствует размерам крупных кристаллов этtringита, крупности зерен мелкого заполнителя, макропор и отдельных видов технологических дефектов в бетоне. Класс этих трещин определится размером в пределах $10^{-5} - 5 \cdot 10^{-3}$ м и более.

При взаимодействии многокомпонентных составляющих бетона создается структура с определенными закономерностями. В процессе ее формирования каждому структурному уровню соответствует свой энергетический критерий. В этом аспекте особенно важно оценить возможность торможения роста трещины через дискретную систему демпфирования в структуре. Физическая природа затухания упругой энергии неоднозначна. Она может быть вызвана процессами, происходящими как в твердой фазе новообразований цементного камня, так и в результате термоупругой релаксации на границе фаз и заполнителей, диффузией жидкой фазы, т.е. ее вязким перемещением в поровом пространстве, инициированными переменными напряжениями процесса структурообразования.

В табл. 2.3 приведена классификация добавок демпфирования с учетом физического состояния и механизма их действия. В предложенной классификации добавок, с учетом весьма широкого диапазона регулируемых свойств бетона, в основе заложено физическое, агрегатное состояние и механизм их действия. Все эти добавки демпфирования имеют модуль деформации существенно ниже, чем у цементного камня, раствора и бетона.

Таблица 2.3

Классификация демпфирующих добавок бетона

Регулируемые свойства бетона	Груш чы х добавок		
	твеплый	жилкие	возлухововлекаюши
Прочность при сжатии, изгибе, растяжении Предельная растяжимость Ударная вязкость Трещиностойкость Выносливость Морозостойкость Солестойкость Водонепроницаемость Усадочные деформации	Керамзит, шлаки, золы, шунгизит, аглопорит, вспученный вермикулит, вспученный перлит, фторангидрит, асбест, резиновая крошка, древесные опилки, горелая	Водорастворимые смолы С-89, ДЭГ-1, ТЭГ-1, ВРП. Полимерные дисперсии. Водная дисперсия латекса. Суспензии кремнеорганических жидкостей,	СНВ,Л-1,ЛСТМ,ГКЖ-94, С-3+ЛСТ,ГКЖ-10,11, ОП-6,СПД,СДО, Сульфанол, нитрафен и др

Поскольку трещина есть элемент структуры материала, конструкции, то ей присущи вполне определенные регулируемые параметры демпфирования, обеспечивающие зону пластической деформации в процессе развития трещин, что исключает хрупкое разрушение бетона, аварийное состояние конструкций на его основе..

2.3. Дефекты в структуре цементных и керамических материалов, теоретические концепции их прочности

Прочность твердых тел в значительной мере определяется видом и количеством дефектов в структуре материала. В реальных материалах имеется большое число различного рода микро- и макродефектов, развитие которых приводит к разрушению тела. Существует различная классификация дефектов в зависимости от рассматриваемого уровня их иерархической структуры. При рассмотрении материалов с зернистой дисперсной фазой - матрицы (связующее) и включений (заполнителей) - наибольшее признание получило **разделение дефектов на два рода**. Дефекты *первого рода* - округлые дефекты типа пор и дефекты **второго рода** - остrokонечные дефекты типа трещин. Возможно совмещение дефектов, например, пора с трещиной.

Пользуясь классификацией, принятой Г.И. Горчаковым, М.М. Катанным и Б.Г. Скрамтаевым, и распространяя ее как на цементные, так и на керамические материалы, дефекты первого рода разделим на три вида: ультрамикropopры с размерами до $100 \cdot 10^{-10}$ м; микropopры размером $(100 - 1000) \cdot 10^{-10}$ м; макropopры размером более $1000 \cdot 10^{-10}$ м.

Анализ, проведенный Ю.В.Зайцевым показал, что различие в распределении напряжений у отверстий различной конфигурации, относящихся к дефек-

там первого рода (треугольник, прямоугольник, овал и др.), не очень существенны и поэтому отверстия случайной формы можно заменить эллиптическими отверстиями.

Формирование полостей и капилляров происходит с сохранением объективной закономерности - минимума поверхностной энергии, соответствующей круговым очертаниям поверхностей. Исследования пористости цементных материалов показывают, что коэффициент неравномерности пор в большинстве случаев составляет 1.15 - 1.40.

Дефекты в структуре материалов с пористыми заполнителями имеют место как у матрицы, так и включений. Материалы стенок пор их прочность и другие свойства в матрице и включениях различны. Рассмотрим, какое же влияние оказывают оба компонента структуры на свойства материала. Существуют теоретические концепции о зависимости прочности материалов с зернистой дисперсной фазой от объемного содержания и свойств компонентов. Они посвящены выявлению основных закономерностей формирования структуры материала, анализу влияния свойств и содержания компонентов на его прочность. С.В.Максимовым показано, что керамические материалы с повышенным содержанием отощителей можно рассматривать по аналогии с бетонами на пористых заполнителях. Предложенный ряд зависимостей для определения прочности бетонов и керамики на пористых заполнителях и отощителях можно разделить на три группы.

К первой группе можно отнести наиболее простые зависимости, в которых прочность материала зависит от свойств компонентов и их относительного содержания. Типичным представителем этой группы является зависимость Ю.Е.Корниловича:

$$e \quad (2.10)$$

где R_1 - прочность растворной составляющей; R_2 - прочность крупного заполнителя; ϕ - объемная концентрация заполнителя или отощителя.

Во вторую группу входят формулы, описывающие прочность материала в зависимости от деформативных свойств компонентов. Наибольшее признание среди них получила формула А.И.Ваганова, который выделяет две области разрушения. Так в первой области предел прочности им рекомендуется определять выражением:

$$e \quad (2.11)$$

где E_B - модуль деформации материала при сжатии в момент разрушения; ϵ_{u1} - предельная сжимаемость скелета; ϵ_{u1}' - предельная растяжимость скелета; ν - коэффициент Пуассона.

Разрушение материала в этой области будет начинаться с раствора.

После того как величина поперечных деформаций материала достигнет величины, равной предельной растяжимости заполнителя или отощителя, увеличение предельных деформаций материала прекратится. Разрушение в этой области начинается с заполнителя или отощителя. Предел прочности материала может быть определен выражением:

$$\epsilon \quad (2.12)$$

где ϵ_{U2} - предельная растяжимость заполнителя или отощителя.

Третья группа объединяет формулы, учитывающие прочность компонентов, их объемное содержание и деформативные свойства. При этом в зависимости от исходных позиций возможно использование формулы Б.Г.Скрамтаева, учитывающей начало разрушения материала с растворной части:

$$R = R_1 \cdot [1 + (E_2/E_1 - 1) \cdot \phi], \quad (2.13)$$

)

где E_1 и E_2 - модули упругости заполнителя и раствора или с заполнителя у С.Е.Фрейфельда:

$$R = R_2 \cdot [1 + (E_i/E_2 - 1) \cdot \phi]. \quad (2.14)$$

)

Пористые заполнители перераспределяют напряжения в материалах, возникающие благодаря различным модулям упругости связующего и заполнителей. Это позволяет, по данным Л.П.Орентлихер, существенно снижать результирующие напряжения. Г.И.Горчаков и И.А.Иванов в связи с этим считают соотношение модулей упругости связующего материала и заполнителя одной из характеристик структуры силикатных материалов.

Пористые заполнители разгружают напряжения в материале, возникающие от внешней нагрузки. Напряжения в заполнителях превосходят средние по материалу. Контактная зона заполнителей, передающая напряжения от раствора на заполнители, оказывает определяющее влияние на свойства материала. Напряжения в контактной зоне подразделяются на тангентальные и радиальные. Образование контактной зоны, отличающейся большей плотностью и деформативностью по сравнению с растворной составляющей, повышает результирующую прочность материала. Обеспечение повышенной плотности контактной зоны пористых заполнителей, очевидно, может достигаться созданием оптимальных условий водомиграционных процессов в период формирования структуры, образованием новых соединений в процессе твердения и спекания связующих.

2.4. Основные понятия о теплопередаче, состоянии теории теплофизики строительных материалов

Передача теплоты, происходящая в твердых телах, неоднозначна и определяется существующими для каждой из них закономерностями.

Теплопередачей называют теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку или через поверхность раздела между ними.

Количество теплоты, переданное через изотермическую поверхность в единицу времени, называют тепловым потоком и измеряют в Вт (Дж/с). Интенсивность теплового потока прямо пропорциональна разности температур на нагретой и холодной поверхностях, т.е. температурному градиенту, который является вектором и имеет положительный знак при возрастании температуры.

Температурный градиент есть не что иное, как предел отношения изменения температуры Δt к расстоянию между изотермами по нормали Δn при условии, что

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left[\frac{\Delta t}{\Delta n} \right] = \frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad } t, \quad \Delta n \rightarrow 0, \text{ т.е.} \quad (2.15)$$

Это выражение справедливо для стационарного теплового режима.

Тепловой поток, отнесенный к единице поверхности тела, через которое осуществляется процесс теплопередачи, называют поверхностной плотностью теплового потока $g = Q/F$, Вт/м². Величина g - вектор, направление которого противоположно направлению температурного градиента, так как тепловая энергия самостоятельно распределяется только в сторону убывания температуры.

Основной закон теплопроводности сформулирован Фурье: *плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры*

$$(2.16)$$

е

где A , - множитель пропорциональности, характеризующий способность вещества (материала) проводить теплоту, т.е. его теплопроводность.

Из уравнения (2.16), которое является математическим выражением основного закона распространения теплоты путем теплопроводности (закон Фурье), следует, что теплопроводность A , Вт/(м·К) или Вт/(м·°С), определяет интенсивность теплового потока, проходящего через 1 м² поверхности при температурном градиенте 1 К/м (1°С/м), т.е. при разности температур на горячей и холодной сторонах материала толщиной 1 м в 1 К.

Перенос теплоты теплопроводностью характерен для веществ (материалов), находящихся в любом агрегатном состоянии. Он имеет место в

сплошной среде, т.е. при непосредственном соприкосновении тел или частиц одного тела, имеющих различную температуру. В общем же виде теплопере-

нос представляет собой сложный теплофизический процесс, в котором можно выделить кроме теплопроводности еще два элементарных вида переноса теплоты: конвекцию и тепловое излучение.

Конвекцией называют перенос теплоты в жидкостях, газах или сыпучих средах потоками вещества. Этот вид теплообмена свойственен движущимся жидкостям или газам. При этом различают два вида конвекции: естественную, при которой происходит самопроизвольное перемешивание частей жидкости или газа с различной температурой, и вынужденную, когда движение частиц вызывается внешними воздействиями (принудительном перемешивании, продувкой и т.п.).

Интенсивность конвективного теплообмена (теплопереноса) характеризуется коэффициентом теплопередачи α , определяемым по формуле Ньютона:

$$(2.17)$$

е

где F - поверхность теплообмена.

Значения α и, следовательно, интенсивность теплообмена зависят от множества параметров этого процесса: формы, размеров и температуры конструкций, скорости движения, температуры и физических свойств (вязкости, теплоемкости, плотности и т.д.) газов или жидкостей и ряда других факторов.

Однако при прочих равных условиях α зависит главным образом от условий движения среды. Поэтому значение конвективного теплообмена в ограждающих строительных конструкциях и теплоизоляционных материалах определяется размером воздушных полостей и пор, а также степенью связанности этих полостей и пор между собой.

Тепловым излучением называют перенос теплоты в виде электромагнитных волн с двойным взаимным превращением: тепловой энергии в лучистую на поверхности тела, излучающего теплоту, и лучистой энергии в тепловую на поверхности тела, поглощающего лучистую теплоту. Этот вид теплопередачи возможен лишь в газообразной среде или в вакууме.

Долю теплообмена лучеиспусканием определяют по формуле:

е

$$(2.18)$$

где ϵ_n - приведенная степень черноты тел, между которыми происходит лучистый теплообмен; C_0 - коэффициент излучения черного тела, равный $5.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$; T_1 и T_2 - температуры поверхностей, между которыми происходит теплообмен.

В данной формуле наиболее значимой величиной являются температуры, которые находятся в четвертой степени. Следовательно, лучистый теплообмен решающим образом зависит от температуры материала или, вернее, от разно-

сти температур между излучающей теплоту поверхностью и поверхностью, поглощающей теплоту.

Если рассмотреть элементарную пору в каком-то теплоизоляционном материале, заполненную воздухом или газом, то опираясь на закономерность, выраженную формулой (2.18), можно сделать следующее заключение. Чем больше диаметр поры, тем больше разница температуры между более и менее нагретыми ее поверхностями, тем, следовательно, более интенсивен теплообмен излучением.

С другой стороны, анализ формулы позволяет сделать заключение о том, что при повышении степени нагретости тела (при повышении температуры эксплуатации материала) передача теплоты излучением возрастает.

Практика показывает, что этот вид теплопередачи имеет существенное, а иногда и преобладающее значение только при изоляции промышленного оборудования, т.е. при высоких температурах. Следует заметить, что элементарные виды теплообмена не обособлены и в чистом виде в задачах строительной теплофизики не встречаются. Как правило, в строительных конструкциях одновременно имеют место все виды теплообмена, поэтому количественная оценка вклада каждого из них в общую теплопередачу затруднена.

Теплоизоляционные материалы должны характеризоваться высокой общей пористостью, так как воздух, заполняющий поры - плохой проводник теплоты, и не иметь сплошного каркаса из основного материала. С другой стороны, для снижения конвективного переноса теплоты необходимо стремиться к максимально возможному уменьшению размеров пор и ходов, соединяющих эти поры. При этом теплоизоляционные материалы должны быть защищены от увлажнения, хорошо противостоять процессам гниения, замораживания и оттаивания, т.е. характеризоваться высокими эксплуатационными показателями.

Решающими показателями эксплуатационных свойств теплоизоляционных материалов являются: термическая стойкость - способность материала выдерживать многократное попеременное нагревание и охлаждение; температуростойкость - способность материала длительное время выдерживать воздействие высокой температуры; огнеупорность - способность материала выдерживать, не расплавляясь (не размягчаясь), воздействие высоких температур; коррозионная стойкость - способность материала противостоять агрессивным средам и т.п.

По числу слоев конструкции подразделяют на однослойные и многослойные. Однако с позиций теплофизики практически все строительные ограждающие конструкции и тем более ограждения высокотемпературного технологического оборудования и трубопроводов следует считать многослойными. Например, однослойные (по строительной номенклатуре) стеновые панели из керамзито- или газобетона фактически состоят из трех слоев: наружного фак-

турного слоя, слоя основного материала и внутреннего отделочного слоя. Теплопроводность каждого из этих слоев различна.

По форме ограждающие конструкции подразделяют на плоские, цилиндрические (трубопроводы) и шаровые стенки (емкости для хранения сжиженного газа, воды и др.).

Теплопроводность ограждающих конструкций. Теплопроводность различных конструкций с удовлетворительной точностью можно описать единой формулой:

$$Q = \lambda F_x \Delta t / \delta, \quad (2.19)$$

где F_x - расчетная поверхность тела;

λ / δ - термическое сопротивление или сопротивление теплопередаче.

В расчетах принимается, что температура поверхностей тела во всех точках одинакова или незначительно отличается. Если же температура на поверхности изменяется резко, то необходимы сложные расчеты или экспериментальное определение теплопроводности.

Тепловые потери конструкций из одинаковых материалов зависят при прочих равных условиях от формы конструкции, так как она предопределяет площадь поверхности теплопередачи. Поэтому наименьшие потери характерны для вогнутых поверхностей, наибольшие - для выпуклых; для плоской стенки показательны промежуточные значения (рис.2.5).

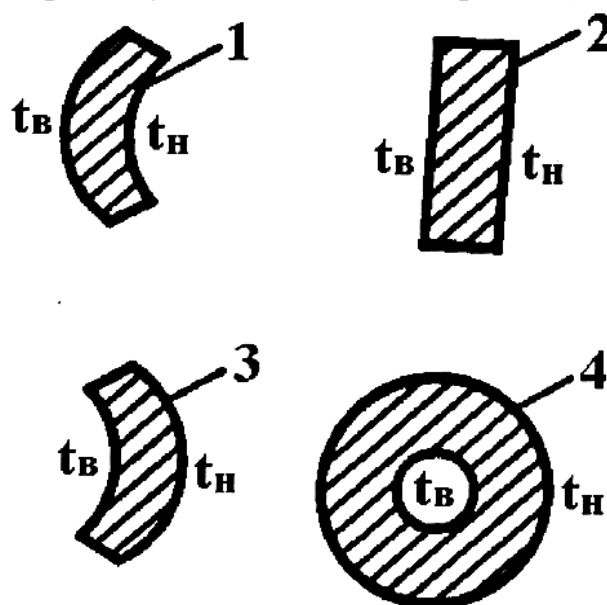


Рис. 2.5. Влияние формы теплоизолирующей конструкции на теплотери: 1 - вогнутая стенка; 2 - плоская стенка; 3 - выпуклая стенка; 4 - цилиндрическая стенка

Для расчетов теплопередачи через теплоизоляцию горячего оборудования необходимо знать коэффициенты теплопередачи на горячей и холодной сторонах стенки (α_r и α_x). С учетом этих коэффициентов поток теплоты, передаваемый через стенку, описывается уравнением:

$$g = \frac{1}{1/\alpha_x + \delta/\lambda + 1/\alpha_z} \cdot \Delta t = \kappa \Delta t, \quad (2.20)$$

где κ - коэффициент теплопередачи, зависящий от толщины стенки, ее теплопроводности и коэффициентов теплоотдачи.

Величину, обратную κ , называют полным термическим сопротивлением теплопередачи R

$$(2.21)$$

которая задается при $R = 1/\kappa = 1/\alpha_x + \delta/\lambda + 1/\alpha_z$, проектировании ограждений.

При расчете ограждающих конструкций зданий учитывают погодные условия данной местности, которые приведены в СНиПах для всех климатических районов. На основе этих показателей рассчитывают сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций R_0 , которое должно быть не менее требуемого R_0^{TP} , устанавливаемого санитарно-гигиеническими условиями и определяемого экономическим расчетом R_0^{3K} . Требуемое сопротивление теплопередаче:

$$R_0^{TP} = n(t_n - t_n) / (\Delta t^n \alpha_n), \quad (2.22)$$

где n - коэффициент, зависящий от местоположения наружной поверхности конструкции (изменяется от 0.4 для стен, отделяющих отапливаемые помещения, до 1.0 для наружных стен);

t_n - расчетная нормируемая температура внутри помещения;

t_n - расчетная зимняя температура наружного воздуха;

Δt_n - нормируемый температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и стеной;

α_n - коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждения.

Толщину ограждений определяют исходя из расчетного сопротивления конструкции R и теплопроводности материала:

$$\delta \approx R \cdot \lambda. \quad (2.23)$$

Если известны значения R и λ , то легко ориентировочно рассчитать толщину теплоизоляционного слоя и материалоемкость ограждений с различными видами теплоизоляции (табл.2.4).

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций с учетом экономических условий определяют по формуле:

$$R_0^{TP} = (B_k + B_z + T_z) / K_{огр}, \quad (2.24)$$

где B_k - удельное капитальное вложение в устройство теплоснабжения; B_z

- годовые удельные эксплуатационные затраты на отопление;

$T_{\text{э}}$ - нормативный срок окупаемости дополнительных капиталовложений; $K_{\text{огр}}$ - стоимость 1 м³ однослойной ограждающей конструкции или теплоизоляционного слоя многослойной конструкции.

Таблица 2.4

Толщина и материалоемкость стены жилого дома из различных строительных материалов ($R = 1,5$ г. Ульяновск)

Материал стены	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Толщина стены, м	Масса 1 м ² стены, кг
Кирпичная кладка	0.77	0.99	1920
Керамзитобетон	0.41	0.53	570
Газобетон ($\rho_{\text{ср}}=600\text{кг/м}^3$)	0.21	0.3	180
Алюминиевая конструкция с пенополиуретаном	0.041	0.075	60

Из формулы (2.24) следует, что для сохранения постоянным Ro^{3K} удорожание теплоизоляционного материала должно быть пропорционально снижению теплопроводности. Например, если сравнить удельную стоимость фибролита $8_{\text{уд}} = A, K_{\text{огр}} = 0.098 \cdot 18.5 = 1.6$ с удельной стоимостью пенополистирола, равной $0.041 \cdot 30 = 1.2$, то можно убедиться, что в данном случае достигается явное снижение удельной стоимости, несмотря на более высокую стоимость 1 м³ последнего. Из этого следует, что необходимо стремиться к производству материалов с пониженной теплопроводностью.

На первом этапе при расчете температур и теплозащитных показателей конструкций основным и решающим фактором является теплообменный процесс.

Теория теплоустойчивости О.Е.Власова доказала ошибочность оценки теплоустойчивости ограждения только по величине теплоемкости и была положена в основу современного теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

К.Ф.Фокиным разработаны методы конструирования ограждающих конструкций с учетом их теплотехнических свойств, способ расчета температурных полей при стационарной и нестационарной теплопередаче методом конечных разностей. Выполнены расчеты влажностного режима ограждающих конструкций при увлажнении жидкой и парообразной средой, предложена методика определения расчетных зимних температур наружного воздуха.

Ф.В.Ушков исследовал теплообмен ограждающих конструкций крупнопанельных зданий. Им даны решения двумерных задач стационарной теплопроводности, разработан метод расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стеновых панелей сложной конфигурации.

В.М.Ильинский создал основу строительной климатологии и климатического районирования территории стран СНГ.

Б.Н.Богословский разработал методику комплексного расчета теплового режима помещений, который рассматривался совместно с воздушным и дал возможность учета различных факторов на решение проблемы создания оптимального микроклимата помещений.

Теория теплопроводности и теория сушки А.В.Лыкова послужили основой для решения вопросов теплопередачи с учетом всего комплекса процессов, происходящих в ограждениях. Он одним из первых обратил внимание, что улучшение эксплуатационных характеристик ограждающих конструкций непосредственно связано с учетом вида материала, его структуры, фазового состава.

Изменение теплопроводности строительных материалов происходит вследствие того, что всякий строительный материал состоит из основного вещества - основы и воздуха, содержащегося в порах материала. Теплопроводность воздуха имеет очень незначительную, по сравнению с теплопроводностью основного вещества материала, величину, зависящую главным образом от размеров и формы пор, например 0.021 Вт/м-°С при размере пор около 0.1 мм до 0.027 Вт/м-°С при размере пор около 2 мм. Коэффициент теплопроводности самого материала равен некоторой средней величине A , между $A_{\text{с}}$ основного вещества материала и $X_{\text{в}}$ воздуха, содержащегося в порах. Чем меньше пор в материале, тем больше коэффициент теплопроводности и наоборот.

Однако единой для всех материалов зависимости между теплопроводностью материала и его плотностью не существует, т.к. на величину коэффициента теплопроводности оказывает влияние кроме пористости также размеры пор и структуры материала. При одинаковой пористости величина λ (среднее) будет тем больше, чем крупнее поры материала, так как с увеличением размера пор повышается коэффициент теплопроводности воздуха, заключенного в порах. Кроме того, имеет значение, будут ли поры замкнуты или сообщающиеся. При сообщающихся порах в материале могут возникать конвекционные потоки воздуха, что приводит к увеличению его коэффициента теплопроводности. Стремление изготовить из определенного исходного сырья теплоизоляционный материал, обладающий все меньшей плотностью, неизбежно приводит к увеличению размера пор между твердыми составными частями. Но в крупных порах имеет место большая разность температур стенок пор, чем в мелкопористых материалах, это же влечет, в свою очередь, на увеличение лучистого теплообмена в порах.

Вместе с тем, влияние пористости нельзя рассматривать отдельно без взаимосвязи с влажностью материалов. Передача тепла через полости, содержащие смесь воздуха, воды и водяных паров, может осуществляться различными путями: вследствие проводимости воздуха, путем конвекции, вследствие проводимости воды, путем диффузии паров воды в воздухе.

Передача тепла вследствие проводимости воды имеет место в том случае, когда содержание воды в материале достаточно велико, так что воздух в неко-

торых полостях, в частности в капиллярах, частично или полностью замещается водой. Коэффициент теплопроводности воды увеличивается от 0.568 до 0.66 Вт/м-°С при повышении температуры от 0 до 100 °С.

С повышением температуры коэффициент теплопроводности возрастает тем больше, чем меньше плотность материала. Имеет место увеличение теплопроводности основы. Отмечено, что с увеличением температуры теплопроводность кристаллических тел понижается, а теплопроводность стеклообразных - повышается, причем интересен переход этих зависимостей через 0°С. Для стеклообразных материалов он характеризуется плавным переходом, почти прямолинейной зависимостью, для кристаллических наблюдается резкий подъем теплопроводности, а затем спад. Следовательно, наличие аморфной составляющей в цементном камне и заполнителе будет оказывать благоприятное влияние на теплотехнические свойства материалов при эксплуатации в условиях отрицательных температур.

Согласно О.Е.Власову, изменение теплопроводности с повышением их температуры происходит в результате увеличения теплопроводности.

Интенсивность влажностных приращений в целом увеличивается с уменьшением плотности силикатных материалов.

Линейной зависимости теплопроводности с увеличением влажности нет, несмотря на прямое различие коэффициентов теплопроводности воды и воздуха. На сорбционной стадии приращения теплопроводности несколько больше, чем на сверхсорбционной. Объяснение этому можно найти из анализа аномалий воды. Теплопроводность структурированной адсорбционной воды при температуре 25 - 30 °С почти в 40 раз больше (35 Вт/м²-град) теплопроводности воды в обычном состоянии. Это свидетельствует о доминирующем влиянии сорбционной влаги на теплопроводность материала. Отсюда очевидна актуальность повышения точности определения сорбционной влажности для прогнозирования равновесного влагосодержания материала в отопительный период.

2.5. Теоретические принципы формирования оптимальной пористой структуры теплоизоляционных материалов

Оптимизация волокнистой структуры материалов. Пористость теплоизоляционных волокнистых материалов складывается из межволокнутой пористости и пористости самих волокон. Подавляющее количество волокнистых теплоизоляционных материалов производится из волокон, пористость которых равна нулю (минеральных, стеклянных, муллитокремнезёмистых). Поэтому применительно к ним оперируют понятием межволокнутой пористости. Поры в материалах с волокнистой структурой имеют неопределенную форму и представляют собой сообщающуюся систему воздушных полостей, в которой замкнутую пору отсутствуют.

Теплопроводность таких материалов во многом зависит от размера пор, определяющего вклад конвективного переноса теплоты. Уменьшение размеров пор достигают простым приемом - снижением диаметра волокон, т.е. увеличением их в единице объема материала. Кроме того, чем тоньше волокно, тем меньше площадь контакта между волокнами и тем больше этих контактов, что повышает сопротивление материала передаче теплоты.

Сечение волокон должно быть круглым, так как в этом случае, во - первых, уменьшается масса твердой фазы в единице объёма материала и, во - вторых, становится меньше площадь контактов между волокнами, что снижает теплопроводность через волокна.

По теплофизическим характеристикам оптимальна неровная (рыхлая) поверхность волокон, так как при этом еще больше уменьшается площадь контактов между волокнами. Однако при этом снижается прочность и упругость волокон, увеличивается расход связующего.

Таким образом, оптимальны волокна круглого сечения с плотной гладкой поверхностью, без резкого перепада диаметра по всей их длине.

Оптимизация материалов с зернистой структурой. Пористость материалов с зернистой фазой складывается из внутримежзерновой пористости гранул и образующейся пористости раствора. Внутримерная пористость, в большинстве случаев характеризующаяся ячеистой структурой, может быть закрытой (гранулы пенополистирола, керамзита) и открытой (перлит, вермикулит). Объем межзерновой пустотности, занимаемой раствором, определяется гранулометрическим составом и формой зерен и не зависит от их размера. Чем однороднее по размерам зерна, тем выше межзерновая пустотность. Полифракционные зернистые материалы характеризуются более плотной упаковкой и, следовательно, большей насыпной плотностью.

Основными параметрами структуры материалов с пористыми заполнителями являются: межзерновая пустотность заполнителей, толщина омоноличивающих их пленок, содержание воздушной фазы (рис.2.5). Нами в дальнейшем в основном рассматриваются плотные упаковки заполнителей (рис.2.6).

При плотной гексагональной упаковке пористые заполнители разных размеров находятся в условиях соприкосновения, предельный объем занимаемый ими составит:

$$V = [(\pi D_z^3 / 6) / (2 \cdot 2^{1/2} \cdot D_z^3 / 2)] \cdot 100 = 74.05 \%. \quad (2.27)$$

При условии покрытия пористых заполнителей тонкой пленкой, образующей после камнеобразования контактную зону, их объем можно определить по зависимостям:

$$V_1 = 0.74 \cdot [D_z / (D_z + \delta_k)]^3 \cdot 100, \quad (2.28)$$

где D_z - диаметр заполнителей; δ_k - толщина контактной зоны заполнителя.

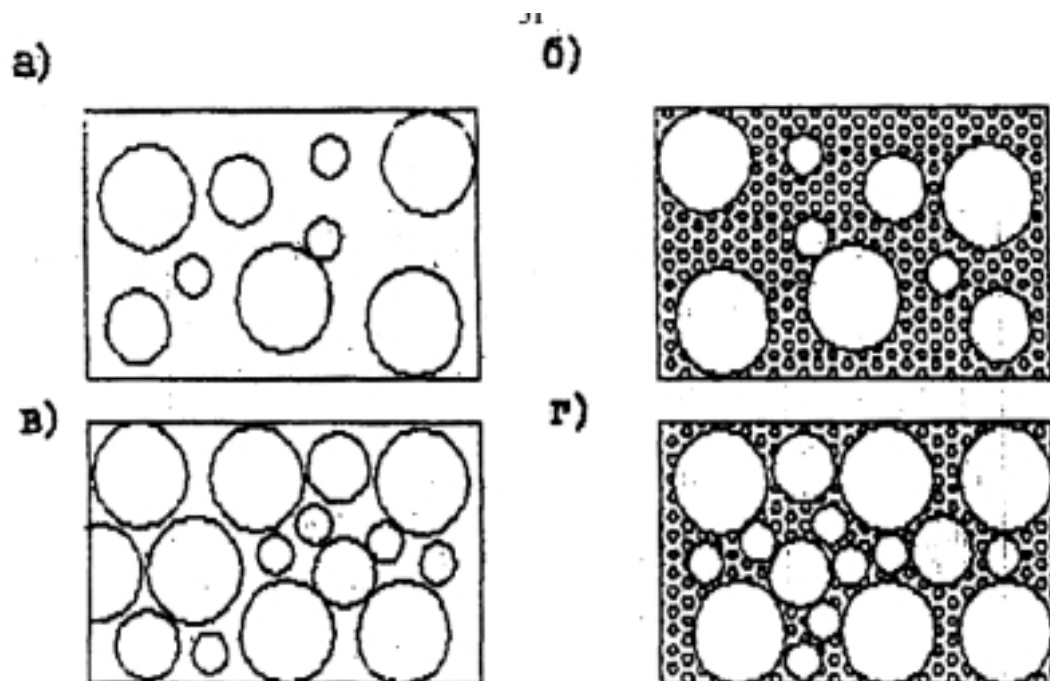


Рис. 2.5. Виды структур материалов на основе пористых заполнителей: а) плавающая зернистая дисперсная фаза, омоноличенная непоризованным связующим; б) то же поризованным; в) контактная зернистая дисперсная фаза, омоноличенная непоризованным связующим; г) то же поризованным

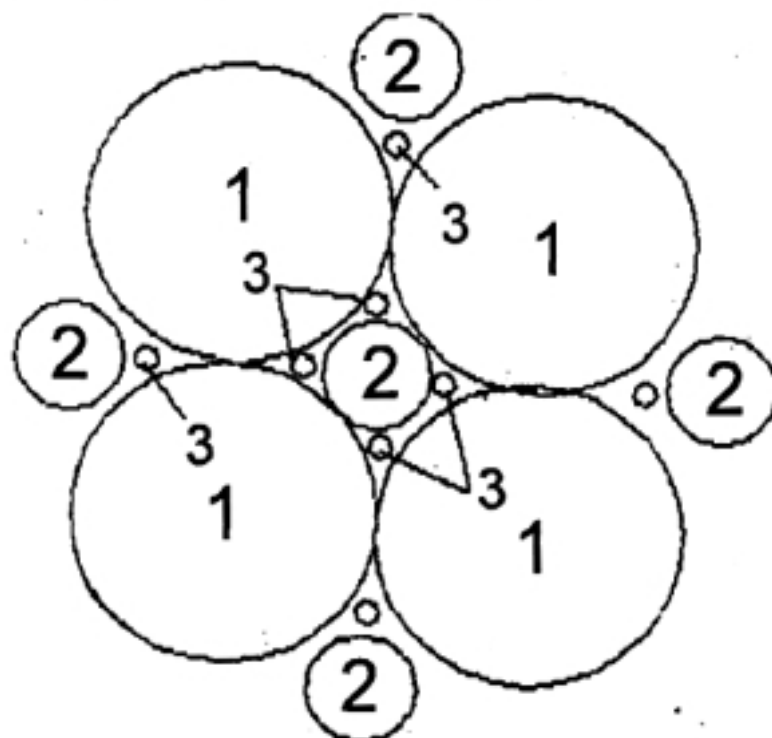


Рис. 2.6. Упорядочная упаковка шаров различного диаметра:
 1, 2, 3 - зерна первой, второй, третьей фракций

Общая толщина контактной зоны в бетонах на пористых заполнителях и цементном связующем колеблется от 30 до 60 мкм.

Полидисперсный характер пористых заполнителей увеличивает удельный объем заполнителей, снижает межзерновую пустотность. В случае идеального распределения гранул заполнителей по схеме четырехмерной гексагональной решетки, занимаемый ими объем составит:

$$V_3 = 0.812 \cdot [D_3^M / (D_3^M + \delta_k)]^3 \cdot 100, \quad (2.29)$$

где D_3^M - максимальный диаметр заполнителей.

По аналогии с заполнением объема пористыми заполнителями рассмотрим заполнение пористых заполнителей и межзернового пространства цементного камня порами различных размеров. Максимальный объем, занимаемый порами в заполнителях и в цементном камне, составит соответственно:

$$P_3 = 0.812 \cdot V_3 [D_{п.3} / (D_{п.3} + \delta_{ст.3})]^3 \cdot 100 \quad (2.30)$$

$$P_{ц.к} = 0.812 \cdot V_{ц.к} [D_{ц.к} / (D_{ц.к} + \delta_{ст.ц.к})]^3 \cdot 100,$$

где $D_{п.3}$ и $D_{ц.к}$ - соответственно поры в заполнителе и цементном камне; $\delta_{ст.3}$ и $\delta_{ст.ц.к}$ - толщина стенок пор в заполнителе и цементном камне; $U_{ц.к}$ - объем цементного камня; $U_{ц.к} = 1 - U_3$.

Плотности контактной зоны цементного камня и корковой части заполнителей имеют толщины по 45 мкм. Вокруг гранул заполнителей в процессе приготовления образуются обмазки, толщина которых увеличивается с ростом гранул, снижением их насыпной плотности, уменьшением округлости и повышением шероховатости. Как уже отмечалось, оптимальная величина зерен заполнителей второй фракции составляет 0.226 от ее диаметра. Это позволяет образовывать плотные упаковки смеси заполнителей, пустотность которых по данным П.И.Боженова всегда будет меньше 21 % (рис. 2.6). При этом создается плотная упаковка заполнителей, в связи с чем пористость материала определяется в основном насыпными плотностями используемых фракций заполнителей.

Максимальные значения пористости материалов на минеральных вяжущих с наиболее распространенной четырехмерной решеткой при наличии перегородок между порами могут достигать 73.8 %, при этом минимальная средняя плотность материалов составит 590 кг/м³.

Формирование оптимальной ячеистой структуры материалов. Общая пористость материала с ячеистой структурой образуется из ячеистой пористости (макропористости) и пористости межпоровых перегородок (микропористости). Объем ячеистой пористости определяется пространственным

расположением пор (их упаковкой), распределением пор по размерам, максимальным и средним размером пор, их формой, толщиной межпоровый перегородок. Наибольшее значение пористости при сферической форме пор достигается в условиях геометрически правильной их укладки (упаковки), к которой относятся кубическая (52.4 %) и гексогональная (74.05 %). В этом случае минимальная средняя плотность полимерных материалов составит 330 кг/м^3 , а минеральных 735 кг/м^3 , т.е. она значительно выше допустимой для теплоизоляционных и акустических материалов.

Повышенная пористость достигается созданием тонких и прочных перегородок и полидисперсного характера распределения пор в полимерных (пенопласты) и неорганических (газобетон, пеностекло) материалах.

Максимальные значения пористости ячеистых бетонов составляют 92 %, при этом их средняя плотность равна 200 кг/м^3 . Это достигается применением высокодисперсного сырья, некоторым увеличением средней крупности пор и частичной самопроизвольной деформацией пор в многогранники.

Для теплоизоляционных материалов и изделий идеальной является пористая структура с замкнутыми ячейками. Технологическими параметрами необходимо добиваться, чтобы в процессе изготовления изделий не происходило разрывов в стенках пор.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЯХ

Глава 3. Природные строительные материалы 3.1.

Лесные породы

Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость (30 - 80%), обладает огромной внутренней поверхностью, которая легко сорбирует водяные пары из воздуха, её гигроскопичность равна 30 %. Применение древесины во влажных условиях требует устройства гидроизоляционных покрытий. Теплоизоляционные и акустические материалы из древесины имеют теплопроводность 0.17 - 0.35 Вт/(м · °С) и коэффициент звукопоглощения в зависимости от частоты звуковых волн 0.15 - 0.92. Древесина горючий материал, характеризующийся практически одинаковыми температурными показателями воспламеняемости 238 - 255 °С, требует защитных огнестойких покрытий. Дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Древесина имеет слоисто-волокнистую структуру, т.е. анизотропное строение. Ствол составляет 70 - 90 % от всего объема дерева (рис.3.1, 3.2).

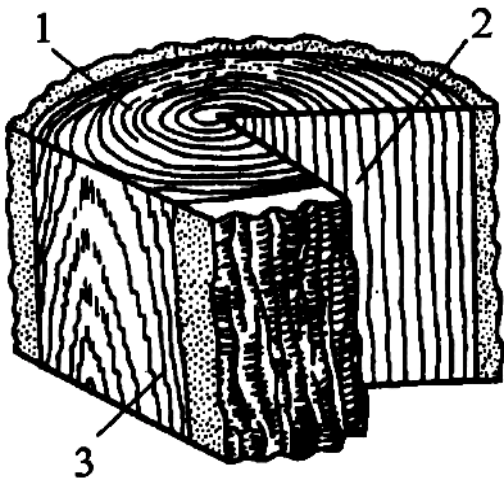


Рис. 3.1. Основные разрезы ствола:
1 - торцевой; 2 - радиальный; 3 - тангенциальный

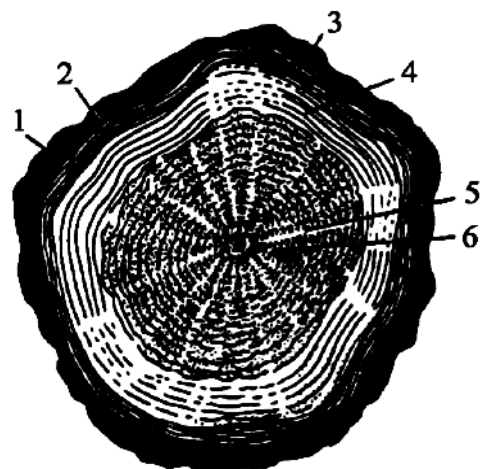


Рис. 3.2. Торцевой разрез ствола:
1 - кора; 2 - луб; 3 - камбий; 4 - заболонь;
5 - ядро; 6 - сердцевина

Ствол состоит из коры, луба, камбия, древесины и сердцевины. Кора состоит из корки и луба. Луб проводит питательные вещества от кроны в ствол и корни. Кора составляет от 6 до 25 % объема дерева.

Камбий, расположенный под лубом тонкий кольцевой слой живых клеток, способных к делению и росту; большая их часть откладывается в сторону древесины, меньшая - в сторону луба. Древесина является основной частью ствола и находится под камбиальным слоем. По ней поднимается вода из корней в крону.

Сердцевина - примерно в центре ствола вдоль его оси является рыхлой первичной малопрочной тканью.

Породы древесины, имеющие ядро, называются **ядровыми**. К ним относятся из хвойных пород - сосна, лиственница, кедр и др.; из лиственных - дуб, ясень, вяз и др. Породы, не имеющие ядра, имеют развитую периферийную часть - заболонь и называются **забоданными**. Берёза, липа, клён, граб и другие являются заболонными породами. Различают ещё одну разновидность пород - **спелодревесные**, которые имеют спелую древесину в центральной части ствола (более сухую, чем остальная). К ним относятся ель, пихта, бук, осина и др.

У хвойных пород присутствуют смоляные ходы. Они бывают вертикальными и горизонтальными, сообщающимися друг с другом. Смола повышает стойкость древесины против гниения.

Древесина состоит из годовичных слоев. Каждый годовичный слой представлен ранней (весенней) и поздней (летней) древесиной. Ранняя древесина образуется весной и в начале лета, поздняя - летом и в начале осени. Чередуясь, ранняя и поздняя древесина создают слоистость в строении дерева. Летняя древесина является более плотной, чем весенняя.

Дерево состоит из разного рода клеток и тканей. Большая часть клеток вытянута вдоль ствола, меньшая - в поперечном направлении.

Клетки классифицируют по форме и назначению. По форме различают вытянутые в длину (параллельно оси ствола) прозенхимные клетки и клетки круглой или многогранной формы, все грани которых примерно равны между собой - паренхимные клетки.

Поперечные размеры большинства клеток от 0.01 до 0.1 мм, длина 0.5 - 10 мм. У крупных сосудов диаметр составляет 0.3 - 0.4 мм, а длина в отдельных случаях достигает 2 - 3 мм.

По назначению различают клетки проводящие (они составляют проводящую ткань); опорные или механические (составляют механическую ткань), запасные, образовательные, расположенные в слое камбия, ассимиляционные - в листе и хвое (усваивают углекислоту воздуха в процессе фотосинтеза), покровные - в коре дерева.

В хвойных породах роль проводящих клеток играют трахеиды весенней древесины, опорных - трахеиды летней древесины.

В лиственных породах проводящими являются сосуды - крупные клетки с тонкими стенками и большой внутренней полостью, округлой в сечении, и опорными - древесные волокна, клетки с утолщёнными стенками и узкой внутренней полостью.

Запасные клетки, паренхимные находятся в лубе и сердцевинных лучах как у хвойных, так и у лиственных пород.

Каждая клетка имеет оболочку (стенку), древесина растущего дерева содержит живые и отмершие клетки. В живых клетках содержится протопласт (плазма и ядро). С ростом дерева протопласт в некоторых клетках высыхает, а клетки отмирают. Срубленная древесина состоит из омертвевших клеток, т.е. клеточных оболочек.

Оболочки клеток примерно на 99 % состоят из органических соединений (по массе), главным из которых является целлюлоза $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n - степень полимеризации. Кроме целлюлозы в клеточных оболочках содержатся лигнин и др. Древесными породами, применяемыми в строительстве, являются хвойные и лиственные. Хвойные породы: сосна, ель, лиственница, пихта, кедр. Приведённый порядок соответствует их значимости и объёмам применения.

Сосна - ядровая порода, имеющая смоляные ходы. Сосна имеет невысокую среднюю плотность и сравнительно высокую прочность, например предел прочности при сжатии вдоль волокон около 50 МПа. Применяется в виде брёвен и пиломатериалов для плотничных и большинства столярных изделий, производства фанеры.

Ель - спелодревесная порода, имеет незначительное количество смоляных ходов, менее стойка против загнивания, чем сосна. Средняя плотность и прочность ели несколько ниже, чем у сосны. Вследствие повышенной сучковатости трудно обрабатывается. Ель применяют как сырьё в целлюлозно-бумажной промышленности.

Лиственница - ядровая порода, имеющая мелкие немногочисленные смоляные ходы, обладает высокой плотностью, стойкостью против загнивания и прочностью. По физико-механическим свойствам она превосходит все хвойные породы. Широко применяется в гидротехническом строительстве и мостостроении.

Пихта - спелодревесная порода с широкими годичными слоями, не имеет смоляных ходов; менее стойкая против загнивания и менее прочная, чем сосна. По физико-механическим свойствам близка к ели, применяется наравне с ней.

Кедр - ядровая порода, имеет смоляные ходы; по физико-механическим свойствам он приближается к сосне. Кедр имеет мягкую, лёгкую, легкообрабатываемую древесину. Применяется в виде круглых лесоматериалов, в производстве фанеры и др.

Из группы лиственных кольцесосудистых пород наибольшим применением в строительстве пользуются дуб, ясень, вяз.

Дуб - ядровая порода, имеет широкие и узкие сердцевинные лучи, отличается красивой текстурой и цветом. Отличается высокой стойкостью против гниения, прочностью (при сжатии вдоль волокон около 60 МПа) и вязкостью.

Применяется как отделочный материал, а также в гидротехническом строительстве.

Ясень - ядровая порода, по текстуре напоминает дуб, имеет только узкие сердцевинные лучи. По стойкости против гниения и прочности несколько уступает дубу. Применяется как отделочный материал.

Вяз - ядровая порода, имеет плотную, вязкую, твёрдую и прочную древесину. По физико-механическим свойствам уступает дубу. Применяется при производстве фанеры, мебели.

Из группы рассеяннососудистых наибольшее применение имеют мягкие - берёза, осина, ольха, липа; твёрдые - бук, граб, клён.

Берёза - заболонная порода. Древесина имеет высокие среднюю плотность, но низкую стойкость против загнивания. Применяется для производства фанеры, паркета, отделочных работ.

Осина - спелодревесная порода с мягкой древесиной, малой стойкостью против загнивания, по прочности уступает берёзе.

Ольха - заболонная порода с лёгкой древесиной, малостойкая против загнивания.

Липа - заболонная порода с лёгкой древесиной, малостойкая против загнивания. Используют осину, липу, ольху при изготовлении мебели, фанеры, тары.

Бук - спелодревесная порода. Имеет плотную, высокопрочную, но малостойкую против загнивания древесину, по свойствам близок к дубу. Применяется для производства мебели, паркета, фанеры.

Граб - заболонная порода. Древесина тяжёлая, обладает повышенными показателями свойств по сравнению с дубом. При высыхании древесина значительно растрескивается и коробится. Применяется для тех же целей, что и бук.

Клён - заболонная порода. Древесина плотная, тяжёлая, физико-механические свойства выше, чем у дуба. Применяется для производства фанеры и как отделочный материал.

Свойства древесины. Свойства древесины подразделяются на физические и механические. К основным физическим свойствам древесины относят влажность (W), усушку, разбухание, истинную плотность, среднюю плотность, пористость, теплопроводность и др.

В древесине содержится влага трёх типов: связанная или гигроскопическая; свободная или капиллярная; химически связанная.

Влажность, соответствующая предельному содержанию связанной влаги при полном отсутствии свободной влаги, называется **пределом гигроскопичности древесины или точкой насыщения волокон**. Колебания значений предела гигроскопичности небольшие и в среднем данное значение принимается равным 30 %.

По степени влажности древесину разделяют на мокрую, $W = 100 \%$, свежесрубленную - $W = 35 - 100 \%$, воздушно-сухую - $W = 15 - 20 \%$, комнатно-сухую $W = 8 - 13 \%$, абсолютно-сухую - $W = 0 \%$.

Усушка и разбухание древесины происходят при изменении её влажности. Различают линейную и объёмную усушку. Линейную усушку определяют поперёк волокон в двух направлениях - тангенциальном и радиальном.

Усушку вдоль волокон (продольную) ввиду её незначительной величины не определяют.

Линейная усушка вычисляется по формулам, %:

$$\text{для тангенциального направления } -y_t = [(a - a_0) / a] \cdot 100; \quad (3.1)$$

)

$$\text{для радиального направления } -y_r = [(b - b_0) / b] \cdot 100, \quad (3.2)$$

где a и b - размеры образца в естественном состоянии соответственно в тангенциальном и радиальном направлениях;

a_0 и b_0 - размеры образца в тех же направлениях в абсолютно сухом состоянии.

Объёмную усушку вычисляют в процентах без учёта продольной усушки по приближённой формуле:

$$Y_v = [(ab - a_0b_0) / ab] \cdot 100 \quad (3.3)$$

)

Вследствие волокнистого строения древесина имеет разную усушку в различных направлениях. Усушка в радиальном направлении составляет 3-6 %, в тангенциальном в полтора-два раза больше, чем в радиальном.

Объёмная усушка составляет в среднем 12-15 %. Усушка и разбухание происходят в пределах гигроскопичности: в интервале влажности 0-30 %.

Истинная плотность древесного вещества всех пород примерно одинакова и составляет 1.54 г/см^3 .

Средняя плотность древесины изменяется в широких пределах от 380 (сибирская пихта) до 1110 кг/м^3 (ядро фисташки).

Среднюю плотность древесины с данной влажностью пересчитывают на плотность при стандартной влажности 12, соответствующей комнатно-сухому состоянию древесины (г/см^3);

$$S_{012} = S_w [1 + 0.01 \cdot (1 - r_0)(12 - W)], \quad (3.4)$$

)

где S_{0n} - средняя плотность образца древесины при влажности $W = 12\%$; S_{0w}
- средняя плотность влажного образца при влажности $W\%$;
 Γ_0 - коэффициент объёмной усушки, который показывает, на сколько
процентов изменяется объём образца при изменении влажности на 1% ;
 W - влажность испытываемого образца, %.

Теплопроводность древесины вследствие её высокой пористости невелика, но вдоль волокон она значительно больше, чем поперёк. Так, например, у сосны теплопроводность в вдоль волокон равна 0.35 Вт/(м·°С), а поперёк волокон 0.17 Вт/(м·°С). Она также выше в радиальном направлении, чем в тангенциальном.

Механические свойства древесины характеризуются пределами прочности при сжатии, растяжении, статическом изгибе и скалывании.

Предел прочности древесины (с влажностью W в момент испытания) при сжатии вдоль волокон ($R_{сжK_w}$) определяют на стандартных образцах (прямоугольных призмах сечением 20 на 20 мм и длиной 30 мм) и рассчитывают по формуле:

$$R_{сжK_w} = P_{\max} / ab, \quad (3.5)$$

где P_{\max} -- максимальная разрушающая нагрузка, Н; a ,

b - размеры поперечного сечения, м.

Предел прочности при сжатии поперек волокон значительно меньше (10-30 %) от предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Наибольшим является предел прочности при растяжении вдоль волокон, в 2-3 раза выше, чем при сжатии вдоль волокон. Предел прочности при статическом изгибе $R_{изг}$ древесины (с влажностью W) в момент испытания определяют на образцах-балочках размерами 20х20 и длиной 300 мм при воздействии двух симметрично расположенных сил и вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = P_{\max} - 1 / (bh^2), \quad (3.6)$$

где P_{\max} - разрушающая сила, МПа;

l - расстояние между опорами (пролёт образца-балки), м; b

и h - ширина и высота балки, м.

Прочность древесины при скалывании вдоль волокон невелика и составляет примерно 12-25 % от предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Прочность древесины приводится к стандартной влажности 12 % по формуле:

$$R_{12} = R_w [1 + a(W - 12)], \quad (3.7)$$

где R_n - предел прочности при влажности 12, МПа;

R_w - предел прочности при влажности W , МПа;

W - влажность испытуемой древесины, %;

a - поправочный коэффициент на влажность, который показывает, насколько изменяется прочность древесины при изменении влажности на 1% (в пределах влажности от 0 до 30 %).

Для сосны коэффициент α при сжатии и изгибе равен 0.04, т.е. материал теряет 4 % прочности при увеличении влажности всего на 1 %.

Жёсткость древесины и способность деформироваться под нагрузкой характеризуются модулем упругости:

$$E = R/\delta, \quad (3.8)$$

где R - предел прочности древесины, МПа;

δ - относительная деформация, мм/м.

Модули упругости при сжатии и растяжении вдоль волокон одинаковы и у сосны составляют 12300 МПа. Деформативность в направлении вдоль волокон древесины сравнительно низкая.

При сравнительно высоких показателях прочностных свойств древесина обладает небольшой твёрдостью. Статическая твёрдость численно равна нагрузке, необходимой для вдавливания в образец древесины половинки металлического шарика радиусом 5.64 мм на глубину радиуса шарика (тогда площадь отпечатка равна 1 см²). Твёрдость сосны, ели, пихты составляет 35 - 50 МПа, а более твёрдых пород - дуб, берёза, ясень - 50-100 МПа.

Зависимость свойств древесины от её состава и структуры. Структура древесины в первом приближении представляет собой конструктивное сочетание целлюлозы с лигнином. Древесные целлюлозные волокна имеют спиральную структуру и содержат примерно 65-70 % кристаллической и 25-35 % аморфной (гемицеллюлозной) части, причём у хвойных пород аморфной части меньше, у лиственных пород больше - 28-35 %.

Лигнин - природный полимер, представляет собой высокомолекулярную ароматическую часть, количество которой в древесине хвойных пород до 28-30 %, а в древесине лиственных пород 18-24 %. Волокна целлюлозы обладают высокой прочностью на разрыв, но легко изгибаются.

Лигнин объединяет их в единое целое с помощью водородных и вандер-ваальсовых сил связи и когезии, поэтому в совокупности древесина состоит из матричной пространственной сетки лигнина и кристаллического волокнистого наполнителя в виде целлюлозы.

Таким образом, древесина - высококристаллическое вещество, имеющее форму продольных спиральных волокон, которые в деловой древесине выполняют роль своеобразного «армирующего» компонента.

Структура древесины хорошо видна на микроснимке, полученном американским учёным Э. Келли (рис. 3.3). Тёмная полоса - лигнин, менее тёмная - стенка целлюлозной клетки и светлая область - полость клетки.

Подобно искусственным конгломератам древесина содержит капилляры и поры различных размеров. Если в крупных капиллярах и порах невелика удельная площадь внутренней поверхности, составляя, например, у ели около

0.2 м /г, то у мельчайших пор она очень большая, например, у ели при диаметрах капилляров $10 \cdot 10^{-8}$ - $10 \cdot 10^{-7}$ см (от 10 до 100 А) удельная площадь их поверхности составляет до 300 м²/г.

Такое различие капилляров отражается на характере контакта их с водой.



Рис. 3.3. Электронная микрофотография среза осины (11000 × по Э.Келли)

Крупные капилляры могут заполняться водой, которая влияет на состояние древесины и её качество, как строительного материала. Эта влага сравнительно легко проходит в капилляры и поры, особенно при контакте дерева с водой, заполняет полости и может составлять до 100-200 % к массе абсолютно сухой древесины, но она сравнительно также легко и быстро удаляется из них при сушке. Тонкие поры и капилляры заполняются не только при контакте с водой, но и в условиях влажного воздуха в связи с гигроскопичностью древесины и по законам капиллярных сосудов. Гигроскопическая влага сорбируется на стенках клеток, частично переходит в коллоидно-связанную с веществом дерева.

Предельное насыщение древесины гигроскопической влагой составляет 25-35 % (в среднем 30 %) к массе абсолютно сухой древесины, называемое **точкой насыщения волокон**. Насыщение гигроскопической влагой до этой предельной точки сопровождается набуханием древесины, изменением (ухудшением) её физических и механических свойств. Увеличение влаги после 30 % её содержания на свойствах древесины почти не отражается; не увеличивается и объём её за счёт набухания.

При сушке древесины быстро удаляется свободная влага из крупных капилляров и пор, но трудно испаряется гигроскопическая от точки насыщения волокон, причём объём древесины уменьшается за счёт усушки и уплотнения клеточных оболочек. Особенно трудно удаляются последние 4-6 % гигроско-

пической влаги, так как она ориентированно закреплена (адсорбирована) в монослое молекулами целлюлозы. Возникают водородные связи между гидроксильными группами целлюлозы и водой, тогда как другая, большая часть гигроскопической влаги (20-25 %) находится под влиянием капиллярной конденсации. С приближением при сушке к температуре 105 °С масса древесины сохраняет постоянное значение, что и принимается за абсолютно сухое состояние древесины. Фактически около 1 % гигроскопической влаги в абсолютно сухой древесине сохраняется, но за счёт относительно прочных водородных связей она не снижает её качественных показателей. Дальнейшее повышение температуры вызывает более или менее глубокое разложение целлюлозы - деструкцию, особенно в присутствии воздуха и влаги. При умеренном нагреве (120-180 °С) изменяется цвет целлюлозы, снижается её прочность, а при более высокой температуре (230-240 °С) протекают химические реакции с изменением элементарного состава целлюлозы. Структура переходит к 300 °С из кристаллической в аморфную, а при дальнейшем повышении температуры образуется целлюлозный уголь и жидкие продукты распада (уксусная кислота, ацетон, формальдегид и др.).

Материалы и изделия из древесины. Они разделяются на несколько групп: лесоматериалы, получаемые путём механической обработки дерева; модифицированная древесина, обработанная синтетическими смолами, прессованная, пластифицированная аммиаком и др.; древесные изделия: фанера, столярные плиты, древесно-стружечные и древесно-волокнистые плиты, древесно-слоистые пластики и др.

Лесоматериалы подразделяются на круглые, пиленные, лущеные, фрезерованные (строганные), колотые и побочные продукты: опилки, стружки, щепа, древесная мука.

Круглые лесоматериалы, т.е. стволы поваленного дерева, очищенные от сучьев. По толщине круглые лесоматериалы подразделяют на крупные диаметром более 26 см, средние - от 14 до 24 см, мелкие - от 6 до 13 см. В зависимости от качества древесины (наличия пороков) и дефектов круглые лесоматериалы делятся на четыре сорта.

Пиломатериалы подразделяются на бруски, пластины, четвертины, доски и горбыль. Бруски имеют толщину менее 100 мм и ширину не более двойной толщины. Брусья имеют толщину и ширину более 100 мм; доски имеют толщину менее 100 мм и ширину более двойной толщины. Длина досок от 1 до 6.5 м. Максимальная ширина досок и брусьев 250 мм, у брусков - 200 мм. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород делятся соответственно на пять и три сорта.

Это погонажные изделия: плинтусы, галтели, карнизы, поручни, столярные плиты, состоящие из узких реек и наклеенного на них с обеих сторон шпона; штучный паркет, паркетные плиты, столярно-строительные изделия - оконные и дверные блоки, перегородки и панели зданий.

Древесно-стружечные плиты - искусственный строительный конгломерат в форме плит, изготавливаемый горячим прессованием из смеси измельченной древесной стружки с полимерными веществами, выполняющими функции связующего компонента. В качестве связующего применяют термореактивные смолы: мочевино-формальдегидные, фенолоформальдегидные и др. Для улучшения свойств плит в них вводят гидрофобизирующие (парафиновая эмульсия), антисептирующие и другие добавки. По средней плотности древесно-стружечные плиты подразделяют на лёгкие ($250 - 400 \text{ кг/м}^3$), полутяжёлые ($400 - 800 \text{ кг/м}^3$), тяжёлые ($800 - 1200 \text{ кг/м}^3$). Коэффициент теплопроводности плит составляет от 0.046 до 0.093 Вт/(м·К).

Древесно-волоконистые плиты изготавливают из отходов древесины путём их измельчения в рубильной машине и расщепления в дефибраторе в волокнистую массу. К древесной массе добавляются улучшающие, например гидросфобизирующие (парафиновая эмульсия) или антисептирующие вещества, и из неё отливаются плиты. Их прессуют и сушат при температуре до 180°C . Древесно-волоконистые плиты подразделяют на сверхтвёрдые, твёрдые, полутвёрдые и мягкие. Твёрдые плиты имеют среднюю плотность и прочность на изгиб соответственно не менее 850 кг/м^3 и 3.5-4 МПа. Мягкие плиты имеют среднюю плотность и теплопроводность соответственно не более $150-300 \text{ кг/м}^3$ и 0.064-0.1 Вт/(м·К).

Фибролит изготавливается на основе неорганических вяжущих веществ (портландцемента, магнезиальных вяжущих) с применением в качестве заполняющего (армирующего) компонента древесной шерсти. Древесная шерсть предварительно подвергается «минерализации», т.е. обработке химическими веществами (хлористым кальцием, жидким стеклом, серноокислым глинозёмом и др.). Плиты формуют под давлением 0.5 МПа.

Отформованные плиты подвергают тепловой обработке в течение суток при температуре $30-35^\circ\text{C}$. Затем изделия сушат до влажности, не превышающей 20 %.

Арболит представляет собой смесь цемента, древесного заполнителя, химических добавок и воды. По своей структуре он представляет разновидность лёгкого бетона. Средняя плотность теплоизоляционного и конструкционного арболита соответственно составляет до 500 кг/м^3 и $500 - 800 \text{ кг/м}^3$. Марки теплоизоляционного арболита М5; М10; М15. Марки конструкционного арболита М25; М35; М50.

В качестве теплоизоляционных изделий на основе древесины известны торфяные плиты, войлочные материалы и др.

Пороки древесины, защита её от гниения, поражения насекомыми и возгорания. Пороки древесины делят на девять групп: сучки, трещины, пороки формы ствола, пороки строения древесины, химические окраски, грибные поражения, повреждения насекомыми, инородные включения и дефекты, деформации.

Сучки - живые и отмершие, закрытые и заросшие, загнившие представляют собой части ветвей, заключённые в древесине.

К химическим окраскам относятся желтизна, оранжевая окраска, чернильные пятна, дубильные потёки. Все эти разновидности окраски проникают на глубину 1-5 мм, но мало влияют на физико-механические свойства древесины, ухудшая в основном только внешний вид пиломатериалов.

Грибные окраски (гнили) поражают отмирающую и мёртвую древесину. Эти окраски развиваются за счёт содержимого отмирающих клеток и мало затрагивают клеточные стенки, поэтому физико-механические свойства древесины ухудшаются незначительно.

Гнили из растущего дерева (пёстрая, белая и бурая) образуются под воздействием грибов. Гнили развиваются постепенно до появления мягкой гнили. Гнилая древесина почти полностью теряет свои механические свойства.

Гнили мёртвой древесины являются одним из самых опасных пороков. При этом образуются домовошахтные грибы, плёночный, белый, шахтный или пластинчатый домовый гриб. Древесина становится не только непригодной для применения, но и опасной для окружающих материалов.

Водослой - участок древесины, сильно пропитанный водой, расположенный на месте ядра, спелой древесины, ложного ядра или радиальной пятнистости. Как правило, водослой связан с очагами гнили.

Грибные ядровые пятна и полосы - изменения окраски в зоне ядра, вызываемые грибами в растущем дереве, наблюдаются на торцах и продольном разрыве. Этот порок незначительно влияет на механические свойства.

Значительное влияние на снижение качества древесины оказывают трещины. Трещины подразделяются на метиковые, морозные и др. Они образуются при раскачке дерева ветром и при резкой смене температуры.

Пороки формы ствола. Сбежинность - значительное уменьшение диаметра ствола от комля к вершине. Кривизна ствола - искривление по длине ствола. Закомелистость - резкое увеличение диаметра комлевой части.

Пороки строения древесины: наклон волокон (косослой) (волокна располагаются не параллельно оси ствола, а винтообразно, по спирали), крень (резкое утолщение поздней зоны годичных слоев), свеливатость (неправильность в строении древесины).

Кроме этого повреждениями древесины следует считать повреждения насекомыми (червоточина), трещины усушки, покоробленность, механические повреждения.

Сушка древесины предназначена для уменьшения возможности гниения и повышения прочности. Различают естественную и искусственную сушку. Естественная сушка производится на открытом воздухе, под навесами или в закрытых помещениях, с тем чтобы материал принял воздушно-сухое состояние (15-20 %). Такая сушка длится недели и даже месяцы. Искусственная сушка осуществляется в течение нескольких дней или часов.

Камерная сушка производится в сушилках периодического или непрерывного действия в течение нескольких суток. Теплоносителем служит нагретый воздух, пар или дымовые газы с температурой 70-80 °С. Также производится сушка древесины в электрическом поле высокой частоты.

Древесина быстро и равномерно прогревается между электродами и высушивается в 10-20 раз быстрее, чем при камерной сушке. Но этот вид сушки требует большого расхода электроэнергии. Сушка в жидких средах, например в ваннах с петролатумом при температуре 130-140 °С. За несколько часов влага в древесине превращается в пар и удаляется; при этом материал не растрескивается и не коробится. Сушка в петролатуме дешевле камерной сушки.

Для защиты от гниения и поражения насекомыми применяются химические вещества - антисептики. Они делятся на водорастворимые и нерастворимые в воде.

К водорастворимым антисептикам относятся: фтористый натрий NaF , применяется в растворах 3-4 % концентрации. При соприкосновении с известковыми, цементными и гипсовыми материалами он теряет свои токсические свойства. Кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 - белый или серый порошок, применяется совместно с фтористым натрием или кальценированной содой. Кремнефтористый аммонит $(\text{NH}_4)\text{SiF}_6$ - белый порошок, повышает огнестойкость древесины, но вызывает слабую коррозию металла, высокотоксичен. Препараты ХХЦ - смесь борной кислоты и буры, хорошо растворяется в воде, для людей практически безвреден.

Препараты ХХЦ (смесь хлористого цинка и хромпика) и МХХЦ (смесь хлористого цинка, хромпика и медного купороса) трудно вымываются водой, но окрашивают древесину в жёлто-зелёный цвет и вызывают коррозию металлов.

К нерастворимым в воде относятся масляные и органикорастворимые антисептики. Масляные антисептики: антраценовое, креозотовое, сланцевое масла. Они не растворяются в воде, не вызывают коррозию металла, но окрашивают древесину в бурый цвет. Применяются для пропитки шпал, деталей мостов, свай, деревянных надводных конструкций.

К органикорастворимым антисептикам относятся растворы пентахлорфенола и нафтената меди в лёгких нефтепродуктах. Они окрашивают древесину в зелёный цвет, затрудняют её склеивание, являются высокотоксичными антисептиками.

Применяют также антисептические пасты, изготавливаемые из фтористого натрия, связующего вещества (битума, глины, жидкого стекла и других) и наполнителя (например, торфяного порошка).

Пропитку антисептиками производят поверхностной обработкой, в горяче-холодных ваннах и под давлением в автоклавах. Поверхностную обработку делают кистями или краскопультом 2-3 раза. В горяче-холодных ваннах производится последовательное погружение в горячую (90-95 °С), а затем в

холодную (20-30 °С) ванны. Сначала из пор древесины удаляется воздух, а потом в порах образуется вакуум. При обработке в автоклавах сначала создается вакуум, а затем автоклав насыщается горячим антисептиком с давлением 0.6-1.5 МПа.

Для борьбы с насекомыми используют ядовитые вещества, убивающие их. Древесину опрыскивают, обмазывают, пропитывают порошками и окуривают газами. Можно использовать маслянистые и органикорастворимые антисептики, а также специальные: хлорофос, порошок и пасту.

Для защиты от возгорания древесину окрашивают огнезащитными красками и пропитывают специальными веществами - антипиренами, которые образуют либо оплавленную плёнку на поверхности, либо выделяют негорючие газы. К антипиренам относятся бура, хлористый аммоний, фосфорнокислый натрий и аммоний, сернокислый аммоний.

3.2. Породообразующие минералы

Природные минералы находятся в основном в твёрдом состоянии и имеют преимущественно кристаллическое строение. Реже они встречаются в виде аморфных веществ.

Минералы обладают рядом характерных свойств, оказывающих большое влияние на технические свойства пород, среди которых следует особо выделить *твёрдость, спайность, излом, блеск, окраску и плотность*. Эти свойства зависят от строения и прочности связей в кристаллической решётке.

Твёрдость характеризует поверхностную энергию минерала. Она оценивается по шкале Мооса, которая состоит из десяти минералов, расположенных в порядке возрастания их твёрдости: тальк, гипс, кальцит, флюорит, апатит, полевой шпат, кварц, топаз, корунд и алмаз. Определение твёрдости производится пробой на царапание и выражается порядковым числом соответствующего эталона в шкале, оставляющего царапину на испытуемом образце. Более точную оценку твёрдости получают специальными склерометрическими приборами. Показатель твёрдости материала имеет большое практическое значение, так как косвенно позволяет судить о механических свойствах природного камня.

Спайность проявляется в виде способности минералов раскалываться в определённых направлениях с образованием гладких зеркальных поверхностей - плоскостей спайности. Минералы имеют различную спайность: одни легко расщепляются на тончайшие пластинки в одном или нескольких направлениях, у других она проявляется плохо или совсем отсутствует. Спайность вместе с показателем твёрдости помогает предварительной оценке механических свойств природных материалов.

Излом является характеристикой неровной поверхности раскола минерала, прошедшего не по направлениям спайности. Среди разнообразных ви-

дов излома выделяются ровный, ступенчатый, неровный, раковистый, занозистый, землистый. Они позволяют не только диагностировать, но и оценивать свойства минералов.

Окраска - важный диагностический признак минералов. Окраска обусловлена присутствием красящих элементов в составе минерала, в частности **Cr, Mn, Fe** и др.

Блеск возникает в результате отражения световых лучей от поверхности минерала и имеет важное диагностическое значение.

Вещества с небольшим показателем преломления (например сернистые минералы) обычно непрозрачны и характеризуются металлическим блеском.

Плотность (истинная) колеблется у минералов от значений менее единицы (озокерит) до 20 и выше (осмистый иридий). Она зависит от химического состава и структуры, атомной массы элементов, их ионных радиусов и валентности. Наибольшее распространение в природе имеют минералы с малой (от 2 до 4 г/см³) плотностью.

Силикаты являются солями различных кремниевых кислот. Однако для них более характерным является не химический состав, а особенности кристаллического строения с наличием ионной кристаллической решётки. Основной структурной единицей этой решётки является кремнекислородный тетраэдр (ЗЮД размеры которого почти всегда строго постоянны (рис.3.4).

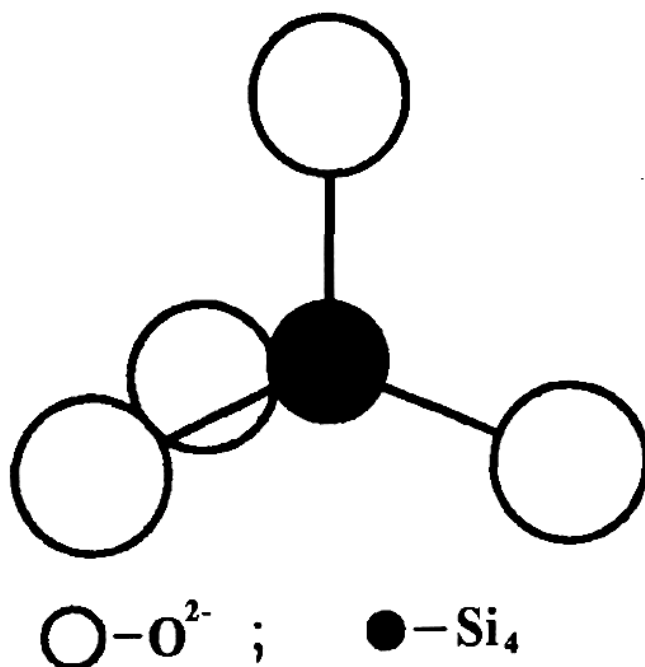


Рис. 3.4. Кремнекислородный тетраэдр

Полевые шпаты по химическому составу представляют собой каркасные алюмосиликаты калия, натрия, кальция и разделяются на натриево-кальциевые (плаггиоклазы) и калиево-натриевые полевые шпаты. Они имеют

светлую окраску, стеклянный блеск, высокую твёрдость (6...6.5) по шкале Мооса, совершенную спайность в двух направлениях и плотность от 2.5 до 2.7 (г/см³). Наиболее распространёнными полевыми шпатами являются близкие по строению и свойствам, одинаковые по составу микроклин и ортоклаз К (ASi₃O₈), отличающиеся между собой интенсивностью розовой окраски. На поверхности земли, под влиянием O₂, CO₂, H₂O и других, постепенно выветриваются и превращаются в глинистые минералы. Они используются в стекольной, керамической промышленности. Высокосортные залежи полевых шпатов имеются в Сибири, Карелии, на Урале.

Плагииоклазы - изоморфные смеси минералов альбита Na (AlSi₃O₈) и анортита Ca (AlSi₃O₈). Так, при содержании в составе плагииоклаза от 0 до 30% анортита он является кислым плагииоклазом, от 30 до 60% - средним, от 60 до 100% - основным. Плагииоклазам характерен белый или серовато-белый, реже серый и чёрный цвета, стеклянный блеск с призмацией в синих и зеленоватых тонах. Отличаются высокой твёрдостью (6...6.5), хрупкостью и плотностью в пределах 2.61...2.76 г/см³, совершенной спайностью. Они неустойчивы к химическому выветриванию и переходят в глинистые минералы. Применяются в качестве особо ценного декоративного и облицовочного материала (Лабрадор). Их месторождения известны на Урале.

К числу каркасных алюмосиликатов относится нефелин Na [AlSiC₄], входящий в нефелиновые сиениты, нефелиниты и др. Это бесцветный или серовато-белый минерал с разнообразными оттенками, твёрдость - 5 ... 6, плотность - 2.6 г/см³, несовершенная спайность, неровный или раковистый излом. В результате химического выветривания превращается в глинистый минерал (каолинит). Используется при производстве цемента, стекла; из отходов получают глинозём, соду, ультрамарин и др. Месторождения этих пород известны на Кольском полуострове (Хибины).

К ленточным силикатам (амфиболам) относится роговая обманка.

Имеет сложную химическую формулу, окрашена в тёмно-бурые, зелёные и чёрные цвета с шелковистым или стеклянным блеском. Имеет высокую твёрдость от 5.5 до 6 и плотность в пределах 3.1 ... 3.36 г/см³, характеризуется совершенной спайностью и занозистым изломом. Её наиболее известные месторождения находятся на Урале.

Авгит - магнезиально-железистый силикат Ca (Mg, Fe, Al)[(Si, Al₂)O₆]-относится к цепочечным силикатам. Обычно окрашен в тёмно-зелёный, чёрно-бурый или чёрный цвет со стеклянным блеском.

Имеет твёрдость 5...6 и плотность в пределах 3.2 ... 3.6 г/см³, совершенную спайность, повышенные вязкость и прочность. Встречается на Урале.

Мусковит - белая слюда KAl₂(OH)₂[AlSi₃O₁₀]. Имеет перламутровый блеск, весьма совершенную спайность в одном направлении, благодаря чему легко расщепляется на тонкие и прозрачные упругие листочки, невысокую твёрдость (2 ... 3) и плотность в пределах 2.8 ... 3.1 г/см³. Химически стоек,

при выветривании переходит в россыпи без заметного изменения. Используется как электроизоляционный материал, посыпочный, при изготовлении кровельных материалов, огнеупорных красок, керамических изделий. Месторождения находятся на Кольском полуострове, Урале и в Сибири.

Биотит - чёрная или бурого цвета слюда $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}][\text{OH}, \text{F}]_2$. Имеет небольшую твёрдость (2...3), весьма совершенную спайность в одном направлении, легко расщепляется на тончайшие упругие пластинки. Химически не стоек. Месторождения известны в Забайкалье и на Урале.

Гидрослюды - слюдоподобные минералы, содержащие значительное количество связанных молекул H_2O между слоистыми пакетами. Гидрослюды представляют собой результат выветривания мусковита, биотита и других минералов группы слюд и рассматриваются как промежуточные соединения между слюдами и глинистыми минералами слоистой структуры. Среди этих минералов наибольшее практическое значение имеет вермикулит золотистого или коричневого цвета $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{OH})_2[(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}]4\text{H}_2\text{O}$. Он имеет низкую твёрдость (1 ... 1.5) и плотность (2.4 ... 2.7 г/см³), совершенную спайность и способен разделяться на тонкие гибкие неупругие пластинки. При прокаливании, в интервале температур от 900 до 1100 °С, его молекулярная вода превращается в пар с образованием внутреннего давления. Образование воздушных прослоек сопровождается увеличением объёма (в 15 ... 25 раз) и уменьшением его средней плотности до 100 ... 300 кг/м³.

Вермикулит - хороший теплоизоляционный и звукоизоляционный материал. Месторождения имеются на Кольском полуострове, Урале.

К группе вторичных слоистых силикатов относятся тальк, асбест, каолинит и монтмориллонит.

Тальк $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$ образуется при изменении магнезиальных силикатов и алюмосиликатов. Окрашен в белый, бледно-зелёный цвет, имеет стеклянный блеск с перламутровым отливом, очень низкую твёрдость (меньше 1), плотность (2.7 ... 2.8 г/см³), весьма совершенную спайность и легко расщепляется на гладкие неупругие пластинки, жирен на ощупь. Применяется в производстве пластмасс, паст, глазурей, кислотоупорных изделий. Месторождения известны на Урале.

Асбест - имеет несколько разновидностей, но наибольшее применение имеет хризотил-асбест $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$. Для асбеста характерна параллельно-тонковолокнистая структура с длиной волокон, колеблющейся от десятых долей миллиметра до 20 ... 25 мм, а иногда до 50 ... 150 мм. Он имеет зеленовато-жёлтый, а в распущенном состоянии снежно-белый цвет, невысокую твёрдость (2 ... 3) и способен расщепляться на прочные волокна толщиной меньше 0.0001 мм.

Отличается высокой огнестойкостью и щелочеупорностью, плохо проводит теплоту и электричество. Месторождения известны на Урале, в Забайкалье, Саянах.

Каолинит $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_8][\text{OH}]_4$ является главным минералом многих глинистых пород. Имеет совершенную спайность, лёгкую расщепляемость на тонкие неупругие чешуйки, весьма низкую твёрдость (меньше 1) и невысокую плотность - около 2.6 г/см^3 . В природе он встречается в виде рыхлых чешуйчатых или плотных тонкозернистых агрегатов белого цвета с различными оттенками и матовым блеском. Образуется путём выветривания алюмосиликатов (полевых шпатов, слюд и др.). Основным потребителем является керамическая промышленность, применяется при производстве пластмасс, эмульгаторов, красителей и т.д. Месторождения распространены на Урале, в Подмосковье.

Монтмориллонит отличается непостоянным химическим составом, который описывается формулой $(\text{Al, Mg})_2 (\text{OH})_2 [\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2 \text{H}_2\text{O}$ и зависит от содержания воды в атмосфере. Имеет подвижную кристаллическую решётку, вследствие чего приобретает способность к сильному набуханию в присутствии воды (до 3 раз), а при нагревании к значительной усадке. Имеет незначительную твёрдость (меньше 1), белую окраску с разнообразными оттенками, матовый блеск, совершенную спайность, непостоянную плотность и жирность. В чистом виде используется как адсорбент (отбеливатель), наполнитель, эмульгатор в резиновом, пластмассовом, керамическом производствах. Высококачественные месторождения находятся на Кавказе.

Оксиды являются соединениями металлов и металлоидов с кислородом. Наиболее распространённым минералом этого класса является кварц SiO_2 , встречающийся в виде трёх главных модификаций: альфа-кварц, тридимит и кристобалит. Основой его кристаллической структуры являются кремнекислородные тетраэдры, которые образуют прочную решётку каркасного типа. Наиболее изученным является альфа-кварц или просто кварц. Он устойчив при температуре ниже 573°C .

Тридимит устойчив в температурном интервале от 870 до 1470°C , а кристобалит - при температуре ниже 1713°C . Свойства этих модификаций зависят от неплотной упаковки ионов кислорода в кремнекислородных каркасах. При одном и том же способе сцепления кремнекислородных тетраэдров друг с другом через их вершины между ними появляются пустоты, которые в низкотемпературном кварце обладают малыми размерами, а в высокотемпературных, более рыхло построенных тридимите и кристобалите, они крупнее. Поэтому альфа-кварц значительно плотнее (2.65), чем тридимит (2.30) и кристобалит (2.27 г/см^3). В прямой зависимости от строения находятся и оптические свойства. Кварц химически стойкий минерал.

Используется в стеклянной и керамической промышленности, как облицовочный, абразивный материал. Месторождения известны на Урале, Памире и в Забайкалье.

В природе часто встречается аморфный кремнезём - опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержание воды в нём колеблется от 1 до 5 %. В чистом виде он бесцветен,

но при наличии примесей приобретает различные оттенки; имеет стеклянный, а у пористых разновидностей матовый блеск, низкую плотность ($1.9 \dots 2.5 \text{ г/см}^3$) и среднюю твёрдость ($5 \dots 5.5$). Сравнительно легко растворяется в щелочах, например в КОН, но в кислотах не разлагается. Месторождения распространены в Среднем Поволжье, на Урале и др.

Из группы оксидов и гидроксидов железа практическое значение имеют кристаллический гематит и аморфный лимонит. Гематит (красный железняк) Fe_2O_3 содержит до $50 \dots 65\%$ железа. Имеет полуметаллический блеск, высокие плотность ($5 \dots 5.2 \text{ г/см}^3$), твёрдость ($5.5 \dots 6$), неровный излом; хрупок. Гематит - химически стойкий минерал, является ценным сырьём для получения чугуна, стали. Используется в качестве пигмента в красках. Известны месторождения в районе Курской магнитной аномалии, на Северном Урале. Лимонит (бурый железняк) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, где n близок к 1.5.

Имеет сложный и переменный состав с включением гидроксидов железа и глинистых минералов. Твёрдость и плотность изменяются соответственно в пределах $1 \dots 4$ и $3.3 \dots 4 \text{ г/см}^3$. Является сырьём для производства чугуна и стали при содержании железа до $35 \dots 40\%$.

Крупные месторождения известны на Урале и Керченском полуострове.

Карбонаты являются солями угольной кислоты. Наиболее распространены кальцит, магнезит, доломит и нитрит. Кальцит CaCO_3 - кристаллический минерал ромбоэдрической, пластинчатой формы, бесцветный или молочно-белой окраски, со стеклянным блеском, низкой твёрдостью (3) и плотностью ($2.6 \dots 2.8 \text{ г/см}^3$), с совершенной спайностью по трём направлениям и ровным изломом. Кальцит слабо растворим в воде, но под влиянием углекислоты переходит в бикарбонат кальция: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который растворяется в воде в 100 раз легче, чем сам кальцит. Кальцит легко распознаётся по реакции «вскипания» под действием разбавленной соляной кислоты, которая вызывается бурным выделением углекислого газа.

Условия образования связаны с накоплением известняковых илов.

Месторождения различных видов кальцита, а так же разнообразных карбонатных пород (мела, мраморов) встречаются в Карелии и на Урале. Они являются ценным поделочным материалом, сырьём для производства цемента, извести, огнеупоров.

Магнезит (MgCO_3) по структуре и форме кристаллов сходен с кальцитом, но распространён реже. Окрашен в белый цвет с желтоватым или сероватым оттенком, имеет стеклянный блеск, среднюю твёрдость $4 \dots 4.5$ и невысокую плотность $2.9 \dots 3.0 \text{ г/см}^3$. В отличие от кальцита при воздействии HCl реакции вскипания не обнаруживает.

Образуется под влиянием горячих магнезиальных растворов на известняки и при выветривании магнезиальных силикатов (серпентинов). В природе встречается в виде сплошных мраморовидных (кристаллических) и плотных

(аморфных) масс, которые имеют большое промышленное значение, особенно при производстве высокоогнеупорных изделий.

Доломит $[(Ca, Mg)CO_3]$ по структуре сходен с кальцитом. Окрашен в белый или серовато-жёлтый цвет со стеклянным блеском, имеет среднюю твёрдость (3.5 ... 4), невысокую плотность (1.8 ... 2.9 г/см³), совершенную спайность и ступенчатый излом. Вскипает с холодной HCl только в порошке.

Натрит $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ - бесцветный или окрашенный в белый цвет минерал со стеклянным блеском, небольшой твёрдостью (1 ... 1.5), плотностью (1.4 ... 1.5 г/см³) и несовершенной спайностью. С HCl обнаруживает бурную реакцию вскипания. При нагревании растворяется в собственной кристаллизационной воде. Он образуется в соляных озерах, богатых натрием, при избытке растворённого CO_2 . Применяется при производстве стекла, в металлургии. Содовые месторождения распространены в Восточной Сибири.

Сульфаты - соли серной кислоты. В строительстве из этой группы минералов используются ангидрит, гипс, барит и мирабилит.

Ангидрит имеет зернистый вид, голубовато-белый цвет, стеклянный блеск, невысокую твёрдость (3 ... 3.5), плотность около 3 г/см³, совершенную спайность и листовый излом. Легко присоединяет воду, переходя в гипс с увеличением в объёме до 30%.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - кристаллический минерал, имеет белый цвет, малую твёрдость (1.5 ... 2), низкую плотность (2.3 г/см³), весьма совершенную спайность и листовый излом, отличается хрупкостью.

Растворим в воде (одна часть гипса на две части воды). В генетическом отношении относится к типичным химическим осадкам и образуется в высыхающих участках моря.

Барит (тяжёлый шпат) $BaSO_4$ имеет таблитчатую форму кристаллов, образует грубозернистые плотные массы белого и серого цвета со стеклянным блеском, невысокой твёрдостью (2.5 ... 3.5), совершенной спайностью, неровным изломом. Отличается слабым пропусканием активных лучей (гамма-лучи, рентгеновские и другие), вследствие чего используется для производства специальных бетонов. Образуется выпадением из водных растворов. Применяется для производства специальных стёкол, керамических эмалей, пластмасс, высокосортных красок. Месторождения имеются на Урале, Алтае.

Мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ содержит свыше 55 % кристаллизационной воды. Образует бесцветные и прозрачные хрупкие кристаллы с твёрдостью (1.5 ... 2) и плотностью (1.48 г/см³) с совершенной спайностью. Легко растворяется в воде, но так же легко её отдаёт в условиях сухой среды, превращаясь в безводный белый порошок. Является минералом химического генезиса (залив Кара-Богаз-Гол). При взаимодействии с HCl не обнаруживает реакции «вскипания», чем и отличается от похожей на него соды, а при температуре

32 °С растворяется в собственной кристаллизационной воде. Используется в стекольной и химической промышленности (сода, краски и др.).

Месторождения известны в Кара-Богаз-Голе (Каспий).

Сульфиты являются соединениями серы с другими элементами, в том числе с железом.

Пирит FeS_2 , встречается в виде хорошо образованных кристаллов и больших зернистых скоплений - колчеданных залежей. Имеет золотисто-жёлтый цвет, металлический блеск, отличается высокой твёрдостью (6 ... 6.5), средней плотностью (4.9 ... 5.2 г/см³) и несовершенной спайностью. Легко гидролизуется с образованием гидрооксидов и серной кислоты, которая способствует быстрому разрушению пород. Пиритовые руды являются сырьём для производства серной кислоты, причём побочный продукт этого производства, пиритовые огарки, используются в технологии производства портландцемента, а так же для получения.

Киноварь HgS , хрупкий минерал красного цвета с сильным полуметаллическим блеском, твёрдостью (2 ... 2.5), плотностью (8.09 ... 8.2 г/см³), не проводит электричества. Применяется для изготовления красок, но главным образом для получения ртути. Месторождения известны в Западной Сибири.

3.3. Горные породы

Горные породы являются плотными или рыхлыми агрегатами различных минералов или обломков каких-либо пород. Горные породы отличаются значительные колебания пористости от 0.1 % у магматических горных пород (гранит) до 80 - 85 % у осадочных горных пород (диатомиты, трепелы, опоки), водопоглощение которых достигают 100 %. Магматические горные породы благодаря их архитектурной выразительности и гидроизоляционным свойствам используются для внешней и внутренней отделки зданий.

Осадочные породы являются сырьем для получения жиростойких теплоизоляционных материалов с коэффициентом теплопроводности 0.087 - 0.52 Вт/(м·°С) и температурой применения до 600 °С (асбестосодержащие), 850 - 900 °С (на основе диатомита, трепела). При изготовлении акустических материалов коэффициент их звукопоглощения в зависимости от частоты звуковых волн будут составлять 0.1 - 0.84.

Горные породы имеют относительно постоянный минеральный состав и специфическое внутреннее строение, определяемое структурными и текстурными особенностями. Под структурой понимают совокупность особенностей строения породы, которые обусловлены степенью её кристалличности, формой и размерами зёрен, а также соотношением составных частей минеральных компонентов. Текстура же характеризуется совокупностью признаков, определяемых взаимным расположением и определяемых взаимным расположением и распределением составных частей

породы в занимаемом ею объёме. Она отображает особенности её внешнего облика: слоистость, сланцеватость, пористость, массивность, декоративность. Породы могут быть мономинеральными, т.е. состоять из зёрен одного минерала, и полиминеральными, когда произошло срастание двух или нескольких минералов, различных по химическому составу и свойствам.

Все породы по происхождению подразделяются на *три типа*: **магматические** (первичные), образование которых связано с остыванием магмы (силикатного расплава сложного состава) в различных термодинамических условиях земной коры, определяемых совокупностью воздействия высоких температуры и давления, а так же концентрацией минеральных компонентов, содержащихся в расплаве; **осадочные** (вторичные) породы, сформированные на поверхности земли, в условиях низкой температуры и атмосферного давления. Они являются результатом накопления продуктов разрушения других, ранее образованных пород, выпадения различных химических образований из водной среды и накопления продуктов жизнедеятельности растительных и животных организмов на суше и в воде; **метаморфические** (изменённые) породы, образовавшиеся из осадочных и магматических пород путём полного или частичного их преобразования под влиянием высоких температуры и давления, горячих минерализованных растворов и раскалённых газов.

Магматические породы. Процесс их образования состоит в постепенной кристаллизации магмы с последовательным выделением твёрдых минеральных компонентов при её остывании до полного перехода в твёрдое состояние.

В зависимости от условий образования магматические породы разделяются на **глубинные** (интрузивные), **излившиеся** (эффузивные) и **полуглубинные** (гипабиссальные). Глубинные породы образуются на больших глубинах в условиях высоких температуры и давления, медленного и равномерного остывания магмы. Оно завершается формированием разновидностей с полнокристаллической структурой, массивной текстурой и равномерным распределением минеральных составных частей в массе породы, любые участки которой одинаковы по составу и структуре (рис.3.5). Излившиеся породы появляются на поверхности земли в условиях низкой температуры и атмосферного давления при быстрой отдаче теплоты и быстром выделении газообразных веществ из лавы с образованием в ней многочисленных пор, сохраняющихся и после затвердевания. Поэтому они отличаются неполнокристаллической структурой с обилием аморфного стекла, неоднородной текстурой и чередованием в её объёме участков с неодинаковым составом и структурой (рис. 3.6). Полуглубинные породы образуются на некоторой глубине от поверхности земли при изменяющемся режиме понижения температуры, в результате чего из магмы выделяются разноразмерные кристаллы одного и того же минерала: крупные, образовавшиеся в первую, и мелкие, появившиеся во

вторую фазы кристаллизации. Структуры этих пород отличаются разнозернистостью и называются порфировидными.

В зависимости от количественного содержания кремнезёма все магматические породы разделяются: на ультракислые - свыше 75 %; кислые - от 65 до 75 %; средние - от 52 до 65 %; основные - от 40 до 52 % и ультраосновные - менее 40 % кремнезёма. С уменьшением его содержания возрастает плотность и темнеет окраска магматических пород, так как в их составе увеличивается количество более тяжелых железисто-магнезиальных силикатов. Главнейшими минералами магматических пород являются кварц, полевые шпаты, плагиоклазы, нефелин, слюды, авгит, роговая обманка и др. Калиевые

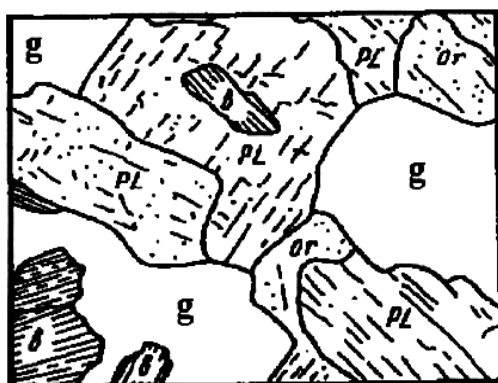


Рис.3.5. Полнокристаллическая структура глубинных пород (гранит): Or – ортоклаз; Pz – плагиоглаз; g – кварц; b – биотит



Рис.3.6. Неполнокристаллическая (порфировая) структура излившихся пород (альбитовый порфир): Ab – альбит в скритозернистой основной массе пород

полевые шпаты и кислые плагиоклазы, кварц и слюды встречаются преимущественно в кислых породах; средние плагиоклазы и роговая обманка - в средних, а основные плагиоклазы и авгит - в основных породах. Формы залегания магматических пород разнообразны. Глубинные породы залегают в виде батолитов - огромных (до 160000 км²) массивов неправильной формы; штоков - массивов изометричной формы, отличающихся от батолитов меньшими (до 100 км²) размерами; лакколитов - грибообразных тел, соединяющихся подводными каналами с очагами магмы и жил - плитообразных тел, образованных внедрением магмы в трещины пород. Типичными формами излившихся пород являются потоки, покровы и купола (конусы). Потоки представляют собой плоские тела, вытянутые в направлении движения жидких лав. Покровы в отличие от потоков имеют равновеликие длину и ширину и образуются при массовых трещинных излияниях лав на больших площадях. Купола представляют собой конусообразные массы излившихся пород, приуроченных к месту поверхностного излияния.

Глубинные породы. Они имеют высокие показатели прочности, средней плотности, незначительную пористость. Из этой группы рассматриваются

граниты, сиениты, диориты, габбро, перидотиты и пироксениты, расположенные в приведённом порядке по мере уменьшения в них кремнезёма.

Граниты - широко распространённые в природе кислые породы, содержащие 65 ... 75 % **SiC>2**. В их состав входят калиевый полевой шпат (ортоклаз, микроклин) или кислый плагиоклаз в количестве от 40 до 60 %, кварц от 20 до 40% и темноклетчатые минералы (биотит, роговая обманка) от 5 до 20 %, которые сообщают светло-серую, мясо-красную окраску этим породам. При большом количестве кварца граниты приобретают высокие твёрдость и хрупкость, а с увеличением содержания роговой обманки становятся более вязкими, однако легче выветриваются, особенно при наличии трещин. Для них характерны зернистая структура и массивная текстура. Мелкозернистые разновидности отличаются более высокими плотностью и прочностью и меньше подвержены процессам выветривания. Предел прочности при сжатии у них колеблется от 100 до 250 МПа, то же, при растяжении, от 2 до 7.5 МПа. Плотность гранитов составляет 2.65 г/см³, а средняя плотность 2.6 ... 3.0 г/см³. Они являются мелкопористыми породами с содержанием пор от 1 до 1.5 %; отличаются высокими морозостойкостью и сопротивляемостью истиранию; сравнительно легко поддаются механической обработке (разделке на изделия, шлифованию и полировке), хотя последнее с повышением содержания слюды затрудняется. Граниты недостаточно огнестойки: при нагревании до 900 °С и выше они резко снижают прочность в связи с полиморфными превращениями кварца. Граниты находят самое широкое применение в строительстве, особенно как отделочный материал. Крупные месторождения их известны на Кольском полуострове, в Карелии, на Урале, Алтае и Кавказе.

Сиениты - средние породы, содержащие до 65 % **SiCh**. В отличие от гранитов, в них отсутствует свободный кварц. Сиениты содержат до 50 ... 70% кислых полевых шпатов (чаще ортоклаз) и около 25% цветных минералов (роговая обманка, биотит). Из-за отсутствия кварца они являются более мягкими и, одновременно, более вязкими породами вследствие значительного содержания роговой обманки.

Сиениты окрашены обычно в светлые серые, розоватые или зеленоватые тона, имеют среднезернистую структуру и массивную однородную текстуру. Их предел прочности при сжатии составляет 150 ... 180 МПа, а средняя плотность - 2.6 ... 2.8 г/см³. В связи с отсутствием кварца они обрабатываются и полируются лучше гранитов. Сиениты встречаются реже, что снижает их значение как строительного камня.

Диориты являются средними (62...65 % **SiCb**) породами, состоящими из средних плагиоклазов (до 75 %) и роговой обманки (25 %), наряду с которой могут присутствовать авгит, биотит. Окраска диоритов тёмно-серая, тёмно-зелёная до черноты. Они характеризуются полнокристаллической равномерно-зернистой структурой и массивной текстурой, высокой прочностью при сжатии (180...250 МПа), большими плотностью и средней плотностью (до 2.9

г/см³), повышенной ударной вязкостью и достаточной устойчивостью к выветриванию, хорошей полируемостью. Эти свойства позволяют использовать диориты в качестве материалов, противодействующих различным вибрационным воздействиям (подпорные камни, фундаменты мостовых сооружений и т.д.), а также применять как ценный декоративный материал. Месторождения этих пород сравнительно редки и известны на Урале, Кавказе.

Габбро - основные породы, содержащие от 40 до 52 % SiO_2 . Из них наиболее распространёнными являются массивные полнокристаллические породы серого, тёмно-серого и тёмно-зелёного цветов, сложенные примерно равными количествами основного плагиоклаза и диаллага (разновидности авгита). Разновидности габбро, состоящие почти из одного основного плагиоклаза Лабрадора (более 85%), называются лабродоритами, имеющими серую и чёрную окраску с красивыми переливами в синих и зелёных тонах за счёт иризации (отражения световых лучей от внутренних плоскостей спайности этого минерала) и благодаря этому являются ценным декоративным и облицовочным материалом. Габбро - тяжёлые породы с почти одинаковыми истинной плотностью и средней плотностью около 3.1 г/см³, прочностью при сжатии 200 ... 280 МПа, отличающиеся высокой вязкостью, которая затрудняет их обработку. Месторождения габбро широко распространены на Кольском полуострове, в Карелии и т.д.

Перидотиты и пироксениты - ультраосновные бесполевошпатные полнокристаллические породы, содержащие менее 40 % SiO_2 и сходные по своим свойствам. Постоянными минеральными компонентами перидотитов являются оливин (30 ... 70 %), авгит и гиперстен, а пироксениты состоят почти целиком из последних. Обе породы часто содержат примеси рудных минералов, повышающих их среднюю плотность (3.0...3.4 г/см³). Отличаются крупно- и среднезернистой структурой и массивной текстурой. Высокая твёрдость этих пород затрудняет разработку месторождений, а высокая вязкость осложняет их обработку, вследствие чего они применяются в качестве материалов особого назначения в специальных гидротехнических и других сооружениях, для устройства внутренних интерьеров гражданских зданий, а также как поделочный и художественный материалы.

Излившиеся породы. Они являются аналогами глубинных по составу, но сильно отличаются от них по структурным и текстурным особенностям. Наличие полнокристаллической и стекловатой структур, а также немассивной, часто пористой текстуры неблагоприятно отражается на стойкости их к выветриванию и стабильности прочностных показателей. Однако среди них обнаруживается немало прочных и плотных разновидностей, широко применяемых в строительстве. Из их числа рассматриваются кварцевые порфиры и липариты; бескварцевые порфиры (ортофиты) и трахиты; порфирита и андезиты; диабазы и базальты, расположенные в приведённом порядке по тому же признаку уменьшения кремнезёма, что и в группе глубинных пород.

Кварцевые порфиры и липариты - излившиеся аналоги гранитов.

Кварцевые порфиры относятся к древним, а липариты - к нововулканическим породам. От гранитов они отличаются порфировой структурой с наличием в мелкозернистой или стекловатой массе породы вкрапленников - крупных кристаллов кислого полевого шпата и реже кварца. Цветные силикаты наблюдаются в виде мелких чешуек биотита или тонких иголочек роговой обманки. Кварцевые порфиры окрашены в красновато-бурые тона и являются плотными породами со средней плотностью $2.4 \dots 2.6 \text{ г/см}^3$. Предел прочности при сжатии изменяется у них от 130 до 180 МПа. Липариты - более лёгкие и пористые по сравнению с кварцевыми порфирами породы белого, светло-серого цвета, содержащие небольшие вкрапления кислого полевого шпата и среднего плагиоклаза, а также повышенное количество нераскристаллизованного вулканического стекла. Декоративный вид и способность полироваться позволяют применять некоторые разновидности липаритов наравне с гранитами для отделочных работ. Месторождения этих пород имеются на Кавказе, Урале.

Бескварцевые порфиры (ортофиты) и трахиты являются соответственно древними и молодыми излившимися аналогами сиенитов. У ортофилов сильно изменён минеральный состав с появлением в нём вторичных минералов: каолинита, карбонатов, хлоритов и т.д., которые уплотняют породу, заполняя её пустоты, и способствуют образованию вторичной микрозернистой структуры. Бескварцевые порфиры окрашены в серовато-зелёный или красновато-бурый цвета. Трахиты - пористые и сильно шероховатые породы белой, серой, желтоватой окраски с ясно выраженной порфировой структурой. Средняя плотность от 1.6 до 2.6 г/см^3 . Предел прочности от 60 до 70 МПа. Их используют для изготовления бута, щебня, как кислотоупорный материал. Красивые разновидности ортофилов применяются для отделочных работ (алтайские ортофиты). Эти породы хорошо поддаются обработке, но не полируются и быстро истираются. Их месторождения известны на Кавказе (Пятигорск), Урале, Алтае и др.

Порфириты и андезиты - плагиоклазовые излившиеся аналоги диоритов, соответственно древне- и нововулканического возраста. Отличаются пористой текстурой и порфирофой структурой с вкрапленниками плагиоклазов или роговой обманки. Порфириты отличаются повышенной выветриваемостью и наличием вторичных силикатов - серицита, хлорита и др. Андезиты - менее выветрившиеся серые, желтовато-серые или буроватые пористые породы, сложенные авгитом или роговой обманкой и средним плагиоклазом-андезипом. Предел прочности при сжатии у них изменяется от 140 до 250 МПа. Плотность пород составляет $2.7 \dots 3.1 \text{ г/см}^3$. Обе породы используются как дорожный камень; пористые лёгкие разновидности андезитов идут на изготовление стенового материала, из плотных же андезитов получают ки-

слотостойкие материалы. Месторождения этих пород широко распространены на Кавказе, Урале, Алтае и в Восточной Сибири.

Диабазы и базальты - излившиеся древне- и нововулканические аналоги габбро, отличающиеся от него своими структурными и текстурными особенностями. Диабазы имеют скрытокристаллическую структуру, с заполнением промежутков между плагиоклазами мелкозернистой авгитовой массой. Они окрашены в зелёные и зеленовато-серые тона. В связи с большим содержанием железисто-магнезиальных силикатов они отличаются значительной вязкостью, высоким пределом прочности при сжатии от 300 до 450 МПа и средней плотностью $2.7 \dots 2.9 \text{ г/см}^3$. Имеют средние твёрдость и обрабатываемость, хорошо полируются.

Базальты макроскопически представляют собой чёрную плотную застывшую лаву, находящуюся в скрытокристаллическом или аморфном состоянии. В них часто встречаются различные включения (ксенолиты), снижающие их качество. Они являются твёрдыми и одновременно хрупкими труднообрабатываемыми породами; их прочность варьируется в широких пределах от НО до 500 МПа и в связи с большим содержанием стекла может резко падать; плотность составляет $3.1 \dots 3.3 \text{ г/см}^3$, а средняя плотность $-3.0 \dots 3.3 \text{ г/см}^3$. Наиболее ценными считаются свежие мелкозернистые базальты, не содержащие стекла и оливина. Базальты являются хорошими кислотоупорными и электроизоляционными материалами и высоко ценятся как сырьё для каменного литья. Литой камень базальтин используется для получения отделочных изделий, труб, химической аппаратуры, отличающихся кислотоупорностью, высокой прочностью (до 800 МПа) и долговечностью. Диабазы и базальты добываются в Карелии, Забайкалье, Урале, Кавказе.

Среди излившихся пород заметное место занимают вулканические стёкла: почти безводный аморфный чёрный или красно-бурый обсидиан; мелкопористый светло-серый или коричневый перлит с содержанием до 3...4% воды; зеленоватый или бурый смоляной камень (пехштейн) кристаллитного строения с большим количеством воды. Из вулканических стёкол получают вспученный перлит - лёгкий и пористый материал. Особой разновидностью вулканических стёкол является пемза, образовавшаяся при быстром остывании средних и кислых лав на поверхности воды или влажной почвы. Средняя плотность находится в пределах $0.300 \dots 0.900 \text{ г/см}^3$. Предел прочности при сжатии $1.5 \dots 6.0 \text{ МПа}$. Используются вулканические стёкла как заполнители в бетонах и гидравлические добавки в цементах. К вулканогенным породам относят рыхлые вулканические пеплы и сцементированные вулканические туфы, туфовые лавы.

Осадочные породы. Осадочные породы являются главным сырьём промышленности, в них содержится примерно 70 % глин, около 20 % песков и песчаников, 5% карбонатов. На долю гипса и других минералов остаётся примерно 5%.

По условиям образования осадочные породы делятся на три группы: обломочные, химические и органогенные. Между ними существуют переходные разновидности смешанного генезиса.

Породы обломочного (механического) происхождения являются продуктами механического разрушения каких-либо материнских пород и сложены преимущественно обломками устойчивых к выветриванию минералов и пород. Они разделяются по крупности обломков на грубообломочные, среднеобломочные (песчаные), мелкообломочные (пылеватые) и тонкообломочные (глинистые). Среди них только глинистые породы являются продуктами химического разложения материнских пород, остальные же породы сложены обломками, не подвергшимися существенному выветриванию. Независимо от размеров частиц обломочные породы могут быть рыхлыми или сцементированными.

К рыхлым грубообломочным породам относятся разновидности с окатанной и угловатой формой, образовавшиеся в результате накопления крупных обломков. Среди них выделяются обломки размером 1000 ... 100 мм, называемые валунами (скатанные) или глыбами (угловатые); 100 ... 10 мм - галькой (скатанные) или щебнем (угловатые), 10 ... 1 мм - гравием (скатанные) или дресвой (угловатые).

Сцементированные обломочные породы образовались путём цементации рыхлых пород различными химическими веществами. Наиболее прочным является кремнезёмистый цемент (вторичный кварц, опал, халцедон), менее прочны железистый (лимонит), карбонатный (кальцит); малой цементирующей способностью отличается глинистый цемент.

Наибольшее применение в промышленности строительных материалов нашли глинистые породы, состоящие более чем наполовину из мельчайших (менее 0.01 ... 0.001 мм) чешуеобразных частиц глинистых минералов, среди которых не менее 25 % имеют размеры менее 0.001 мм.

Глины образуются при выветривании полевошпатовых и некоторых других силикатных пород и состоят преимущественно из глинистых минералов типа каолинита, монтмориллонита и гидрослюд с примесью кварца, слюды, вторичного кальцита, опала и др. Большинство глин являются полиминеральными, однако среди них имеются наиболее ценные мономинеральные: каолинитовые и монтмориллонитовые разновидности. Главным фактором при применении глин в строительстве и производстве строительных материалов являются их минеральный состав. Полиминеральные глины являются сырьём для производства кирпично-черепичных изделий, грубой керамики, глинозёма, огнеупоров и т.д.

Каолинитовые глины сложены в основном каолинитом и сравнительно свободны от примесей оксидов железа. Они представляют собой белые тонкозернистые, жирные на ощупь, малопластичные породы, являющиеся продуктами разложения (гидролиза) алюмосиликатов диссоциированной водой,

содержащей свободные ионы водорода и растворённую CO_2 . Процесс каолинизации полевых шпатов схематически представляется в следующем виде:

е

Каолинитовые глины являются континентальными отложениями и образуются в условиях кислой среды. Они используются в производстве фарфоро-фаянсовых изделий, цемента, шамота. Месторождения каолинитовых глин находятся на Урале, в Сибири и др.

Монтмориллонитовые глины появляются при разложении вулканических пеплов в щелочной среде. Среди них выделяются сильно набухающие в воде натровые глины с преобладанием катиона Na над катионами Ca, Mg и K и неразбухающие кальциевые - с преобладанием Ca над катионами Na и Mg. К первым относятся бентониты и флоридины, породы белой, серовато-белой, розовой и другой окраски, характерной особенностью которых является сильное набухание при увлажнении с увеличением объёма примерно в 16 раз и более и высокая адсорбционная способность. Большинство этих глин обладает резко выраженной пластичностью при затворении водой, сохраняя при высыхании приданную им форму, а после обжига образуют камневидные массы. С увеличением в глинах механических примесей пластичность их быстро снижается. Монтмориллонитовые глины применяются как замечательные адсорбенты, так как обладают высокой поглотительной способностью. Крупных месторождений монтмориллонитовых глин на территории России нет.

Породы химического происхождения (хемогенные) образовались в результате выпадения из истинных и коллоидных водных растворов различных веществ. Важное значение имеют слабо-растворимые и подвижные соединения карбонатов Ca и Mg, а также легко-растворимые сернокислые и галлоидные соединения - гипсы и ангидриты, осаждающиеся при испарении перенасыщенных растворов в замкнутых морских бассейнах или озёрах, к которым относятся отложения плотных и иолитовых известняков и известковых туфов, магнезита.

К карбонатным породам относятся микрозернистые (афанитовые) известняки, а также мономинеральные породы, сложенные кальцитом, с зернистой или кристаллической структурой, пористой или кавернозной текстурой; в зависимости от текстуры средняя плотность известняков изменяется в пределах $2.6 \dots 1.0 \text{ г/см}^3$. Месторождения известняков известны в центральной части России, на Кавказе.

Магнезиты являются светлоокрашенными породами, состоящими из минерала магнезита. Прочность и плотность их выше, чем у известняков, но в природе они встречаются реже. Магнезиты являются сырьём для производст-

ва огнеупорных изделий, а скрытокристаллические разновидности с плотностью $2.9 \dots 3.0 \text{ г/см}^3$ - для изготовления минеральных вяжущих (каустического магнезита) и изделий на их основе. Месторождения магнезитов находятся на Южном Урале и Дальнем Востоке.

Сульфатные породы. Главными представителями их являются гипс и ангидрит. Они являются мономинеральными породами зернистокристаллической структуры, сложенными минералами одноимённого названия с небольшими примесями глины, песка и органических веществ.

Ангидриты более плотные породы по сравнению с гипсом. Плотность сульфатных пород $2.2 \dots 2.9 \text{ г/см}^3$, прочность на сжатие $60 \dots 80 \text{ МПа}$. Гипс и ангидрит служат сырьём для производства вяжущих.

Месторождения их известны на Средней Волге, Кавказе и Башкирии.

Породы органогенного происхождения образовались при непосредственном или косвенном участии организмов. Для этих пород характерны цельно-раковинные и органогенно-детритовые структуры, состоящие из обломков раковин. Из этой группы рассматриваются породы кремнистого и карбонатного составов.

Кремнистые породы сложены опалом, минералами группы халцедона и осадочным кварцем. Они образуются в холодных морях, реже в озёрных водоемах при участии организмов, концентрирующих в своих скелетах опал. Главными представителями пластовых пород являются диатомиты, трепелы, опоки и яшмы. Диатомиты - белые или желтоватые рыхлые породы, состоящие из мельчайших слабосцементированных кремнистых скорлупок диатомита. Трепелы - светлоокрашенные рыхлые, лёгкие и пористые опаловые породы. По физико-химическим свойствам они близки между собой: высокопористы (средняя плотность $0.40 \dots 1.3 \text{ г/см}^3$), огнеупорны, кислотоупорны, плохо проводят звук и теплоту, отличаются большим водопоглощением, используются как адсорбенты, изоляционные, фильтрующие, шлифующие строительные материалы. Месторождения имеются в Поволжье. Опоки представляют собой сцементированные кремнистым веществом трепелы или диатомиты. Плотность опок колеблется от 0.2 до 1.2 г/см^3 . Они имеют низкий предел прочности при сжатии - $1 \dots 3 \text{ МПа}$, малую среднюю плотность - $1.2 \dots 1.5 \text{ г/см}^3$. Как правило, неморозостойки. Применяются в качестве стенового материала, заполнителей в лёгких бетонах, дорожного материала, сырья для получения белых вяжущих веществ и различных добавок. Крупные месторождения опок находятся в районах Средней и Нижней Волги, на Урале. Яшмы сложены микрозернистым халцедоном SiO_2 и отличаются полосчатой тёмно-красной, желтовато-зеленоватой или чёрной окраской. Являются очень твёрдыми, крепкими однородными тонкозернистыми породами и используются в качестве прочного декоративного и поделочного материала. Они широко распространены на Урале, Тянь-Шане. Кремни встречаются в разнообразных вмещающих породах в виде пластов, линз, желваков и состоят из

опала и халцедона, иногда с примесью кварца. Наиболее распространёнными являются однородные, очень твёрдые микрозернистые, часто полосчатые, серого, красноватого, чёрного цвета кремни. Они используются исключительно как абразивный материал.

Карбонатные породы органогенного генезиса сложены преимущественно кальцитом с примесями кремнезёма, глинистых и песчаных частиц, оксидов железа и др. Широко распространены органогенные известняки, образованные путём накопления продуктов жизнедеятельности растительных и животных организмов на дне мелководных тёплых морей: ракушечники, коралловые известняки, мел. Органогенные известняки залегают пластами значительной мощности в несколько десятков метров. Главными их структурами являются цельнораковинная, органогенно-детритовая. По текстурному признаку выделяются плотные, мелко- и крупнопористые, а также кавернозные разновидности. Распространение органогенных известняков повсеместно: в Сибири, Урале. Разновидностями органогенных известняков являются ракушечники, мел. Мел рассматривается как микрозернистая, слабосцементированная мягкая порода, сложенная мельчайшими частицами скелетов карбонатных водорослей и одноклеточных животных. Вследствие малой прочности мел выгодно использовать в цементной промышленности. Он применяется для получения чистой белой извести, в производстве стекла, углекислоты, как активный наполнитель пластмасс, резиновых изделий. Средняя плотность известняков колеблется от 1.2 до 3.1 г/см³, а прочность при сжатии от 10 до 200 МПа. Средняя плотность ракушечников изменяется в пределах 1.0 ... 1.7 г/см³, а прочность при сжатии от 10 до 60 МПа. Месторождения мела имеются в Среднем Поволжье, Курской, Воронежской, Белгородской областях.

Смешанные породы представляют собой смеси карбонатных и глинистых пород, к которым относятся доломиты и мергели. Доломитами называются породы, состоящие преимущественно из минерала доломита, в котором содержится до 45.8 % магнезита. Макроскопически они похожи на известняки и опознаются по реакции вскипания только с подогретой HCl или с холодной - в порошке. Окрашены в белый, серый, жёлтый цвета. Залежи доломитовой породы находятся на Верхней Волге, во Владимирской области. Для доломитов характерны сахаровидная, зернистая, плотная структуры и разнообразные, от плотной до пористой (кавернозной) и часто трещиноватой, текстуры. Плотные доломиты характеризуются средней плотностью от 2.7 до 2.9 г/см³ и пределом прочности при сжатии в интервале от 60 до 150 МПа. Месторождения доломитов известны в Московской области, Поволжье, на Урале.

Мергели содержат от 25 до 75 % CaCO₃ и являются переходными между карбонатными и глинистыми породами. При содержании 25 ... 50 % глины в составе известняков образуются собственно мергели, которые с повышением

до 50 ... 75 % переходят в глинистые мергели, а при последующем её увеличении превращаются в известковистые глины. В составе мергелей вместо кальцита могут находиться доломит и кремнезём, образуя, соответственно доломитовые и кремнезёмистые мергели. Мергели - тонкозернистые, однородные по структуре, жёлтые, серые, неустойчивые к химическому выветриванию породы с физико-химическими свойствами, зависящими от содержания глины.

Средняя плотность их составляет $1900 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$, а предел прочности при сжатии - 60 МПа. Они быстро диагностируются с помощью НС1 - бурно вскипают с образованием на поверхности породы грязного пятна, чего не наблюдается при аналогичной реакции у известняков. Мергели являются лучшим сырьём для производства цемента. Их месторождения широко распространены в пределах Русской равнины.

Аллитовые (алюминиевые) породы состоят преимущественно из гидроксидов Al, часто с большим содержанием оксидов Fe. К ним относятся бокситы, состоящие в основном из гидроксидов алюминия с примесью опала, глинистых минералов. Чистые разновидности бокситов содержат до 63...75% глинозёма и до 25 ... 35 % воды. Окраска их может быть белой, охристо-жёлтой, бурой в зависимости от содержания оксидов железа. В структурно-текстурном отношении они могут быть микрозернистыми твёрдыми или рыхлыми разновидностями, похожими на глину. Бокситы являются рудами на Al, используются для получения глинозёмистых цемента, огнеупорных материалов, адсорбентов и др. Крупные месторождения их имеются на Урале, в Ленинградской области.

Метаморфические вторичные породы. Эти вторичные породы образовались под воздействием высоких температуры и давления, химически активных газообразных веществ и горячих растворов, циркулирующих в породах. Воздействию этих факторов, особенно проявляющихся при тектонических процессах, подвергаются как магматические, осадочные, так и ранее метаморфизованные породы. Результатом такого воздействия является изменение структурных и текстурных свойств, а иногда и химического состава пород. Минеральный состав метаморфических пород сходен с составом материнских пород, но наряду с первичными минералами: кварцем, полевыми шпатами, амфиболами, слюдами - появляются вторичные, характерные только для метаморфических пород, - гранаты, хлориты, серпентин и др. Они имеют кристаллически-зернистую (кристаллобластовую) структуру с вытянутой формой частиц и разнообразные виды текстур. Наиболее типичными являются сланцеватая с параллельным расслоением в одном направлении чешуйчатых, листоватых, пластинчатых минералов; полосатая (гнейсовая) с линейным расположением чередующихся полос различного минерального состава, а также массивная текстура, развивающаяся при перекристаллизации однородных первичных пород без изменения расположения их зёрен. Формы

залегания метаморфических пород соответствуют формам залегания материнских магматических и осадочных пород. К наиболее распространённым метаморфическим породам относятся гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты и мраморы.

Гнейсы - светлоокрашенные серые, красноватые и других оттенков кристаллически-зернистые породы, образующиеся при метаморфизме кислых магматических и осадочных пород. Среди них различают ортогнейсы, появившиеся из гранитных или кислых порфировых, и парагнейсы - при метаморфизме осадочных пород: аркозовых песчаников, рыхлых скоплений кварца, полевого шпата, слюд и др. Ортогнейсы по минеральному составу сходны с гранитами, но отличаются от них слоистой или полосатой текстурой. Средняя плотность их составляет $2400 \dots 2800 \text{ кг/м}^3$, а наибольший предел прочности при сжатии (перпендикулярно слоистости) изменяется от 100 до 200 МПа и уменьшается в параллельном направлении примерно в два раза. Они используются в виде облицовочных плит, для кладки фундаментов, в качестве мостильного и бутового камня и др. Их месторождения известны в Карелии, на Кольском полуострове, Восточной Сибири, Кавказе.

Кристаллические сланцы. Глинистые сланцы образуются из глин при слабом влиянии метаморфизма, а с дальнейшим его усилением претерпевают полную перекристаллизацию и переходят в филлиты - тёмно-серые и красноватые тонкосланцевые породы, состоящие из вторичных кварца, серицита и хлорита. Они отличаются способностью раскалываться на ровные тонкие пластинки и, обладая достаточной плотностью, вязкостью, твёрдостью и водостойкостью, используются как местный кровельный материал. Филлиты имеют предел прочности при сжатии $50 \dots 240 \text{ МПа}$, плотность - около 2.7 г/см^3 . При дальнейшем повышении давления и температуры филлиты преобразуются в другие разновидности сланцев: слюдяные, хлоритовые, тальковые и т.д. Особое место занимают шунгитовые сланцы - древние (докембрийские) метаморфизованные осадочные породы плотной структуры, сложенные шунгитовым веществом. Они окрашены в тёмно-серый, иногда чёрный цвет, отличаются средней плотностью $2700 \dots 2900 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $140 \dots 300 \text{ МПа}$. Особо ценным свойством этих пород является их способность превращаться в лёгкий пористый заполнитель - шунгизитовый гравий. При этом наиболее активное и полное вспучивание при обжиге проявляется у шунгитовых пород, содержащих $1.2 \dots 5 \%$ шунгитового вещества с частицами размером около 0.02 мкм , равномерно распределённого в кварц-плагиоклаз-хлоритовой силикатной массе. Особенностью шунгизитового гравия является наличие стекловатой структуры и исключительная инертность по отношению ко всем агрессивным средам. Шунгитовые сланцы применяются в качестве сырья для получения шунгизитового гравия, чёрного цемента, красок, добавок при изготовлении силикатного кирпича, штучных плит для полов, плитусов, а также как декоративный и скульптурный мате-

риалы. Шунгитовые сланцы добываются в Карелии. Различные разновидности других кристаллических сланцев встречаются во многих районах Урала, Сибири, Кавказа.

Кварциты образуются путём метаморфизации кварцевых песков и песчаников под влиянием давления и высоких температур. Это очень плотные и твёрдые мелко- и среднезернистые белые, жёлтые, серые и красноватые породы с массивной или сланцевой текстурой. Наряду с кварцем (до 95 ... 99 %) они могут содержать различные примеси: слюды, гематита, хлоридов и др. Кварциты погодоустойчивые и прочные породы: предел прочности их составляет 100 ... 400 МПа, а средняя плотность изменяется от 2800 до 3000 кг/м³. Они отличаются слабым сцеплением с вяжущими, большой хрупкостью и труднообрабатываемостью; имеют высокую огнеупорность, кислото- и щёлочестойкость и применяются главным образом в производстве динаса, а также как абразивный, кислото- и щёлочестойкий материалы. Красивые разновидности кварцитов являются прекрасным декоративным и облицовочным материалом. Разновидности со значительным содержанием (более 40 %) железистых минералов являются рудами на железо (Криворожье, Курская магнитная аномалия). Месторождения кварцитов известны в Карелии, Ленинградской области, Криворожье, КМА, на Алтае и др.

Мраморы образуются при перекристаллизации известняков и доломитов под влиянием динамотермального метаморфизма с преобладанием температурного фактора. Чаще всего они появляются на контакте карбонатных пород с интрузиями и представляют собой равномерно-зернистые массивные или слоистые породы, окрашенные в разнообразные цвета от светлых до чёрных с различными оттенками в зависимости от содержания примесей. Главными породообразующими минералами являются кальцит (легко вскипающие мраморы от **НС1**) и доломит (плохо вскипающие мраморы) с возможными примесями, в том числе кварца. Особенно вредной примесью является пирит, легко разлагающийся на воздухе с образованием **H₂SO₄** и сильно ухудшающий физико-механические свойства мрамора и его окраску. Средняя плотность мраморов близка к 2600 ... 2800 кг/м³, а предел прочности при сжатии достигает 100 ... 120 МПа. Доломитовый мрамор значительно прочнее и твёрже кальцитового. Мраморы хорошо обрабатываются - пилятся, шлифуются и полируются, но слабо сопротивляются выветриванию, особенно влиянию агрессивной воды, содержащей растворённую угольную кислоту. Мраморы широко применяются для внутренних отделочных работ, а в виде крошки - при приготовлении цветных штукатурок, облицовочного декоративного бетона. Месторождения мрамора находятся в Карелии, Урале, Сибири, Кавказе и др.

3.4. Распространенность элементов в земной коре

Хозяйственная деятельность человека тесно связана с использованием природных богатств, в том числе залегающих в недрах земной коры. Поэтому полезно напомнить некоторые общие сведения о земной коре.

Толщина земной коры в горных районах достигает 50-70 км и падает до 5-10 км в океане. Большинство геологов принимают среднюю толщину земной коры в 16 км. С известной долей достоверности можно считать, что наиболее распространенные элементы O, Si, и Al составляют по массе 82.58 %, а первые по распространенности, 12 элементов - O, Si, **Al, Fe, Ca**, Mg, Na, K, H, Cl, Ti, C - 99.29 %. Следовательно, на долю остальных элементов приходится только 0.71%.

Примерное содержание наиболее распространенных минералов (в % по массе) в земной коре таково:

Кварц, опал, халцедон и др. разновидности SiO_2	12.0
Глины	1.5
Мета - и ортосиликаты	15.0
Полевые шпаты	54.0
Слюды	3.0
Доломит	1.0
Кальцит	1.5
Минералы, содержащие железо	3.0

Осадочные породы являются главным сырьем промышленности (табл.3.1), в них содержится примерно 70 % глин, около 20 % - песков и песчанников, 5 % - карбонатов.

Таблица 3.1.

Содержание оксидов в земной коре _____ и продуктах
промышленного производства (по А.Е. Ферсману)

Оксиды	Магматические породы, %		Осадочные породы, %		Продукты промышленного производства
SiO_2	59.12		58.53		63.0
Al_2O_3	15.34		13.07		12.0
Fe_2O_3	3.08		3.37		
FeO	3.80	6.88	2.0	5.37	9.0
CaO	5.16		5.44		
Na_2O	3.84		1.10		
MgO	3.49	15.62	2.51	11.86	13.0
K_2O	3.13		2.81		
H_2O	1.15		4.28		
CO_2			4.94		3.0

Известна роль воды и углекислоты в процессах минералообразования. Если в изверженных породах содержание воды составляет 1.15 %, а CO_2 практически отсутствует, то в осадочных породах содержание H_2O повышается до 4.2 %, а CO_2 - до 4.94 %. Следует подчеркнуть, что на 1 молекулу CO_2 в осадочных породах приходится 2.44 молекулы воды; велика ее роль в геологических процессах выветривания, которые идут при относительно низких температурах.

В производстве строительных материалов и изделий давно используется обработка исходного сырья при высоких температурах (800 - 2000 °С) и нормальном атмосферном давлении. Только автоклавная технология использует относительно низкие температуры (100-300 °С) при повышенных давлениях парогазовой среды. Именно такие условия очень часто имеют место в верхних слоях земной коры, где идут интенсивные процессы образования осадочных и метаморфических горных пород.

Образование минералов и горных пород в земной коре идет в широком диапазоне температур и давлений. Известно, что на каждые 100 м температура увеличивается на 1 °С, на глубине 100 км температура достигает 1100 - 1300 °С. Об увеличении давления по мере углубления дают представление следующие данные:

Глубина, км	Давление, МПа
100	3100.0
600	21300.0
600	68000.0
3600	230000.0
6370	350000.0

Вещество в твердом состоянии сохраняет форму и объем, что позволяет широко использовать его для инженерных целей. Вещество в жидком состоянии сохраняет только объем; с понижением температуры, упорядоченность его строения увеличивается, а с повышением температуры - уменьшается, и жидкость приближается к газообразному состоянию. У вещества в газообразном состоянии упругость формы отсутствует, а упругость объема имеет односторонний характер (сопротивление только сжатию).

Для технологии строительных материалов особое значение имеет твердое состояние вещества. Твердые тела принято делить на кристаллические и аморфные. Все кристаллы имеют упорядоченное строение - кристаллическую решетку. При одинаковом химическом составе кристаллы обладают меньшей энергией, чем аморфные тела. Физические свойства кристаллов могут меняться в различных направлениях (анизотропия), что обусловлено строением кристаллической решетки.

Аморфные вещества не имеют организованной структуры. Они, как правило, изотропны и обладают избытком свободной энергии. Вещества в аморфном состоянии, как менее устойчивые, при соответствующих условиях переходят в кристаллические с выделением тепла, процесс перехода из аморфного состояния в кристаллическое необратим. Получить аморфное вещество из кристаллического удастся только в качестве побочного продукта химических процессов, например при обезвоживании $\text{Al}(\text{OH})_3$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$, либо в результате предельно тонкого измельчения, когда размеры зерен достигают порядка 10^{-7} см и меньше, удельная поверхность характеризуется величиной 500-1000 м²/г. К этой огромной внешней поверхности следует добавить внутреннюю (трещины, каверны и т.п.). Практически достигнуть такого диспергирования чрезвычайно трудно, так как после определенного уровня создаются благоприятные условия для развития обратных процессов (образования флокул, рекристаллизации и др.). Упругость пара аморфных фаз больше упругости пара кристаллических фаз аналогичного состава, что определяет их неустойчивость и обуславливает возможность перехода в кристаллическое состояние. Технический синтез новообразований требует меньших энергозатрат при использовании исходных компонентов аморфного, стеклообразного строения или тонкоизмельченных кристаллических.

Кристаллическое состояние является следствием периодичности поля кристаллической решетки и распределения электронной плотности в объеме кристалла. Устойчивые структурные формы подчиняются требованиям минимума свободной энергии, энергетическая прочность кристалла характеризуется энергией решетки (ионный кристалл) или энергией атомизации (атомный кристалл), механическая прочность - удельной свободной поверхностной энергией.

Строение кристаллической решетки связано с химическим составом вещества. Чем проще химический состав, тем выше симметрия кристаллов. 50 % элементов и 70 % бинарных соединений образуют кубические кристаллы, 75 - 85 % соединений с четырьмя-пятью атомами в молекуле образуют призматические и ромбические кристаллы. Родственные по строению молекулы кристаллизуются в сходных кристаллических формах.

В узлах кристаллической решетки находится одна элементарная ячейка. Она представляет собой наименьший объем, который можно выделить, причем в этом объеме сохраняются все свойства кристалла. Расстояние между узлами - элементарными ячейками - в кристаллах измеряется в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ см). Обычный кристалл состоит из простых, плотно уложенных блоков размером 10^{-5} - 10^{-6} см. Реальный кристалл отличается от идеального. По ряду причин в нем возникают дефекты «грубого» строения (трещины, искривления, примеси посторонних веществ) размером в несколько десятков ангстрем и дефекты «тонкой» структуры, если внутрь решетки войдет мень-

ший или больший посторонний ион. В идеальном кристалле расположение ионов, атомов, молекул в узлах пространственной решетки характерно для конкретного минерала, т.е. является его качественной характеристикой. Прочность идеального кристалла очень велика - десятки тысяч мегапаскалей. Прочность же реальных кристаллов много ниже. Так, наиболее распространенные строительные материалы имеют прочность 1.0 - 300.0 МПа. Поэтому полезно так организовать технологический процесс, чтобы обеспечить получение кристаллических продуктов с наиболее искаженными решетками. В частности, известно, что, чем крупнее кристалл, тем более вероятно возникновение различных дефектов. На рис. 3.7 показано изменение прочности монокристалла в зависимости от площади поперечного сечения. Более устойчивы структуры, в которых обеспечена плотнейшая упаковка и имеется выгодное число и направление связей.

В зависимости от особенностей силикатных кристаллов различают решетки: ионные, ковалентные, молекулярные; широко распространены решетки промежуточных форм.

Заметим, что технология минеральных строительных материалов в известной мере имитирует процессы, происходящие в недрах земной коры. Огонь - первая природная стихия, которой человек давно научился управлять и которую он энергично эксплуатирует для бытовых и промышленных целей. Так, основным способом производства строительных материалов является огневая - температурная обработка (таблица 3.2.).

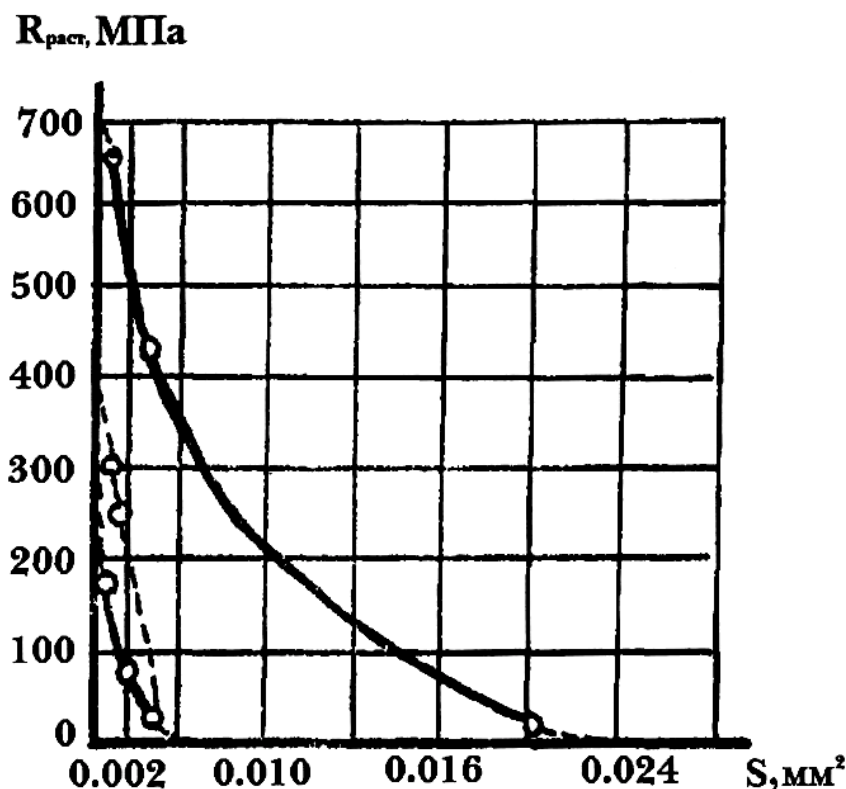


Рис.3.7. Прочность монокристалла в зависимости от площади поперечного сечения

В металлургии в подавляющем большинстве случаев процесс ведется в восстановительной атмосфере при высоких температурах, обеспечивающих расплавление продуктов с последующей термической обработкой охлажденного металла (закалка, отпуск, цементация и т.п.) для фиксации заданных свойств.

Таблица 3.2.

Классификация минеральных образований

Группы природга	ых минеральных Ленду	Группы минеральш	лх образований о А.В. Нехорошеву
Температурный интервал, °С	Технологические условия	Температурный интервал, °С	Технологические условия
1000 и выше 600	Воды мало	Выше 900-1000	Термические
- 1000	Вода присутствует в значительных количествах	600-900 (1000)	Пневмотолито-термические
375 - 600 ниже	Вода играет существенную роль	200-375 (600) ниже	Пневмотолито-гидротермальные
375	То же	200	Гидротермальные

Технология минеральных строительных материалов применяет: высокие температуры, обеспечивающие полное или частичное расплавление и низкие температуры вплоть до нормальных; вакуум, атмосферное и высокое давление; восстановительную, окислительную и нейтральную атмосферу.

Глава 4. Искусственные строительные материалы

4.1. Технология

Технология (от греч. наука о мастерстве) - совокупность методов обработки, изготовления, изменение состояния, свойств, формы сырья, материала или полуфабриката в процессе производства продукции.

Известны различные технологии: химическая технология изучает процессы, ведущие к изменению химического состава исходного сырья и получение нового продукта, обладающего нужными химическими и физическими свойствами; технологические процессы механической обработки связаны главным образом с изменением формы; технологические процессы сборки приводят к относительному изменению положения деталей или целых узлов, необходимому для создания более сложной системы (машины, аппараты, сооружения).

Следует подчеркнуть взаимосвязь механических, физических и химических способов обработки. Так, например, тонкое измельчение и повышение температуры способствуют ускорению процессов. Существуют химические приемы, облегчающие механическую обработку (так, при смачивании водой извести-киселки получают тонкий порошок извести-пушонки). Технология сборки также широко использует достижения и химической, и механической обработки (сварку, склеивание).

Совершенствование и прогрессивное развитие любой отрасли промышленности требует обстоятельных знаний в пограничных областях. Более того, возникновение таких наук, как физическая химия, химическая физика, физико-химическая механика и другие, тесно связано с развитием технологии различных производств.

Непрерывное научное развитие технологии является мощным средством увеличения производительности труда и более эффективного использования природных богатств.

Производство строительных материалов и изделий следует отнести к химической технологии. Оно опирается в значительной мере на химию твердых тел - научное направление, зародившееся в начале текущего столетия.

В развитии любой отрасли производства, и в частности химической технологии, можно выделить три этапа.

1-й этап - зарождение новой технологии, когда известны отдельные отрывочные данные, мало научных сведений и много так называемых секретов производства. На первом этапе развития предъявляются строгие требования к сырью и режимам его обработки, и все же, как правило, продукция не обладает высоким качеством. Современный уровень знаний позволяет, и довольно часто, миновать первый этап, однако исключить его полностью невозможно.

Примером может служить развитие автоклавной технологии, пластических масс.

2-й этап - систематизация и научная обработка производственного опыта и результатов исследований. Создаются правила выбора сырья, подготовки и обработки сырьевой смеси. Устанавливается зависимость качества продукта от его основного состава и главнейших примесей. Систематизируются результаты наблюдений за физическими и химическими процессами, происходящими в сырьевой шихте при обработке. Разрабатываются технические условия и требования на стандартную продукцию. Сведений достаточно, чтобы организовать производство в государственном масштабе, но недостаточно, чтобы сознательно регулировать в нужном направлении качество продукции. При замене сырья необходимо проведение экспериментов.

3-й этап развития технологии - научное управление производством. Известны основные закономерности технологии, что позволяет регулировать качество продукции, использовать различные виды сырья и менять технологические режимы с учетом применяемого сырья и качества продукции.

Главной задачей инженера-технолога является создание условий, обеспечивающих максимальную производительность труда, для чего он должен владеть методикой расчета материальных, энергетических затрат, кинетических и других технологических показателей, уметь разрабатывать технологические схемы; составлять и правильно оценивать технико-экономические расчеты; предусматривать мероприятия, обеспечивающие охрану труда и необходимые санитарно-технические условия производства.

Технико-экономическая эффективность технологического процесса характеризуется следующими показателями:

1. Главные:

- а) расход сырья и энергии на единицу продукции, полнота использования природных богатств;
- б) качество и стабильность продукции;
- в) интенсивность процессов.

2. Производные:

- г) трудозатраты и производительность аппаратуры;
- д) затраты на организацию производства;
- е) себестоимость продукции.

Если при эффективных главных показателях оказывается неэффективным хотя бы один из производных, то причины прежде всего нужно искать в аппаратном оформлении, режимах и организации производства в целом. Но, если неэффективны «а», «б» и «в», то нужно ставить вопрос о целесообразности дальнейшего существования такой технологии.

Производительность труда и аппаратов тесно связаны. Дело не только в объеме и качестве продукции, очень важно, какими средствами они достигаются, каковы условия труда, материальные затраты общества в целом. Такой

подход заставляет нас менять отношение к установившимся технологическим схемам и аппаратам.

Экономичность обуславливается не только технологическим процессом, но и конъюнктурными условиями страны, а иногда отдельного региона. Большое значение имеют местные цены на топливо, электроэнергию, строительные материалы, условия транспорта продукции и другие, которые определяют себестоимость и капитальные затраты. Инженер должен уметь выбрать в конкретных условиях наиболее эффективную технологию, правильно аппаратно ее оформить, автоматизировать и обеспечить санитарно-технические условия, исключающие загрязнение воздуха, воды и территории отбросами производства.

Главные задачи современной химической технологии:

- максимально экономное использование природных богатств;
- синтез веществ путем химических превращений сырья;
- переработка нового вещества в конечный массовый продукт;
- разработка аппаратов-автоматов, обеспечивающих при высоких технико-экономических показателях необходимые санитарно-гигиенические условия рабочих и живущего в районе завода населения.

Технологическая схема производства минеральных строительных материалов и изделий (без учета транспортных операций) включает:

1. Добычу сырья. Определение запасов, оценку качества и стабильности исходного сырья, выбор способа добычи.

2. Подготовку сырья. Обогащение, измельчение, сушку и увлажнение, а также другие операции, которые приводят сырье в стандартное для данного технологического процесса состояние.

3. Приготовление сырьевой смеси. Расчет состава (определение соотношения исходных компонентов), определение условий перемешивания (мокрый или сухой способы подготовки сырьевой смеси и т.д.), выбор аппаратуры, обеспечивающей требуемые технологические характеристики.

4. Подготовку к реактору. Формование, предварительное выдерживание в определенных условиях до реактора (нагревание, охлаждение, сушка, увлажнение и т.п.).

Например, технологию подготовки смесей к обжигу определяют печи: шахтная (щебень, окатыши, брикеты), вращающаяся (порошок или шлам). Технологию формовки также определяет способ подготовки шихты: мокрый - литье, сухой порошок - прессование и т.д.

Подготовкой к реактору являются операции:

- выдержки перед процессом (например, железобетонных изделий перед гидротермальной обработкой);
- придания изделию необходимых формы, размеров, влажности.

5. Обработку в реакторе (печи, автоклаве, пропарочной камере) при оптимальных температуре, давлении, влажности.

6. Отделку и сортировку. Придание продукту товарного вида.

7. Хранение продукта. Определение условий режима хранения на складе завода. График времени, температур, влажности.

4.2. Неорганические вяжущие и материалы

На основе неорганических вяжущих веществ (цементов, силикатов и глин) приготавливают минеральные гидроизоляционные материалы.

Теплоизоляционные материалы из ячеистых бетонов имеют пористость, коэффициент теплопроводности и температуры применения соответственно 85 - 92 %, 0.058 - 0.081 Вт/(м·°С) и 400 - 700 °С.

Акустические материалы обладают коэффициентом звукопоглощения в зависимости от частоты звуковых волн - 0.08 - 0.76.

* Сырьевой базой для производства неорганических вяжущих веществ являются горные породы и побочные продукты промышленности. Среди горных пород для этих целей используют сульфатные - гипс и ангидрит; карбонатные - известняк, мел, известковые туфы, ракушечник, мрамор, доломиты, доломитизированные известняки, магнезит; мергелистые - известковые мергели; алюмосиликатные - нефелины, глины, глинистые сланцы; высокоглиноземистое сырье - бокситы, корунды и др.; кремнеземистые горные породы - кварцевый песок, вулканический пепел (пуццолана), диатомит, трепел, опока.

Среди побочных продуктов находят применение шлаки металлургические и золы, которые делятся на основные и кислые, что определяется их модулем основности:

$$M_0 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (4.1)$$

У основных шлаков $M_0 > 1$; у кислых - $M_0 < 1$.

Воздушные вяжущие вещества. Сырьем для производства гипсовых вяжущих веществ служат сульфатные горные породы, содержащие минерал двухводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При температуре от 110 до 180 °С природный гипс становится полуводным гипсом - $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$.

Особенностью гипсовых вяжущих веществ является их короткий срок схватывания. Их использование обуславливается относительной влажностью воздуха не более 60%, так как увлажнение гипсового изделия связано с понижением прочности и ростом пластических деформаций. Известны способы повышения водостойкости гипса и изделий, например добавлением синтетических смол, пропиткой гидрофобными веществами, интенсивным уплотнением при формировании. Особенно эффективным способом повышения во-

достойности является переход к смешанным вяжущим веществам на основе гипса.

Сырьем для производства воздушной извести служат плотные известняки, ракушечники, мел, доломитизированные известняки при условии, что содержание глинистых примесей в них не превышает 6 %. Сырье обжигают при температуре 1000 ... 1200 °С до полного удаления углекислого газа.

Если комовую известь измельчить, получится молотая негашеная. Более распространена в строительстве известь гашеная, получаемая путем затворения водой негашеной извести.

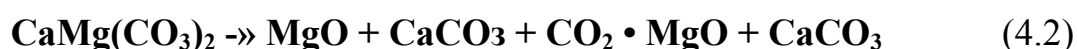
Гашение извести производится в пушенку или в известковое тесто. При расходе воды 1 л на 1 кг извести комовая известь превращается в тонкий рыхлый порошок со значительным увеличением в объеме; при расходе воды 2 ... 3 л на 1 кг извести получается известковое тесто, что также сопровождается увеличением в объеме.

Воздушную известь применяют для приготовления кладочных и отделочных растворов, бетонных изделий, силикатного кирпича и т.д.

Сырьем для магнезиальных вяжущих веществ служит магнезит MgC O_2 и доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_2$.

Обжиг магнезита производится при температуре 750...800°С (во вращающихся печах до 1000°С) до полного разложения MgC O_2 на MgO и CO_2 с удалением углекислого газа. После помола MgO представляет собой воздушное вяжущее вещество, называемое «каустическим (жгучим, едким) магнезитом», оно имеет предел прочности при сжатии 40...60 МПа.

Обжиг доломита производят при более низких температурах в интервале 650...750°С, так как при повышении температуры обжига начинает разлагаться и CaCO_3 с образованием извести. Разложение происходит по реакции:



Полученный материал называют каустическим доломитом, который из-за инертной примеси CaCO_3 не имеет высокой прочности - марка не превышает 100...300 (кгс/см²).

Особенностью применения магнезиальных вяжущих веществ является затворение их водными растворами магнезиальных солей MgCl_2 и MgSO_4 , причем начало схватывания наступает не позднее 20 минут, а конец - не позднее 6 часов.

Магнезиальные вяжущие вещества имеют хорошее сцепление с органическими заполнителями: древесными опилками (ксилолиты), древесной шерстью (фибролиты).

Растворимое (жидкое) стекло. Для производства растворимого стекла сырьем служат в основном чистый кварцевый песок и кальцинированная сода

Ka₂CO₃ или сернокислый натрий **Na₂SO₄**, значительно реже вторым компонентом является поташ **K₂CO₃**.

Тщательно перемешанную сырьевую смесь расплавляют в стекловаренных печах при температуре 1300...1400°C, а затем содержимое выгружают в вагонетки. При быстром охлаждении она твердеет и раскалывается на куски, именуемые силикат-глыбой. Лучше всего растворять силикат-глыбу в автоклавах при давлении 0.6 ... 0.7 МПа и температуре 150 °С, превращая ее в сиропообразную жидкость плотностью 1300 ... 1500 кг/м³. Состав получаемых щелочных силикатов выражается формулами: натриевого **Na₂O nSiO₂**, калиевого **K₂O nSiO₂**, где n - модуль жидкого стекла, равный соответственно 2.6 ... 3.5; 3 ... 4. Модуль показывает, во сколько раз в грамм-молекуле щелочного силиката больше кремнезема, чем оксида щелочного металла.

Жидкое (растворимое) стекло применяют для производства кислотоупорных цемента, жароупорных бетонов, силикатных красок и обмазок, для пропитки (силикатизации) грунтовых оснований.

Гидравлические вяжущие вещества. Гидравлические вяжущие вещества могут быть использованы как в сухих (воздушных), так и во влажных условиях. Впервые гидравлические вяжущие вещества применили римляне в I веке нашей эры для сооружений водопровода; они смешивали воздушную строительную известь с вулканическим пеплом, пуццоланой (несколько искаженное итальянское название по наименованию местечка Пуццуоли вблизи Рима).

Гидравлическая известь. Сырьем для производства гидравлической извести служат мергелистые известняки с содержанием в них глины и песчаных примесей от 6 до 20%.

Сырье обжигается при температуре 900...1100°C. При обжиге образуется не только свободная известь, но и ее химические соединения с оксидами глины: силикаты **2CaOSiO₂**, алюминаты **2CaOA1₂O₃**, ферриты **2CaO • Fe₂O₃** кальция.

Гидравлическая известь обладает невысокой прочностью, прочность при сжатии составляет 2...5 МПа.

Характеристикой сырья и готового вяжущего вещества служит гидравлический, или основной модуль:

$$m = \text{SiO}_2 / \text{A1}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \quad (4.3)$$

Для гидравлической извести основной модуль может колебаться в пределах от 1.7 до 9.0. У воздушной извести гидравлический модуль больше 9.0.

Портландцемент. Сырьем для производства служат известняк и глина. Могут использоваться мергель, доменный шлак, опока и др.

Требование к химическому составу сырья для получения клинкера - не допускает больших колебаний в содержании четырех главных оксидов. Содержание оксидов (%): **CaO** - 63...67, **SiO₂** - 20...24, **A1₂O₃** - 4...9, **Fe₂O₃** - 2...4.

При расчете состава сырья используется основной, или гидравлический модуль, указанный выше, а также силикатный (кремнеземистый), %:

$$n = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \quad (4.4)$$

или алюминатный (или глинозе):

$$P = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 \quad (4.5)$$

Их числовые значения должны находиться в пределах: $t = 1.9 \dots 2.4$; $n = 1.7 \dots 3.5$; $p = 1.0 \dots 2.5$.

Производство портландцемента состоит из приготовления сырьевой смеси, обжига этой смеси до спекания в клинкер, складирования клинкера, помола клинкера совместно с гипсом, минеральными и другими добавками.

Для изучения кинетики клинкерообразования наибольший интерес представляют скорости растворения CaO , $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, т.е. тех минералов, которые взаимодействуют при обжиге цементного клинкера.

Тороповым Н.А. и Румянцевым П.Ф. разработан метод исследования кинетики растворения клинкерных минералов в жидкой фазе портландцементного клинкера. Для исследования рекомендуется использовать высокотемпературный микроскоп. При этом на площадку расклепанной части платинового нагревателя наносится тонкий слой измельченного и тщательно перемешанного порошка, составленного из углекислого кальция, кварца, окиси алюминия, окиси железа в таком соотношении, которое в пересчете на прокаленное вещество дает валовый химический состав, соответствующий назначенному химическому составу расплава.

Затем образец нагревается до температуры 1350°C и охлаждается до комнатной температуры (рис.4.1,а). На поверхность застывшего расплава наносятся частицы (зерно) минерала, растворение которого изучается (рис.4.1,б). Размер зерна предварительно измерялся под микроскопом. Температуру приготовленного таким образом образца быстро (в течение 1 с.) поднимают до заданной, и зерно начинает растворяться (рис.4.1,в). Выдержку образца при заданной температуре продолжают до полного растворения зерна (рис.4.1,г), при этом секундомером фиксируют продолжительность растворения.

Обжиг сырьевой смеси - центральный этап технологии цемента. Наивысшая температура обжига (1450°C) достигается в зоне спекания. При этом образуется расплав в количестве 20...30% объема обжигаемой смеси. В присутствии жидкой фазы происходит более полное насыщение силиката кальция известью и образуется трехкальциевый силикат $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S) - основное соединение. По Бутгу и Тимашеву, сначала образуются тетраэдры SiO_4 , которые потом соединяются с ионами Ca^{2+} , образуя кристаллическую решетку трехкальцевого силиката. Остальные соединения образуются

ранее (двухкальциевый силикат Ca_2SO_4 , трехкальциевый алюмосиликат $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ и четырехкальциевый алюмоферрит $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$).

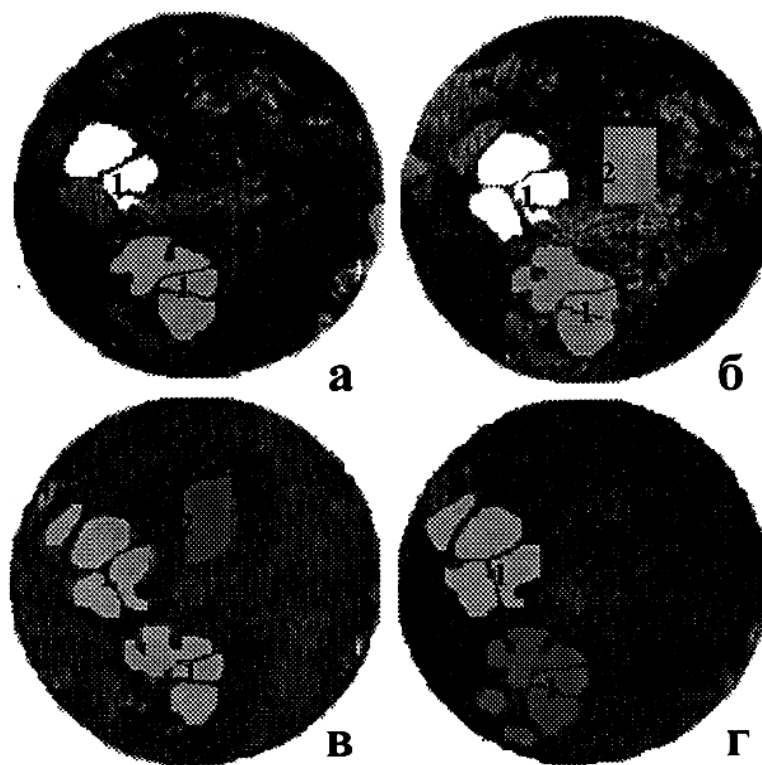


Рис.4.1. Растворение зерна окиси кальция в жидкой фазе цементного клинкера, $\times 130$
а – жидкая фаза клинкера при обычной температуре; б – образец жидкой фазы клинкера с нанесенным на него зерном окиси кальция, температура 1000 °C; в – жидкая фаза с растворяющимся в ней зерном окиси кальция при температуре 1350 °C; г – окись кальция, растворившаяся в расплаве полностью при температуре 1350 °C.
1 – реперные кристаллы; 2 – зерно окиси кальция.

Состав клинкера, %

Ca_3SiO_5 (кратко C_3S).....	45...60
Ca_2SiO_4 (кратко C_2S).....	20...30
$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (кратко C_3A).....	4...14
$\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ (кратко C_4AF).....	10...18

Активностью портландцемента называют показатель предела прочности, получаемый при испытании на осевое сжатие половинок образцов балочек размерами 4 x 4 x 16 см, изготовленных из цементного раствора состава 1:3 (по массе) и В/Ц = 0.4, в возрасте 28 суток твердения.

На активность портландцемента значительное влияние оказывает тонкость помола 2500...3000 $\text{см}^2/\text{г}$. При помоле с центробежным сепаратором,

возвращающим крупные зерна на домол, можно достигнуть тонкости помола с удельной поверхностью до 4000...5000 см²/г.

Все доменные шлаки в той или иной степени обладает способностью к гидравлическому твердению, но эта способность у большинства шлаков находится в скрытом состоянии. Использование шлаков для производства шлаковых цементов основано на применении ряда методов активации их гидравлических свойств.

Существует по крайней мере два пути активации вяжущих свойств доменных шлаков: обработка остывших тонкоизмельченных шлаков и шлаков в огненно-жидком состоянии.

Тороповым Н.А. и Румянцевым П.Ф. доказана возможность получения из огненно-жидких доменных шлаков плавленого портландцементного клинкера обогащением **CaO** и **Fe₂O₃** (рис.5.2). Было сделано несколько следующих выводов. При обогащении огненно-жидкого шлака **CaO** необходимо довести его химический состав до состава портландцементного клинкера и обеспечить температуру нагревания 1700 - 1800 °С. Введение фтористого натрия в шлаки существенно увеличивает скрытые гидравлические свойства шлаков, имеющих в своем составе **2CaO • SiO₂**, и снижает температуру плавления всех шлаков. NaF в данном случае является плавнем - активизатором. Добавка 1% портландцемента к шлаковым расплавам перед грануляцией повышает активность цементов из этих шлаков на 20 - 30%.

Изменение физико-механических свойств клинкера значительно зависит от температуры его получения, что связано с происходящими структурными изменениями в нем (рис.4.2). Действительно, согласно данным петрографического анализа, при нагревании заводского клинкера до 1720 °С наряду с незначительным увеличением количества жидкой фазы наблюдается постепенное укрупнение до 60-80 мкм кристаллов **2CaO • SiO₂** и **3CaO • SiO₂**, и эти кристаллы принимают правильную, характерную для данных минералов форму (крупные зерна белита и крупные пластинки элита, рис.4.2, а).

Укрупнение кристаллов и увеличение устойчивости их кристаллической решетки за счет более совершенной кристаллизации - единственно возможные причины снижения гидравлической активности расплавленного при 1720°С клинкера (рис. 4.2,б).

С 1720 °С начинается разукрупнение кристаллов белита, а при 1800 °С то же самое происходит и с элитом. Так, в клинкере, полученном плавлением при 1820 °С и быстро охлажденном, наблюдается мелкокристаллическая структура, представляющая собой тонкие длинные пластинки **3CaO • SiO₂** и между ними - очень мелкие округлые кристаллики **3CaO • SiO₂** (рис. 4.2,в).

Такой характер кристаллизации обуславливает повышенную гидравлическую активность. Подтверждением этому служит то, что при более медленном охлаждении происходит укрупнение кристаллов элита и белита

(рис.4.2,г), которое сопровождается снижением гидравлической активности плавленого клинкера.

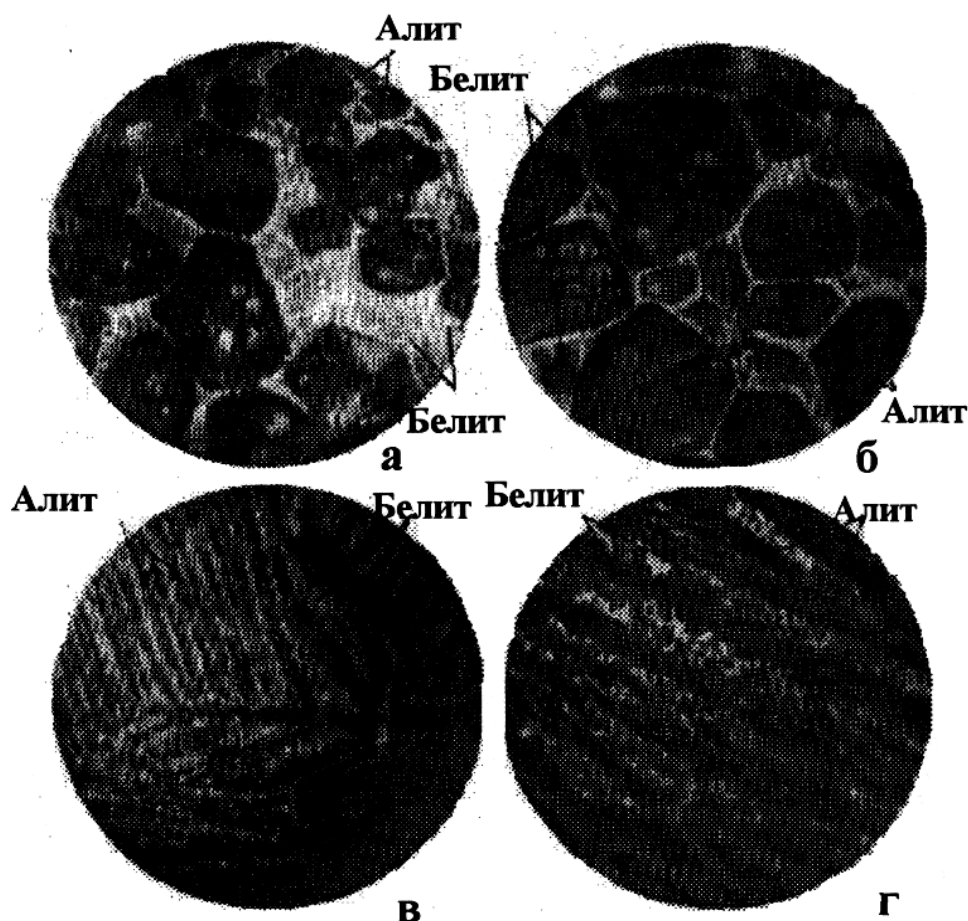


Рис. 4.2. Расплавленный клинкер завода им.Воровского в отраженном свете:
а – 1720 °С, грануляция мокрая; б – 1720 °С, охлаждение с тиглем; в – 1820 °С, грануляция мокрая; г – 1820 °С, охлаждение тонким слоем

Быстротвердеющие и высокопрочные цементы изготавливают из тщательно подобранных сырьевых материалов. Содержание C_3S в БТЦ должно быть не менее 50%, а в ВПЦ - не менее 60%. К быстротвердеющему портландцементу можно добавлять не более 10% активных минеральных добавок (или не более 15% гранулированных доменных шлаков). В ВПЦ добавок вводят не более 5%.

Алинитовый цемент. Сырьем для его производства являются смесь известняка, глинистого компонента и добавки раствора хлористого кальция.

Для получения клинкера сырьевую смесь обжигают при температуре Ю50...1150°С (вместо 1450...1500°С при получении клинкера портландцемента). Преимущества данного вида цемента связаны с низким расходом топлива (на 15...20%) и увеличенной скоростью набора прочности. Недостатки -пониженная морозостойкость, коррозирование в нем арматуры.

Сульфатостойкий портландцемент. Не должен содержать минеральных добавок, снижающих морозостойкость бетонов на его основе. Имеет строго установленный химический состав, в процентах: трехкальциевого силиката C_3S - не более 50, трехкальциевого алюмината C_3A - не более 5, а сумма C_3A и C_4AF - не выше 22. Применяется в бетонах, работающих в условиях сульфатной среды, требующих повышенной морозостойкости.

Пластифицированный портландцемент - продукт тонкого измельчения портландцементного клинкера с двуводным гипсом (3 ... 5 %) и с добавлением при помоле около 0.25% сульфитно-дрожжевой бражки СДБ. Эти добавки, адсорбируясь на поверхности частиц цемента, повышают смачиваемость цемента водой, не препятствуя их взаимодействию. Добавки уменьшают трение между зернами цемента в бетонных смесях и между зернами заполнителя, что позволяет уменьшить расход цемента на 5 ... 10 %.

Гидрофобный портландцемент - продукт тонкого измельчения портландцементного клинкера с двуводным гипсом (3 ... 5 %) и с добавлением при помоле 0.1 ... 0.2 % гидрофобизированных добавок - мылонафта, синтетических жирных кислот, асидола и др. Эти частицы, адсорбируясь на поверхности зерен цемента, образуют тончайшие водоотталкивающие пленки, уменьшающие смачиваемость цемента водой. В результате гидрофобные цементы могут длительное время пребывать на воздухе с повышенной влажностью без потери своей активности.

При перемешивании целостность гидрофобной пленки нарушается, после чего цемент беспрепятственно взаимодействует с водой. Остающиеся в теле бетона добавки улучшают его качество, например повышая морозостойкость, сопротивляемость агрессивной среде. Пластифицированный и гидрофобный портландцементы применяют наравне с обычным портландцементом для наземных и подводных конструкций.

Белый и цветные портландцементы. Сырьем для производства белого портландцемента служат чистые известняки и белые глины. Сырьевую смесь обжигают на беззольном (газовом) топливе. Для повышения белизны клинкер обжигают в восстановительной среде и отбеливают путем быстрого охлаждения водой. Белый цемент должен содержать Fe_2O_3 не более 0.35...0.5%.

Цветные цементы получают путем совместного помола клинкера белого портландцемента со щелочестойкими и светостойкими пигментами. По способу П.И.Боженкова можно получать цветные клинкеры, добавляя к сырьевой смеси 0.05 ... 0.1 % соединений хрома, марганца, кобальта и др.

Глиноземистый цемент. Представляет собой быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество. Его получают путем тонкого помола клинкера, полученного обжигом сырьевой смеси из бокситов и известняков до плавления (при 1400 °C) или спекания (при 1300 °C).

Химический состав сырья для глиноземистого цемента, выраженный в оксидах, в процентах: Al_2O_3 - 30...50; CaO - 35...45; SiO_2 - 5...15; Fe_2O_3 - 5...15. После обжига получается главным образом однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ или CaAl_2O_4 , небольшое количество $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ или $\text{Ca}_2 \cdot \text{SiAlO}_3$. В клинкере преобладают низкоосновные алюминаты кальция.

Такой состав обуславливает быстрое твердение, высокую прочность, экзотермию и химическую стойкость. Температура при его твердении не должна превышать 25°C . Тепловыделение глиноземистого цемента примерно в 1,5 раза выше, чем у портландцемента, поэтому его удобно применять в зимних условиях. Начало схватывания должно наступать не ранее 45 минут, а конец схватывания - не позднее 12 часов.

Разновидностью глиноземистого цемента является высокоглиноземистый цемент (ВГ), обжигаемый при 1500°C . Содержание в нем глинозема Al_2O_3 до 72...75%, а CaO - всего 22...25%. Он имеет высокую огнеупорность около 1750°C и используется для изготовления футеровочных материалов.

Смешанные цементы. К смешанным цементам относятся вяжущие вещества, которые получают путем объединения неорганических вяжущих веществ (как воздушных, так и гидравлических) с активными минеральными добавками в количестве 20 ... 40 % от массы цемента и двуводного гипса (до 3... 5%).

К кислым активным минеральным добавкам относятся: диатомит, трепел, опока, вулканический пепел, доменные и топливные шлаки, нефелиновый шлак и др. Они содержат аморфный кремнезем SiO_2 или глинозем Al_2O_3 , которые вступают в реакцию со свободной известью, выделяющейся при твердении портландцемента, и связывают ее в низкоосновные гидросиликаты $m \text{CaOSiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ или гидроалюаты кальция.

Учитывая особенности пуццоланового портландцемента, рекомендуется применять его для подводных и подземных частей гидротехнических сооружений, для массивных сооружений в летнее время года.

Шлакопортландцемент. Его получают путем совместного помола клинкера портландцемента, добавки гипса и доменного гранулированного шлака в количестве 21 ... 80 % от массы цемента. Этот цемент выпускается трех марок: 300, 400 и 500, он имеет начало схватывания не ранее 45 минут и не позднее 10 часов, т.е. он несколько медленнее схватывается и твердеет, чем обычный портландцемент. Кроме того, он менее экзотермичен, имеет меньшую осадку и набухание, большую стойкость в пресных и сульфатных водах.

Расширяющиеся цементы. Обычные цементы дают, как правило, усадку при твердении и не могут обеспечить водонепроницаемости при заполнении швов, гидроизоляции туннелей, стволов шахт и других работах. Для этих целей создаются безусадочные или расширяющиеся (расширение 0.2 ... 1 %) цементы.

ВРЦ - водонепроницаемый расширяющийся и быстротвердеющий цемент состоит из совместно измельченных 70...76% глиноземистого цемента, 20...25% полуводного гипса и 10...11% высокоосновного гидроалюмината кальция. Расширяющее воздействие оказывает образующийся при реакциях с водой минерал эттрингит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Этот цемент имеет начало схватывания не ранее 4 минут, конец схватывания - не позднее 12 минут. Можно замедлить его схватывание добавками СДБ, уксусной кислоты, буры и др. Он имеет прочность 50 МПа через 28 суток, хотя уже через 6 часов твердения набирает прочность 7.5 МПа. Отличается пониженной морозостойкостью и применяется только при положительных температурах.

ГГРЦ - гипсоглиноземистый расширяющийся цемент получают путем совместного помола высокоглиноземистого клинкера (70 %) и природного двуводного гипса (30 %), чем создаются условия для кристаллизации эттрингита.

РПЦ - расширяющийся портландцемент получают путем совместного помола портландцементного алитового клинкера (60 ... 65 %), глиноземистого клинкера (5 ... 7 %), двуводного гипса (7 ... 10 %), активной минеральной добавки (20 ...25%).

Напрягающий цемент предназначен для изготовления специальных так называемых преднапряженных железобетонных изделий. Его получают совместным помолом 65 ... 75 % портландцементного клинкера, 13 ... 20 % глиноземистого цемента и 6 ... 10 % двуводного гипса.

Расширяющиеся цементы получают также и с другими расширяющимися добавками. Так, например, цементы с безводным сульфоалюминатом кальция $\text{C}_3\text{A}_2\text{S}_8$ изготавливают и применяют в США и Японии.

Известково-пуццолановый цемент. Его получают совместным помолом 15...30% воздушной извести с активными минеральными добавками. Кроме того, в этот цемент вводят до 5% двуводного гипса. При затворении такого цемента водой происходит химическое взаимодействие между активным кремнеземом и известью:



Образующийся гидросиликат кальция обеспечивает гидравлические свойства вяжущего. Марки его: М25, М50, М100 и М150.

Известково-шлаковый цемент получают совместным помолом доменных гранулированных шлаков с воздушной гашеной и негашеной известью (10 ... 30 %) и гипсом (до 5 %). Его марки: М50, М100, М150, и М200.

Известково-пуццолановый и известково-шлаковый цемент применяют в бетонах низких марок для подводных и подземных сооружений, а также в изделиях с тепловлажностной обработкой.

Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее вещество (ГЦГ1В) получают смешением 50 ... 75 % полуводного гипса, 15 ... 20 % портландцемента и 10 ... 25 % активной минеральной добавки в виде диатомита, трепела, опоки и др.

Это гидравлическое вяжущее вещество было разработано и предложено А.В. Волженским.

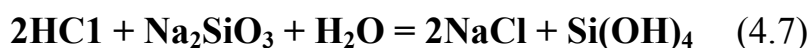
Как правило, смешивание портландцемента с большим количеством гипса не рекомендуется, так как образующиеся высокосульфатные виды гидросульфатоалюминатов кальция при кристаллизации значительно увеличиваются в объеме и могут вызвать трещины в затвердевшем конгломерате.

Но при введении активной минеральной добавки, связывающей часть свободной извести в гидросиликаты кальция, образуются низкоосновные гидросульфатоалюминаты без значительного увеличения в объеме.

Кислотоупорный цемент получают смешиванием или совместным помолом кварцевого песка и кремнефтористого натрия (катализатора и ускорителя твердения) в соотношении 10:1, затворяют их водным раствором жидкого стекла. Силикатный модуль стекла 2.6 ... 3.0. Вместо кварцевого песка используют порошки маршаллита, андезита, диабазы, кварцита и др. Раствор стекла является жидкой средой затворения кислотоупорного цемента. Раствор готовят плотностью 1.3 ... 1.4 в количестве 25 ... 30 % от массы песка.

В водной среде и слабоконцентрированной кислой среде такие цементы неустойчивы, вымываются фторид натрия и свободный силикат натрия. Для полного выделения кремнезема в виде геля кремниевой кислоты надо обработать твердеющий кислотоупорный бетон минеральной кислотой.

В результате реакции



происходит обезвоживание бетона.

Шлакощелочные вяжущие вещества. М.А.Матвеев, Ю.М.Бутт установили благоприятное воздействие жидкого натриевого стекла на твердение доменных гранулированных шлаков. Последующие исследования В.Д. Глуховского с сотрудниками показали, что сильное активизирующее влияние оказывают водные растворы едкой щелочи и других соединений щелочных металлов. Щелочные компоненты вводят в состав цемента в количестве 5 ... 15 % от массы шлака в пересчете на сухое вещество. Шлакощелочные бетоны можно использовать для изготовления сборных бетонных и железобетонных изделий, а также в гидротехническом и дорожном строительстве.

Вяжущие, попутные продукты, прошедшие высокотемпературную обработку, являются силикатными материалами. Они обладают химической, в том числе гидравлической активностью, которая изменяется в значительных пределах. Для оценки химической активности силикатных материалов, предло-

жено использовать различные показатели, получившие название модулей. Все предложенные модули можно разделить на три группы.

В первой группе модулей процентное содержание суммы одних оксидов делится на процентное содержание суммы других оксидов. При этом не учитываются соединения, в которых они находятся, и последовательность происходящих между ними реакций. Наибольшее распространение среди модулей этой группы получили модули основности и активности, равные соответственно

$$(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \text{ и } \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2. \quad (4.8)$$

Несоответствие химической активности материалов, полученных на основе первой группы модулей отмечает П.И.Боженков. Причиной этого является отсутствие математической и химической логики в формулах этих модулей.

Вторая группа модулей рассчитывается по молекулярным соотношениям оксидов с учетом химического взаимодействия. Это модули Тетмайера, М.Херона и К.Лординаоса. Они в математическом и химическом смысле оказались далекими от совершенства. Так, например, влияние содержания Al_2O_3 в них по отношению к модулям первой группы уменьшено, но продолжает входить в числитель со знаком плюс.

Третья группа модулей, в которую входят модуль Ле-Шателье, степени насыщения Кюля, Юнга и коэффициент насыщения Кинда, возникла в процессе разработки метода расчета цементной шихты по химическому составу. Однако только коэффициент насыщения Кинда учитывает последовательность реакций, происходящих при обжиге портландцементного клинкера. Практический опыт подтвердил корректность теоретических положений формулы Кинда, что и определило ее широкое применение в цементном производстве. В качестве недостатка данной зависимости можно отметить ориентацию только на содержание CaO , исключение учета содержаний MgO , R_2O и других оксидов. Кроме того, коэффициент насыщения Кинда не дает визуального представления о составе силикатов кальция.

Коэффициент основности, предложенный П.И.Боженковым, аналогичен коэффициенту Кинда, но учитывает наличие любого окисла и его место в формуле. Коэффициенты насыщения Кинда и основности П.И. Боженковым представлены соответственно ниже:

$$KH = \frac{\text{CaO} - (1.65 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.35 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.7 \cdot \text{SO}_3)}{2.8 \cdot \text{SiO}_2}, \quad (4.9)$$

$$Ko = \frac{(\text{CaO} + 0.93 \cdot \text{MgO}) - (0.55 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.35 \cdot \text{F}_3\text{O}_3 + 0.7 \cdot \text{SO}_3)}{0.93 \cdot \text{SiO}_2} \quad (4.10)$$

Исследования последних лет подтвердили полезность использования коэффициента основности в качестве химической характеристики попутных продуктов. Известно, что вяжущие свойства иногда проявляются уже при коэффициенте основности, равном 1, и усиливаются по мере роста. Сопоставление коэффициентов основности традиционных строительных материалов, включая вяжущие вещества, искусственные керамические пористые заполнители, попутные продукты промышленности, позволяет утверждать следующее. Если коэффициент основности материалов не превышает 1, и в процессе их гидратации не ожидается образования большого количества моноалюминатов, ферритов и сульфатов кальция, то вяжущими свойствами данных материалов в процессе гидравлического твердения можно пренебречь. При коэффициенте основности до 1.6 и возможности в процессе гидравлического твердения образовать достаточное количество соединений кальция, следует учитывать вяжущие свойства данных материалов. Силикатные материалы, имеющие коэффициент основности выше 1.6, обладают гидравлической активностью и тем более высокой, чем выше значение этого коэффициента. Они могут твердеть без добавления искусственных гидравлических вяжущих.

4.3. Растворы и бетоны на основе неорганических вяжущих веществ

Растворы и бетоны на основе неорганических вяжущих веществ служат для изготовления несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений. В качестве теплоизоляционных и огнеупорных материалов рассматриваются ячеистые бетоны и бетоны на пористых заполнителях. Наиболее эффективными из которых являются перлито- и вермикулитоцементные бетоны с коэффициентом теплопроводности и температурой применения соответственно 0.065 - 0.081, 0.08 - 0.1 Вт/(м·°C) и 600, 1100 °C.

Для растворов и бетонов применяются почти все разновидности неорганических вяжущих, которые были описаны выше, соответственно чему они разделяются на цементные, гипсовые, силикатные, шлаковые, специальные (на фосфатные, магнезиальные и другие вяжущие). Для них применяются также все разновидности заполнителей, в соответствии с чем они разделяются на плотные, пористые, специальные.

Одним из показателей заданных свойств является средняя плотность материала. Величина средней плотности бетона зависит от разновидности заполнителя, а отчасти обусловлена пористостью цементного камня. Особо тяжелые со средней плотностью свыше 2500 кг/м³ получают при заполнителях в виде железной руды, барита, чугунного скрапа, обрезков стали или чугуна и т.п. Тяжелые - средней плотностью до 2500 кг/м³ получают применением в них в качестве заполнителя щебня из плотных горных пород: гранитов, диабазы, песчаника и др. В легких - средней плотностью до 1800 кг/м³ исполь-

зуют природный или искусственный легкий заполнитель, в том числе пемзу, туф, керамзит, аглопорит и др. Особо легкие растворы и бетоны (теплоизоляционные) со средней плотностью менее 500 кг/м^3 характеризуются тем, что функции своеобразного заполнителя в них переданы воздушным или газовым ячейкам.

При наибольшей крупности заполнителя до 10 мм - бетоны мелкозернистые, более 10 мм - крупнозернистые.

В зависимости от производственного назначения растворы и бетоны разделяют на **конструкционные**, предназначенные для изготовления армированных и неармированных внутренних и наружных конструкций промышленных и гражданских зданий (колонны, балки, плиты, панели и др.); гидротехнические - для строительства плотин, шлюзов, облицовки каналов и других гидротехнических сооружений; **дорожные** - для строительства дорожных и аэродромных оснований и покрытий; **специальные** - для использования при устройстве жароупорных покрытий, кислотоупорных изделий и т.п.

Для оценки качества растворов и бетонов в России используется ГОСТ 2801-81 «Растворы строительные. Общие технические условия», ГОСТ 25192-82 «Классификация и общие технические требования бетонов». Основным показателем качества бетонов является предел прочности при одноосном сжатии образца-куба с ребром 15 см с разделением их на классы В, или предел прочности при сжатии цилиндрических образцов размерами 15х30 см с разделением бетонов на классы С.

Всего предусмотрено классов по прочности на сжатие при испытании кубов 15х15х15 - 19 (от В1 до В60), при испытании цилиндров 15х30 - 19 (от С08 до С55).

Наиболее распространенными в защитных покрытиях, особенно в ограждающих стеновых, являются материалы и изделия на основе пористых заполнителей.

В производстве стеновых изделий год от года увеличивается разнообразие применяемых пористых заполнителей. Использование новых видов сырья и попутных продуктов в промышленности значительно расширило номенклатуру заполнителей. В последние годы в связи с энергетическим кризисом основной уклон делается на попутные продукты промышленности, улучшение их свойств и расширение области применения. Замена части природных материалов на попутные продукты промышленности позволяет снижать энергетические затраты, повышать производительность технологических линий, качество продукции.

Несмотря на большое разнообразие пористых заполнителей им присущи некоторые общие свойства, оказывающие наибольшее влияние на формирование структуры бетона и механизм его разрушения. К этим свойствам можно отнести: высокую реакционную способность, наиболее сильно проявляющуюся в формировании контактной зоны, внутризерновую пористость,

влияющую как на реологические свойства смеси, так и на весь процесс формирования структуры растворной составляющей материала, наличие дефектов не только в виде пор, но и в виде микро- и макротрещин. Общность важнейших свойств пористых заполнителей позволила установить основные принципы управления структурообразованием материалов на их основе.

Керамзитовый гравий по характеру разрушения относится к хрупким материалам. Разрушения при приложении нагрузок происходит вследствие появления и развития трещин из-за концентрации напряжений у пор и раковин или развития трещин, присутствующих в материалах до приложения нагрузки. Наличие начальных трещин в керамзите существенно сказывается на прочности бетона, находящегося в влажном и особенно водонасыщенном состоянии. Для пористых заполнителей характерно снижение прочности во влажном состоянии.

На прочностные и теплоизоляционные свойства заполнителя оказывают влияние как микро- и макротрещины, так и характер порового строения ядра и окисленной зоны. Исследования данных факторов показали, что для гранул характерны в основном поры диаметром от 0.01 до 0.1 мм. Количество пор размером менее 0.01 мм колеблется от 3 до 20 %. Поры крупнее 0.1 мм имеют единичный характер. На ряду с указанными порами встречаются «кавернозные» (глубиной и диаметром до 1.5 мм), а также щелевидные (шириной до 1 мм), пересекающие более V_4 площади всех гранул. Средняя ширина перегородок стеклофазы 5-15 мкм. Ширина окисленной зоны 0.06 - 1 мм, для нее характерны неровные «языкообразные» очертания.

Химический состав и структуры попутных продуктов, прошедших высокотемпературную обработку - доменных и топливных шлаков, определяют составом руды, флюсов, видом применяемого топлива и выплавляемого чугуна. Главные составляющие - **CaO**, **SiO₂**, **Al₂O₃**, **MgO**, сумма которых часто достигает 95-98 %.

Шлаковая пемза, имеющая низкие прочностные показатели, характеризуется высоким (более 20 %) содержанием крупных пор (1-2 мм) и даже каверн со средним диаметром более 3 мм. Основной же объем составляют поры размером менее 0.3 мм. Трудности совмещения требований получения шлаковой пемзы с возможно меньшей насыпной плотностью при повышенной прочности позволяют пока выпускать шлаковую пемзу в интервале марок по насыпной плотности 600-800 и прочности 75-100.

Центральной научно-исследовательской лабораторией (ЦНИЛ) Главлипецкстроя предложен расчетно-экспериментальный метод величины теплопроводности шлаковой пемзы в куске (рис.4.3). Он основан на представлении шлаковой пемзы как трехкомпонентной системы, включающий кристаллическую фазу, стеклофазу и поры. Значения коэффициентов теплопроводности кристаллической и стеклообразной фаз шлаковой пемзы, установленные экспериментально, составляют соответственно 1,19 Вт/(м·К) и 0.65 Вт/(м·К).

Для ориентированной оценки теплопроводности шлаковой пемзы в куске ЦНИЛ Главлипецкстроя разработана номограмма (рис.4.3). Номограмма составлена с условием, что средний диаметр пор шлаковой пемзы не превышает 2 мм. Точность определения теплопроводности с помощью данной номограммы - 10 %. На номограмме отмечены результаты исследований С.В.Максимова по определению теплопроводности шлаковой пемзы, проведенных им в ЦНИЛ Главлипецкстроя.

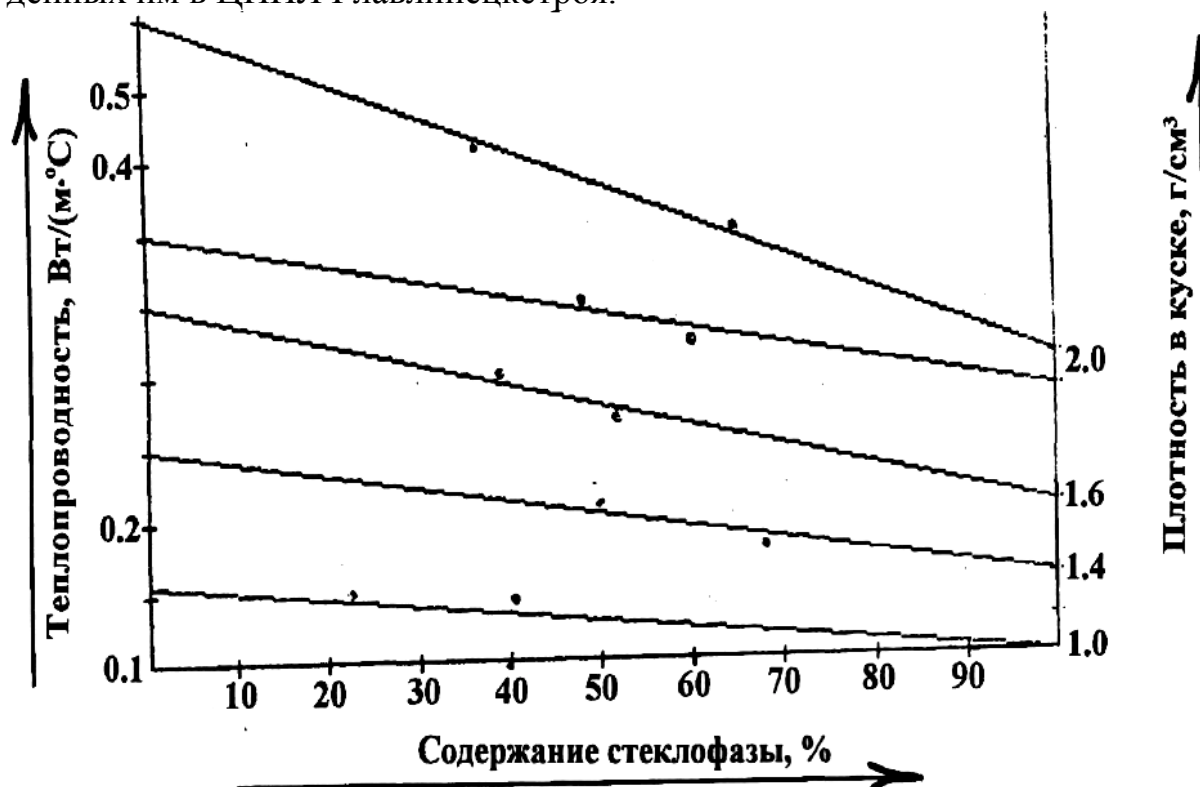


Рис.4.3. Влияние стеклофазы и плотности на теплопроводность шлаковой пемзы

Улучшение качества пористых заполнителей путем повышения степени их однородности по насыпной плотности и прочности можно достичь сепарацией. Сепарация заполнителей по средней плотности позволяет получать более однородный по свойствам «тяжелый» обогащенный заполнитель. Сепарация рядового заполнителя с границей разделения средней плотности 0.95 г/см^3 позволяет значительно улучшить характеристики «тяжелого» обогащенного заполнителя. Так, коэффициент вариации средней плотности снижается в 1.5-2 раза. При этом прочность в цилиндре возрастает в среднем в 1.5 раза, а коэффициент вариации прочности зерен уменьшается в 1.6-1.8 раза. Коэффициент вариации водопоглощения зерен снижается в 1.2-1.3 раза. В целом оценивать однородность гранул заполнителя следует по предельному коэффициенту вариации. Для керамзита, например, коэффициент вариации не должен превышать 20 %.

ЦНИЛ Главлипецкстроя рекомендует проводить теплотехническую классификацию материалов на основе шлака, шлаковой пемзы и золы в соответствии с диаграммой (рис.4.4).



Рис. 4.4. Теплотехническая классификация материалов на основе шлака, шлаковой пемзы и золы

Введение пористого материала повышает деформативные свойства цементных материалов. Создание плотных упаковок пористых заполнителей в материалах увеличивает этот показатель до максимально возможных значений. Рост плотности и прочности контактных зон заполнителей с цементным камнем и черепком позволяет добиваться желаемых результатов. Реализация вышеизложенного связана с трудностями снижения водопоглощения пористых заполнителей, расслоения смесей. Максимовым С.В. показано, что уменьшение водосодержания и интенсивности водомиграционных процессов между пористыми заполнителями и растворной составляющей является особо важным направлением технологических воздействий. Для получения высоко насыщенных пористыми заполнителями смесей Максимовым С.В. принята модель соотношения фракций, разработанная на основании рекомендаций П.И. Боженова для плотных заполнителей. Толщины обмазки крупных и мелких фракций пористых заполнителей увеличиваются по сравнению с плотными заполнителями соответственно с 0.1-0.3 мм и 0.05-0.15 мм до 1-1.5 мм и 0.1-0.5 мм. В связи с повышением толщины обмазок пористых заполнителей ограниченностью их мелких фракций рекомендуется при подборе их плотных упаковок исключать одну последующую фракцию, а не две, как у плотных.

4.4. Керамические материалы и изделия

Керамическими изделиями (по Кинду) принято называть такие изделия, которые получаются в результате обработки преимущественно глинистых и других силикатных материалов в такой последовательности: 1) измельчение и смешивание этих материалов в порошкообразные пластичные или текучие массы; 2) обжиг отформованных, отпрессованных или отлитых из этих масс изделий при температурах от 900 до 1700 °С а иногда и выше.

Эффективные керамические теплоизоляционные и огнеупорные диатомитовые, алюмосиликатные, корундовые материалы имеют коэффициент теплопроводности и температуру применения соответственно 0.087 - 0.119, 0.15 - 0.52 и 0.51 - 1.3 Вт/(м·°С) и 850 - 900, 1150 - 1250 и 1400 -1600 °С.

Увеличение содержание огнеупорных оксидов (Al_2O_3 , BeO, ZnO, MgO) в керамических материалах способствует повышению температуры применения до 2000 °С и выше.

На многие керамические изделия в процессе их изготовления наносится тонкий слой легкоплавкого стекла, который носит название *глазури*.

Минералогический состав глин весьма разнообразен. Помимо каолинита и других водных алюмосиликатов, родственных ему, важнейшими в глинах являются еще следующие минералы:

1) кварц в виде песка большей или меньшей крупности; 2) слюда; 3) полевошпат; 4) углекислый кальций; 5) углекислый магний; 6) окислы железа и т.п. При значительном возрастании перечисленных выше составляющих глины могут перейти в глинистые пески, мергели и т.п.

Та или иная степень пластичности глин зависит от целого ряда причин, к которым следует отнести: а) минералогический состав глины; б) размер частиц глинистого вещества и примесей; в) форму и характер поверхности отдельных зерен; г) количество воды в глиняном тесте; д) содержание в этой воде растворенных солей и т.п.

По структурному признаку все изделия разделяют на две группы: пористые и плотные. К пористым условно относятся те изделия, которые показывают водопоглощение свыше 5 % по массе: кирпич обыкновенный, черепица, дренажные трубы и др. Плотными принимают изделия с водопоглощением меньше 5 % по массе, и они практически водонепроницаемы, например, плитки для пола, канализационные трубы, кислотоупорный кирпич и плитки, санитарный фаянс, дорожный кирпич.

По температуре плавления керамические изделия и исходные глины разделяются на легкоплавкие (с температурой плавления ниже 1350 °С), тугоплавкие температурой плавления 1350 - 1580 °С) и огнеупорные (свыше 1580 °С). Изделия и сырье высшей огнеупорности имеют температуру плавления в интервале 2000 - 4000 °С.

Зверевым В.Б. определены зависимости для определения температуры обжига керамических изделий. Он основывался на приближенном правиле Рихтера, гласящего, что оксиды плавня влияют на температуру плавления глины, понижая эту температуру соответственно их молярным массам. Так, действие 40 массовых частей MgO одинаково с действием 56 массовых частей CaO и т.п.

Отличительная особенность всех керамических изделий и материалов состоит в их сравнительно высокой прочности, но малой деформативности. Хрупкость относится к отрицательным свойствам строительной керамики. Керамические изделия обладают высокой химической стойкостью.

К изделиям и материалам строительной керамики относятся: стеновые - кирпич керамический рядовой полнотелый обыкновенный, кирпич керамический рядовой пустотелый, блоки пустотелые, крупноразмерные панели, панели из кирпича; фасадные изделия, в том числе кирпич и камни лицевые, плиты крупноразмерные и плитки, ковровая керамика; изделия для внутренней облицовки стен - плитки, фасонные детали (карнизы, уголки); плитки для полов; изделия для перекрытий (балки, плиты); кровельные изделия - черепица; санитарно-технические изделия - ванны, унитазы, умывальники; дорожные - дорожный кирпич; изделия для подземных коммуникаций - канализационные и дренажные трубы; огнеупорные изделия, применяемые для футеровки печей и других тепловых агрегатов; теплоизоляционные материалы - керамзит, аглопорит и др.; химически стойкая керамика - кирпич и плитка для футеровки химической аппаратуры.

Кирпич и камни керамические изготавливают из глин, а также диатомитов, лессов и промышленных отходов. Кирпич имеет размеры 250 x 120 x 65 мм, кирпич утолщенный 250x120x88 мм, кирпич модульных размеров 288x138x63 мм. Камни выпускаются со следующими размерами: 250x120x138; 288x138x138; 250x250x138; 250x250x120; 250x200x80 мм.

По средней плотности кирпич и камни подразделяются на три группы: а) эффективные, средняя плотность кирпича и камней не должна превышать соответственно 1400 и 1450 $кг/м^3$; б) условно эффективные, средняя плотность изделий составляет 1450-1600 $кг/м^3$; в) керамический кирпич со средней плотностью более 1600 $кг/м^3$.

Кирпич и камни имеют марки по прочности: 300, 250, 200, 175, 150, 125, 100, 75, по морозостойкости $Мрз15$, $Мрз25$, $Мрз35$ и $Мрз50$.

Облицовочные плитки имеют толщину 5 и 6 мм и размеры 100x100; 150x150; 150x75; 150x25 мм; толщину 6 и 8 мм и размеры 200x100; 200x150; 200x200 мм.

Глиняная черепица долговечна, недорога, декоративна. Черепица выпускается следующих типов: пазовая штампованная, пазовая ленточная, плоская ленточная, волнистая ленточная, S - образная ленточная и коньковая. Ленточную черепицу изготавливают пластическим формованием на ленточных

прессах со специальным мундштуком, а штампованную пазовую - полусухим прессованием.

Санитарно-технические изделия изготавливают из беложгущихся глин. Изделия из фаянса имеют пористый черенок с водопоглощением 10-12% и пределом прочности при сжатии около 100 МПа, из полуфарфора соответственно 0.2-0.5% и до 500 МПа.

Технологии крупноразмерных керамических изделий. В настоящее время осуществляется массовое производство мелко - и среднеразмерных керамических изделий: кирпича и пустотелых камней. Вместе с тем известно, что ранее (начало века) изготавливались среднеразмерные элементы покрытий. Они формовались по бетонной технологии. Прогресс в области цементных изделий приостановил работы в данном направлении. Однако попытки различным образом увеличить размеры изделий как с использованием мелко-размерных керамических изделий, так и на основе высокоотощенных глиняных масс продолжались.

Кирпич - мелкоштучное изделие, поэтому процесс возведения стен из него очень трудоемок, выполняется вручную, так как плохо поддается механизации. Логичным решением этой проблемы явилось производство крупно-размерных изделий на его основе. В середине XX в при возведении кирпичных стен стали применяться виброкирпичные панели. Впервые изготовление кирпичных панелей было освоено в Швейцарии в начале 50 -х годов. Вскоре они стали применяться и в других странах Западной Европы: Франции, Италии, Испании, Швеции. К недостаткам следует отнести необходимость увеличения армирования сооружений, исходя из транспортных и монтажных нагрузок. Отсутствие экономической целесообразности приостановило работы в данном направлении, а в дальнейшем строительная индустрия от этого отошла.

В высокоразвитых странах начали изготовление крупноразмерных керамических изделий методом экструзии. Ведущие фирмы - производители оборудования для производства кирпича (Келлер, Серик, Ажемак, Морандо, Хендле и др.) разработали конструкции ленточных прессов, позволяющих экструзионно формовать крупноразмерные керамические изделия. Данные фирмы решили задачи снижения неравномерных усадочных деформаций материалов крупноразмерной керамики при сушки и обжиге. Во Франции получены пустотелые керамические элементы размерами 2600 x 600 x 3000 мм с 7-9 рядами узких пустот, в Германии - пустотелые керамические элементы «Plankensiegel» длиной 2700-3600, шириной 600-1200 и толщиной 50-300 мм с содержанием пустот около 50%, прочностью при сжатии 2.5-3 МПа. Японская фирма «Otsukachemisso» разработала технологию облицовочных панелей размером 3000 x 600 x 25 мм [4].

В начале 80-х годов в Санкт-Петербурге по постановлению правительства было создано научно-проектно-строительное объединение /НПСО/

«Керамика». Основной задачей НПСО являлась разработка технологии производства отечественных крупноразмерных изделий. Однако в связи с отсутствием разработок по снижению неравномерных усадочных деформаций материалов при сушке и обжиге устранить дефекты изделий не удалось. Многолетние безуспешные попытки решения вопросов изготовления крупноразмерных керамических изделий с привлечением ЦНИИСК им. Кучеренко, СПбГАСУ и ряда других организаций пока не завершились результатами, достаточными для начала массового производства.

Значительные материалоемкость и энергоемкость производств крупноразмерных керамических изделий по технологиям западных фирм в последние годы привели к снижению их эффективности.

Наметился отток к производству кирпича и керамических камней.

Другим направлением получения крупноразмерных керамических изделий является прямое изготовление их на основе применения элементов бетонной технологии. Первые керамические блоки были изготовлены доцентом СПбГАСУ Ткаченко Я.Н. в 1960 г. на 1-м кирпичном заводе г. Санкт-Петербурга. В 1961 г. на одном из заводов г. Москвы изготовлены керамические изделия размером 3000 x 1100 x 400 мм средней плотностью 1300-1500 кг/м³ и прочностью 5.5-12 МПа. Эти работы не получили дальнейшего развития из-за невозможности устранения большого количества трещин на поверхности изделия, возникающих вследствие неравномерных усадок при сушке и обжиге. В полупромышленных условиях высушить и обжечь удалось лишь блоки с максимальным размером 800 x 400 x 400 мм [4].

В Краснодарском филиале ВНИИ Монтажспецстроя Прожого В.Т. разработал технологию изготовления крупноразмерных керамических изделий с применением вибрационного метода уплотнения высокоотожденных керамических масс. Она позволила на базе использования легкоплавких глин в качестве связки и разного рода пористых заполнителей (керамзита, аглопорита, туфа и др.) получать крупноразмерные изделия. Они были легки, удобны в монтаже, но имели низкую прочность - 3.5 ... 6 МПа.

Создание плотных упаковок пористых заполнителей, отоющих смеси, применение способов снижения водосодержания, безвибрационных способов формования, вакуума на стадиях сушки и обжига позволило С.В.Максимову получить крупноразмерные керамические изделия повышенного качества. Плотность изготовленных керамических изделий классов В1 О-В 15 и В3.5-В5 составляла соответственно 1000-1100 кг/м³. Использование двухслойного де-корирования по разработанной совместно Б.А. Григорьевым, А.П. Васиным, А. Парвесом технологии позволило провести глазурование изделий. При этом пористость глазури снижена в 1.5 - 1.8 раза, белизна покрытия повышена на 5 - 7 %.

4.5. Стекланные и другие плавленные материалы и изделия

Значение стекланных изделий в строительстве. В Египте и Месопотамии умели делать стекло почти 6000 лет назад. В конце XIX и в начале XX в. ручные методы формования изделий стали заменяться машинными. В 1870 г. была построена стекловаренная печь Сименса, в которой происходил непрерывный процесс варки и выработки стекла.

В современном строительстве расширилась область применения изделий из стекла. Конструктивно-строительные элементы - стеклоблоки, стеклопрофилит и стеклопакеты - являются эффективным светопрозрачным строительным материалом для наружных и внутренних ограждений в жилых, общественных и промышленных зданиях. Теплоизоляционные минеральная вата и ячеистое стекло имеют коэффициент теплопроводности и температуру применения соответственно 0.042 - 0.105 и 0.055 - 0.125 Вт/(м·°С), 400 и 400 - 600 °С. Жаростойкое муллитокремнезёмистое волокно является основой рулонных материалов со следующими свойствами: средняя плотность - 130 кг/м³, коэффициент теплопроводности при средней температуре 600 °С - 0.22 Вт/(м·°С), температура применения - 1150 °С. Освоен эффективный способ получения полированного стекла путем формования непрерывной ленты на расплаве металла. Это дало возможность отказаться от непроизводительного

способа получения поризованного стекла методом механической шлифовки и полировки. На поточных линиях выпускают безопасное стекло (многослойное и закаленное). Сверхпрочное листовое стекло получают химической обработкой его поверхностей. Оно примерно в 20 раз прочнее обычного и в несколько раз прочнее закаленного. Стекланные трубы, используемые взамен трубопроводов из цветных металлов, широко применяются на предприятиях пищевой и химической промышленности. Ковровые стекломозаичные плитки из цветного глушеного стекла используют для облицовки стен жилых и общественных зданий. Нарядный вид гостиницам, зданиям административного и общественного назначения придают стеновые панели, облицованные цветным стеклом-стемалитом и марблитом.

В возрастающих масштабах применяется волнистое и листовое строительное стекло, а также двери из закаленного крупногабаритного стекла и алюминия.

Разработано и освоено впервые производство профильного стекла коробчатого сечения (стекора), находящего все большее применение взамен двойного остекления проемов. Освоено производство цветного армированного профильного стекла - более безопасного и огнестойкого.

Освоен выпуск новых материалов - цветного прокатного стекла, мозаичных плиток расширенной гаммы цветов, архитектурно-строительного стекла «метелица» и с металлическими пленками, цветного триплекса.

На основе стекла получены плиты, имеющие оплавленную окрашенную в различные цвета поверхность, имитирующую гранит и мрамор с лицевой стороны и шероховатую тыльную сторону, что повышает их сцепление со штукатурным слоем цементного раствора.

Вспениванием стекла получают пеностекло, хорошо поддающийся технологической обработке материал (пилится, режется, сверлится). Из стекла вырабатываются эластичные прочные нити, из которых изготавливают ткани, высококачественные теплоизоляционные материалы, а в сочетании с полимерами - стеклопластики, например, стекловолокнистый анизотропный материал СВАН, волнистый стеклопластик. В последнее время синтезированы стекла с избирательным светопропусканием для всех диапазонов длин волн - от ультрафиолетовой до инфракрасной области, выпускают стекла большой плотности для защиты от нейтронов и рентгеновских лучей. Приближается время, когда, решив задачу дальнейшего упрочнения стекла, из него будут создавать конструкции, а из стеклянных нитей - надежную арматуру для бетона. Однако стекло имеет и некоторые недостатки, которые ограничивают применение его в качестве конструкционного материала: хрупкость, невысокое сопротивление изгибающим и ударным воздействиям, чувствительность к резким изменениям температуры.

Состав и строение стёкол. Стёкла являются неорганическими аморфными термопластичными материалами, обладающими рядом специфических свойств. По своему строению и составу они представляют собой сложные системы типа истинного затвердевшего раствора из неопределенных химических соединений кислотных и основных оксидов. Имеется условное деление оксидов, входящих в стекло, на стеклообразователи и модификаторы. Так, например, оксиды **SiO₂**, **B₂O₃**, **P₂O₅** относятся к стеклообразующим, поскольку каждый из них в чистом виде может самостоятельно образовать стекло; в частности, при 100 % -ном содержании кремнезема **SiO₂** можно получать кварцевое стекло, которое обладает наиболее высокой температурой размягчения (1250 °C). Так называется температура, при которой абсолютная вязкость стекла составляет $10^7 \dots 10^8$ Па · с. Введением различных добавочных оксидов-модификаторов существенно понижают температуру размягчения стекла и придают необходимые свойства стеклу. Среди них щелочные - **Na₂O**, **K₂O**, щелочно-земельные - **CaO**, **BaO**, **MgO**, а также **PbO**, **Al₂O₃**, **Sb₂O₃**, **ZnO** и др. Если главную стеклообразующую часть технических стекол составляет кремнезем **SiO₂**, тогда стекла именуют силикатными. В зависимости от содержания добавочных оксидов другие стёкла именуют алюмосиликатными, боросиликатными, бороалюмосиликатными, борофторалюмосиликатными, алюмофосфатными и т.п. Содержание главного кислого оксида **SiO₂** в обычных стеклах составляет 56 ... 75 % по массе, оксидов щелочных металлов 13 ... 15 %, оксидов щелочно-земельных металлов 10 ... 15 % (в не-

которых стеклах до 25 %). Подбором химического состава стекла определяют смесь оксидов, называемую шихтой.

Шихту приготавливают из различных сырьевых материалов, содержащих необходимые оксиды. К ним относятся кварцевый песок, сода или сульфат натрия, поташ, известняк или мел, доломит, пегматит, каолин, полевошпат и др. Вводятся в составы в малых количествах стекланный бой, красители (оксиды меди, хрома, кобальта, марганца и др), осветители (триоксид мышьяка, силитра и др). Перемешивание измельченных компонентов в строго отдозированных количествах согласно расчетам производят в смесителях барабанного или тарельчатого типа. Готовую шихту загружают в ванную печь-бассейн, сложенную из огнеупорных брусьев. Бассейны больших ванн печей вмещают до 2500 т стекломассы. Стеклома́сса - пластичный расплав шихты, образующихся при температурах свыше 1000°C.

При нагревании шихты до температуры 1100 ... 1150 °C происходят химические процессы силикатообразования, а при дальнейшем повышении температуры - стеклообразования. Шихта превращается в однородную (гомогенную) стекломассу, но со значительным содержанием в ней газовых включений (H_2O , CO_2 и др.). Осветление и дальнейшая гомогенизация стекломассы осуществляются при температурах 1500 ... 1600 °C с переводом её в состояние подвижности (с вязкостью порядка 10 Па • с), которое облегчает удаление газовой фазы. Последний этап варки стекла - охлаждение, или студка стекломассы. Обычно производится сравнительно быстрое охлаждение расплавленного вещества, что сопровождается и быстрым возрастанием его вязкости. Молекулы и атомы вещества не успевают образовать зародыши кристаллической фазы и кристаллическую решетку. Они остаются закрепленными в тех случайных положениях, в которых их застало резкое повышение вязкости. Понятно, что чем медленнее происходит охлаждение стекломассы, тем большая вероятность перехода ее в кристаллическое состояние. С увеличением температуры синтеза новых силикатных соединений и длительности выдержки при ней наблюдается постепенное снижение степени микро-неоднородности стекла, повышение энергии активации образования центров кристаллизации и устойчивости стеклообразного состояния. Чем выше скорость охлаждения стекломассы, тем более высокой температуре соответствует «замороженное» состояние структуры.

Практически формовка стекла, отобранного из печи, может производиться при вязкости его в пределах не менее 100 Па • с (если вязкость ниже, то стекломасса слишком жидкая). К концу формовки вязкость стекла доходит до 10^8 Па • с. У различных стекол характер зависимости вязкости η от температуры t° различен (рис.4.5). Очевидно, что стекло легче для обработки, если характер изменения его вязкости с температурой соответствует кривой 1, когда высокая вязкость обеспечивается при сравнительно медленном охлаждении; труднее - при кривой 2. Стекла с пологой зависимостью $\eta(t)$ называются

длинными, а с крутой - короткими. Стекла щелочные не только легкоплавкие, но и длинные. Введение **CaO**, **MgO**, **Al₂O₃** переводит щелочные стекла в более короткие. Готовые стеклянные изделия часто подвергаются отжигу, т.е. нагреву до достаточно высокой температуры (температуры отжига) с последующим медленным охлаждением. Отжигом снимаются внутренние температурные напряжения в отформованном материале, что предотвращает трещи-нообразование в изделиях.

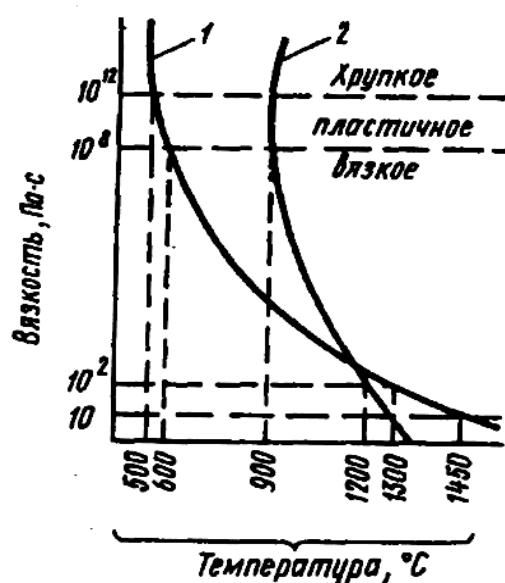


Рис.4.5. Характер зависимости вязкости стекломассы от температуры:
1 – стекломасса длинная; 2 – короткая

При необходимости стекло может быть снова нагрето и расплавлено с приобретением первоначальных свойств стекломассы и с переформовкой изделия; следовательно, этот материал относится к группе термопластичных. В процессе производства стекла и особенно на стадии его охлаждения возникает такая структура, которая может быть охарактеризована как промежуточная между полной беспорядочностью частиц жидкого расплава и полной упорядоченностью частиц вещества в кристаллическом состоянии. Неорганические стекла - это по существу субмикрорегетерогенные системы, что позволяет по одной из гипотез рассматривать их структуру как скопление микрорекристаллических, а точнее - кристаллитных образований размером от 10 до 300 Å.

Согласно другой гипотезе в структуре стекла имеется непрерывная беспорядочная пространственная сетка (трехмерная). В ее узлах расположены ионы, атомы или группировки атомов. Так, в кварцевых стеклах, состоящих, как отмечалось выше, из одного чистого оксида кремния, ионы Si расположены в центре тетраэдров, в углах которых размещены ионы O. При соединении кремнекислородных тетраэдров **SiO₄** между собой (через один кислород) вершинами образуется непрерывная пространственная сетка, или каркас

стекла (рис.4.6). В промежутках между тетраэдрами могут располагаться ионы металлов (флюсов), когда в шихту были введены другие оксиды, как, например, в силикатных стеклах. Тогда возникают не только ковалентные, как в кварцевых стеклах, но и дополнительные ионные связи, которые частично разобщают тетраэдры, уменьшают количество и силу поперечных связей (рис. 4.7). К тому же ионные связи отличаются от ковалентных сравнительно малой направленностью. Под влиянием этих факторов значительно уменьшается стабильность, характерная для структуры стеклообразных чистых оксидов, понижается температура плавления, легче предотвращается кристаллизация. Дополнительные ионы металлов действуют как своеобразные разжижители. Весьма велика в структуре роль кислорода. Как отмечено, она состоит в создании стабильных связей (ковалентных) с небольшими многовалентными ионами кремния, бора, фосфора или других элементов. Именно соединения кислорода с ионами этих элементов образуют структуру тетраэдра или другого низкокоординатного многогранника как структурного элемента непрерывной пространственной сетки стекол. Всякое силикатное стекло можно рассматривать как совокупность различных по составу и строению кремнекислородных комплексов.

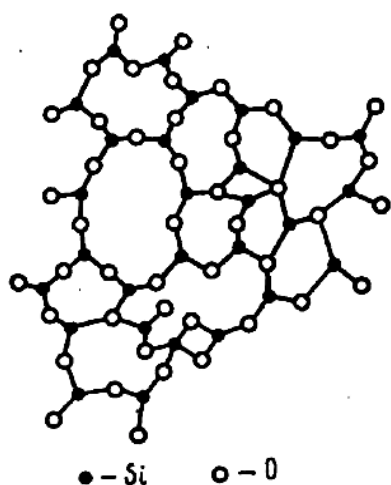


Рис. 4.6. Ионные связи в молекулах кварцевого стекла

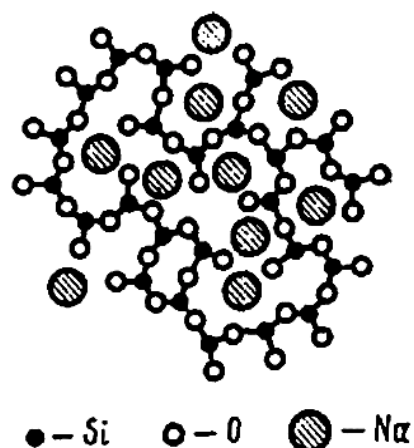


Рис.4.7. Ионные связи в присутствии флюса (Na)

Согласно гипотезе о полимерном строении стекол структурные каркасы рассматриваются как неорганические полимеры с характерным строением высокомолекулярных соединений с преимущественно ковалентными связями. Своеобразный характер строения неорганических стекол, в частности силикатных, наиболее широко используемых в строительстве, в значительной мере предопределяет их свойства.

Стекланные материалы и изделия. Оконное листовое стекло предназначено для остекления световых проемов жилых, промышленных и общественных зданий. Оно выпускается толщиной 2; 2.5; 3; 4.5; 6 мм. Размеры лис-

тов обычно в пределах 500 x 400 до 1600 x 2200 мм. Стекло выпускают бесцветным, хотя возможен слабый зеленоватый или голубоватый оттенок, если при этом не снижается допустимая светопропускная способность стекла.

Стекло листовое узорчатое имеет по всей поверхности на одной или обеих сторонах четкий рельефный узор и изготавливается способом непрерывного проката. Узорчатое стекло может быть бесцветным и цветным, окрашенным в массу или посредством нанесения на его поверхность пленок оксидов различных металлов. Оно рассеивает падающий на него свет, поэтому его применяют в помещениях, где необходимо равномерное и мягкое освещение: для остекления оконных и дверных проемов, внутренних перегородок зданий, крытых веранд, мебели и т.д.

Стекло армированное листовое имеет внутри листа параллельно его поверхностям металлическую сетку и изготавливается способом непрерывного проката. Применяется для остекления фонарей промышленных и общественных зданий, лестничных клеток, оконных переплетов, дверных филенок, устройства перегородок. Армирование увеличивает прочность стекла и не позволяет ему рассыпаться при ударах и пожаре.

Цветное армированное стекло используют для ограждений балконов, лоджий, лифтовых шахт, устройства декоративных светопрозрачных плафонов, перегородок в санаториях, пансионатах, на предприятиях общественного питания и торговли.

Солнце- и теплозащитное стекло изготавливают из стекломассы, в которую вводят оксиды кобальта, никеля и железа или путем аэрозольной обработки поверхности стекла растворами при его вытягивании на специальных машинах. В зависимости от состава растворов и условий обработки можно получить стекла с неодинаковой степенью пропускания и отражения в различных частях спектра. Оно применяется для остекления музеев, выставочных залов и средств транспорта, с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации.

Витрасил - стекло, обладающее способностью рассеивать свет по всему помещению. Оно не оказывает слепящего действия и не вызывает утомления человека.

Увиолевое стекло изготавливают из стекольной шихты с минимальным содержанием примесей оксидов железа, титана и хрома. Такое стекло пропускает не менее 25 % ультрафиолетовых лучей и используется для остекления в лечебных, детских учреждениях, оранжереях и т.п.

Полированное стекло получают путем шлифовки и полировки листового стекла после его вытягивания и проката и при наличии различных пороков поверхности (волнистости, полосности, рифления) и неточной геометрической формы (разнотолщинность, кривизна и др.). Новым прогрессивным способом является термическая полировка. При этом способе стекломасса из ванной печи поступает в узкий и мелкий лоток и сливается из него в рабочую

ванну с расплавленным металлом. Растекаясь по его поверхностям, стекломасса образует слой равномерной толщины (около 7 мм), из которого затем оттягивается плоская лента. Нижняя поверхность ленты полируется за счет контакта с расплавленным металлом. В начале ванны поддерживается температура 900 ... 1000 °С. Проходя вдоль ванны, стекломасса постепенно охлаждается до 600 ... 650 °С, а затем лента поступает в печь отжига, при выходе из которой она разрезается на листы.

Витринное стекло имеет высокую прочность - предел прочности при сжатии достигает 1200 МПа. Оно может быть плоским и гнутым, полированным и неполированным.

Стекло витринное полированное применяется для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий. Листы выпускаются стандартных размеров толщиной 6 ... 12 мм. Стекло витринное неполированное толщиной 5 ... 6 мм применяется для заполнения световых проемов ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения.

Многослойное и закаленное стекло. Многослойное стекло состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой. Наибольшее распространение получило стекло плоское безопасное трехслойное на поливинилбутирольной пленке (триплекс), полученное склейкой двух листов стекла с поливинилбутирольной пленкой между ними. При растрескивании оно не дает осколков и предназначается для остекления наземного транспорта, тракторов и сельскохозяйственных машин, эксплуатируемых в различных климатических условиях.

Стекло плоское закаленное выпускается в виде листов 600 x 1200 мм, по отдельным заказам - 1800 x 3000 мм и удовлетворяет следующим требованиям: предел прочности при изгибе - не менее 122.5 МПа; при толщине 6 мм должно выдерживать, не разрушаясь, удар свободного падающего шара массой 0.8 кг с высоты не менее 1.2 м; термостойкость должна соответствовать разности температур 120 ... 275 °С. Высококачественное листовое полированное стекло больших размеров толщиной 10 ... 20 мм, подвергнутое закалке, используют для изготовления входных наружных дверей, перегородок, потолков.

Блоки стеклянные пустотелые представляют собой герметически закрытые полые стеклянные коробки с гладкими наружными и ребристыми внутренними поверхностями. Блоки имеют квадратную или прямоугольную форму размерами до 244 x 244 x 98 мм. Их масса в зависимости от размеров колеблется от 2.8 ... 4.3 кг. Ограждения из стеклоблоков обладают высокой огнестойкостью и звукоизоляционной способностью, долговечны и гигиеничны. Их успешно применяют также в цехах с агрессивной средой.

Стеклопрофилит представляет собой длинномерные элементы, имеющие в сечении разнообразный профиль. Наибольшее применение в строительстве имеет стеклопрофилит швеллерного и коробчатого сечения длиной

соответственно до 5 и до 7 м. Ширина изменяется от 250 до 300 мм у швеллерного стеклопрофилита и от 250 до 500 мм у коробчатого. Масса 1 м стеклопрофилита коробчатого - 8.5 ... 9 кг, швеллерного - 4 ... 4.5 кг.

Стеклопакеты представляют собой два (или более) плоских стекла (оконного, витринного, армированного, узорчатого и др.), соединенных между собой по периметру так, что между ними образуется замкнутая прослойка, заполненная сухим воздухом. Расстояние между стеклами - 9 ... 20 мм. Стеклопакеты более прочны по сравнению с остеклением обычными двойными переплетами и предотвращают промерзание и запотевание окон. Они бывают клееными, паяными, сварными. При остеклении стеклопакетами упрощается конструкция оконных проемов, увеличивается световая площадь и снижаются теплопотери, они обладают достаточной звукоизолирующей способностью.

Стеклопакеты - листы закаленного стекла толщиной 10 ... 20 мм (стекло может быть полированным и неполированным). Стеклопакеты выпускают бесцветными прозрачными, а также цветными и бесцветными светорассеивающими с узорчатой или кововой поверхностью.

Стекложелезобетонные конструкции в зависимости от несущей способности, свето- и звукоизоляции и других свойств подразделяются на стеновые, конструкции покрытий, сводов и куполов. В этих конструкциях несущей частью является железобетонный каркас, а стеклянные детали заполняют световое пространство каркаса.

Плитки облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них применяются для наружной и внутренней облицовки зданий, изготовления декоративно-художественных панно. Плитки могут быть непрозрачными, с гладкой или рифленой, листовой или блестящей поверхностью.

Коврово-мозаичные плитки выпускаются также наклеенными на бумажную основу в виде отдельных ковров из одного (простой набор) или более цветов (сложный набор).

Стеклопакеты эмалированные плитки изготавливают из бесцветного листового стекла, покрытого тонким слоем эмалевого шликера, после чего их обжигают до температуры оплавления эмали. По внешнему виду эмалированные стеклянные плитки почти не отличаются от керамических. Их преимущество по сравнению с керамическими плитками заключается в простоте производства и меньшей стоимости. Эмалированные плитки выпускают в основном размерами 150 x 150 и 150 x 70 мм, толщиной - 4 ... 5 мм молочного, желтого, зеленого и синего цветов.

Марблит - утолщенное плоское закаленное стекло от черного до зеленого цвета с блестящими переливающимися включениями преимущественно с полированной поверхностью, выпускаемое в виде плиток различных размеров, например 200 x 200; 200 x 300; 500 x 500 мм или в виде облицовочных листов размерами до 1000 x 3000 мм. Толщина плиток и листов - 6 ... 7 (иногда до 15 мм). Лицевая сторона марблита может быть гладкой, кововой,

рифленной или мелкоузорчатой, тыльная - рифленая. Его применяют для облицовки наружных и внутренних стен.

Стемалит - закаленное эмалированное стекло покрыто с одной стороны эмалевой краской и подвергнуто термообработке с целью упрочнения стекла и закрепления краски на его поверхности. Стемалит применяется для наружной и внутренней отделки стен и перегородок зданий. Стемалитом облицованы, например, в Москве гостиницы Аэрофлота и «Националь», бывшее здание СЭВ.

Волнистое листовое стекло может быть армированным и неармированным, отличается большой жесткостью и прочностью, применяется для остекления крыш, фонарей и перегородок, изготавливается методом проката гофрирующими вальцами.

Цветное листовое стекло получают путем введения красителей в стекломассу или нанесения в процессе изготовления на бесцветную стекломассу цветного слоя. Их применяют для изготовления сигнальных стекол и витражей, декоративного остекления окон.

Витражи - художественно оформленное плоское или гнутое стекло. Применяют для декорирования световых проемов. Витражи изготавливают из зеркального, витринного, цветного, узорчатого и других видов стекол.

Смальты - мелкие кусочки цветного стекла (от 1 до 2 см²), применяют для создания различных мозаичных картин или панно. Различают смальты из глушеного цветного стекла, золотые и серебрянные. Мозаичные картины и панно из смальты украшают станции Московского метро и другие здания.

Трубы стеклянные и фасонные части к ним предназначены для напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов, используемых для транспортирования агрессивных жидкостей и газов (за исключением плавиковой кислоты), пищевых продуктов, воды и других материалов при температуре от -50 до +120 °С. Наружный диаметр труб до 220 мм, длина от 1500 до 3000 мм. Эти трубы хорошо сопротивляются коррозии, значительно дешевле и экономичнее металлических труб, прозрачны, гигиеничны и находят применение как в строительстве, так и других областях народного хозяйства. При монтаже трубопроводов стеклянные трубы соединяются с помощью специальных резиновых, пластмассовых или металлических муфт или путем склеивания специальными клеями. К недостаткам стеклянных труб следует отнести их значительную хрупкость, малое сопротивление изгибающим и ударным воздействиям.

Стеклокристаллические материалы (ситаллы). Кристаллы в стекле - это инородные включения, которые ухудшают внешний вид, снижают механическую прочность и термостойкость стекла. Однако можно закристаллизовать стекло таким образом, что свойства его значительно улучшатся. Для этого нужно, чтобы оно закристаллизовалось во все объеме и приобрело однородную, плотную мелкокристаллическую структуру с прослойками стекло-

видной фазы между кристаллами. Толщина стекловидных прослоек около 1 мкм. Чтобы получить мелкие, равномерно выделяющиеся по всему объему стекломассы кристаллы, в процессе кристаллизации создают условия для распределения в массе стекла множества микроскопических зародышей кристаллизации, которыми служат добавки - катализаторы благородных металлов - Ag, Pt, Au, Pd и другие, оксиды IV группы периодической системы TiO₂, SnO₂, ZnO₂ и другие, летучие катализаторы - хлор, фтор, сульфидная сера и другие, или мельчайшие капельки других расплавов, не смешивающихся с основным стеклом. Образование центров кристаллизации происходит на первой ступени термообработки. При дальнейшем повышении температуры термообработки (вторая ступень кристаллизации) выделяется основная кристаллическая фаза. Рост кристаллов, их размеры и последовательность выделения кристаллических фаз на второй ступени кристаллизации регулируют температурой и временем выдержки.

По своей структуре ситаллы - типичные микроконгломераты с содержанием кристаллической фазы до 95 %, что придает им высокие показатели механических свойств и стойкость к температурным воздействиям. Они имеют среднюю плотность 2.5 ... 2.6 г/см³, предел прочности при сжатии - до 600 МПа, при изгибе - до 250 МПа, температуру размягчения 1000 ... 1350°C, их твердость больше стекла.

Применяют в строительстве, приборе- и машиностроении, для футеровки мельниц, лотков сыпучих материалов.

Стекловата и изделия из неё. Составляющие шихты для стеклянного волокна: кварцевый песок, сода или сульфат натрия, полевой шпат, поташ, могут быть мел, доломит, каолинит, стеклянный бой и др. Для каждого способа расплава подбирается определенная шихта. Стекловолокно изготавливают в основном тремя способами: фильерным, дутьевым и штабиковым. Сущность фильерного способа состоит в том, что из расплава стекла через отверстия (фильеры) в платиновой пластине вытягиваются тонкие нити, которые, охлаждаясь, затвердевают и наматываются на быстро вращающийся барабан. При этом способе получают длинные нити, которые применяют для выработки стеклотканей, стеклопластиков и гидроизоляционных изделий, иногда для изготовления теплоизоляционных изделий.

Дутьевой способ дает стекловолокно диаметром 10 ... 13 мкм небольшой длины (5 ... 50 см), получаемое путем распыления стеклянного расплава струей пара или сжатого воздуха под давлением 0.5 ... 1 МПа. Содержание неволоконистых включений (корольков) - 3 ... 5 % по массе.

Штабиковый способ получения стекловолокна заключается в том, что стеклянные палочки (штабики) подогревают до расплавления специальными горелками, причем капля стекла, падая вниз, тянет за собой стеклянные волокна, которые наматываются на вращающийся барабан.

Стекловолоконная вата отличается от минеральной большей химической стойкостью, коэффициент теплопроводности у них примерно одинаков. Она не горит, не тлеет, средняя плотность стекловаты в рыхлом состоянии 130 кг/м³.

Для теплоизоляции из стекловолоконной ваты изготавливают маты, полосы, плиты, скорлупы.

Материалы и изделия из шлаковых расплавов. Строительные материалы, в которых плотный наполнитель шлака или других огнеупорных материалов цементирован шлаковым расплавом. Разность между температурами плавления заполняющий и связующий частями должна быть не менее 70...90 °С.

Шлаковый расплав (горячая технология) или шлаковое тесто в виде высокодисперсного шлакового порошка с водой (холодная технология) смешиваются в расчетных количествах с наполнителем повышенной огнеупорности (керамзит, термозит). При горячей технологии формирование структуры материала происходит в процессе остывания. При холодной технологии отформованное изделие обжигается до температуры спекания, при которой наиболее легкоплавкие компоненты шлаковой связки переходят в жидкое состояние, а затем изделия охлаждают.

С помощью газообразного сероводорода, образующегося при разложении сульфидов, а также газов, образующихся в доменной печи при плавке, паров воды производят вспучивание стекловидной связующей части. Получаемый наполнитель именуется шлаковой пемзой.

Шлакоситаллы. Шлакоситаллы получают путем каталитической кристаллизации стекла на основе шлаков. Он состоит из 60 ... 70 % кристаллизационной фазы и 30 ... 40 % стекловидной. Степень кристаллизации шлакоситаллов поддается направленному регулированию введением катализаторов кристаллизации - **TiO₂, CaF₂ и P₂O₅** и термообработкой. Размер кристаллов шлакоситаллов < 0.5 ... 1 мкм. Стекловидная фаза заполняет прослойки между кристаллами и цементирует их между собой.

Производство шлакоситаллов состоит из трех этапов: 1) варки стекла из шихт, содержащих катализаторы кристаллизации; 2) формования изделий по стекольной технологии; 3) термической обработки отформованных изделий в печах-кристаллизаторах для получения мелкокристаллической структуры.

Шлакоситаллы обладают высокой механической прочностью, повышенной химической и термической стойкостью, высокой износостойкостью. Предел прочности при сжатии шлакоситаллов 500 ... 800 МПа, предел прочности при статическом изгибе - 80 ... 130 МПа, средняя плотность - 2600...2800 кг/м³. Они прочнее, более износо- и термокислотостойки, чем керамика.

Шлакоситаллы применяются в качестве конструкционного материала, для изделий санитарно-технического назначения, футеровки различных камер, теплотрасс, желобов, работающих на истирание.

Освоено производство пеношлакоситаллов со средней плотностью 300...600 кг/м³, РОК - до 14 МПа.

Каменное литье и материалы на его основе. Каменные изделия (бруски, плиты, трубы, желоба и др.) получают путем расплавления предварительно подготовленной шихты из горных пород и соответствующих добавок к ним, отливки расплава в формы, кристаллизации изделия, отжига и охлаждения его.

Сырьем для их производства служат темноокрашенные магматические породы: диабаз, базальт и светлоокрашенные осадочные породы: доломит, мел и кварцевые пески. Целесообразно применять отходы при разработке горных пород. Наиболее пригодны горные породы с содержанием **SiO₂** до 42...47 %. При большем количестве **SiO₂** повышается вязкость расплава, снижаются литьевые качества и ухудшается кристаллизация. Плагноклазы повышают кристаллизационную способность расплава, но повышают температуру плавления. Оливины и пироксены улучшают литьевые качества материала, но увеличивают хрупкость изделий и повышают температуру плавления. Для понижения температуры плавления в шихту вводятся флюсующие вещества (плавиковый шпат 3 %); для ускорения процессов кристаллизации при охлаждении расплава - тугоплавкие материалы: магнезит, хромит и хромитную руду, действующие как центры кристаллизации (затравки); для отбеливания расплава вводят оксид цинка в количестве 0.8 %. Перед загрузкой в печь сырьевые материалы измельчают, просеивают и дозируют в необходимом соотношении.

Для плавки шихты применяют шахтные, ваннные, вращающиеся и электрические печи. Расплав получается при температуре 1400... 1500 °С. При непрерывной отливке изделий расплавленный материал поступает в копильники, в которых создается запас однородной массы с температурой 1180 ... 1250 °С. Охлаждение расплава перед разливкой в формы необходимо для образования надлежащей структуры изделий и снижения усадочных дефектов (трещин, раковин). Далее расплав выливается в земляные, металлические или силикатные формы, подогретые до 600 ... 700 °С, и постепенно охлаждается. Затем изделия подвергаются отжигу (медленному охлаждению) обычно в туннельных или камерных печах при температуре 800 ... 900 °С. Отжиг способствует повышению деформативности, уничтожению температурных напряжений, связанных с охлаждением и кристаллизацией.

Постепенное понижение температуры благоприятствует выпадению кристаллической фазы из расплава. Введенные в сырьевую смесь минерализаторы способствуют ускорению процесса кристаллизации, путем регулирования температуры управляют степенью кристалличности камнелитных изделий. При охлаждении базальтовых расплавов при температуре 1250 °С начинается выделение мельчайших октаэдрических кристаллов магнетита, что приводит к осветлению прилегающих участков основной стекловидной массы. При

1200 °С выделяются отдельные, единичные кристаллики полевого шпата типа плагиоклаза. Около 1150 °С резко увеличивается число центров кристаллизации плагиоклаза и возникает тонкокристаллическая сетка мельчайших кристалликов плагиоклаза. При дальнейшей снижении температуры (1100 °С) параллельно с продолжающимся выделением магнетита и плагиоклаза начинают выделяться кристаллы пироксена.

Камнелитные изделия (трубы, плитки и др.) имеют однородную мелкокристаллическую структуру. Предел прочности при сжатии их 250 -400 МПа, они имеют высокую твердость, морозо- и кислотостойкость, что обусловлено их большой плотностью (2900 ... 3000 кг/м³) и малой пористостью не более 1.0 ... 1.5 %. Истираемость изделий из каменного диабазы, гранита составляет 0.7 г/см², что в 2 ... 5 раз меньше, чем базальта. Изделия из каменного литья находят применение для футеровки бункеров, травильных ванн, плиток полов в цехах с агрессивными средами.

4.6. Органические вяжущие вещества и материалы

Органические вяжущие вещества разделяют на три основные группы: битумы природные и нефтяные; дегти каменноугольные, сланцевые, торфяные и древесные; полимеры полимеризационные и поликристаллизационные.

«Асфалес» - по - гречески значит надежный, вечный, а слово «битум» происходит от санскритского «гвитумен», обозначающего смолу. Это самые древние строительные материалы из известных человечеству. Они отличаются поразительной долговечностью: так, например, в г. Мохенджо-Даро (Пакистан) до сих пор облицовка бассейна, выполненная из асфальта пять тысяч лет тому назад, а в Сирии - гидроизоляции туннелей под Ефратом и висячих садов дворца Семирамиды, осуществлённые ещё в 14 веке до н.э.

Теплоизоляционные материалы на основе органических вяжущих и перлитовых, вермикулитовых заполнителей имеют коэффициент теплопроводности и температуру применения соответственно от -200 до +60 °С.

Температуры воспламенения материалов на основе органических вяжущих 285 - 351 °С, минимальная температура сомовосшгаменения 368 -397 °С.

Неорганическим вяжущим присущи следующие общие признаки:

1. Химический состав их представлен органическими соединениями - продуктами химической переработки природного или синтетического сырья.
2. Заданная консистенция достигается нагреванием, растворением.
3. Имеют хорошую адгезию к заполнителям.
4. Являются гидрофобными и придают водоотталкивающие свойства.
5. Хорошо растворяются в органических растворителях: бензоле, бензине, керосине, за некоторым исключением, когда только набухают.
6. Изменяют свои свойства под воздействием кислорода воздуха, ульт-

рафиолетовых лучей, повышения температуры.

7. Способны гореть, некоторые из них токсичны.

Битумы нефтяные. Состав, структура и свойства. Элементарный состав нефтяных битумов (% по массе): углерода - 70...80, водорода - 10...15, серы - 2...9, кислорода - 1...5 и азота - 0...2. Для исследования их разделяют на : масла, смолы, асфальтены, асфальтогеновые кислоты и их ангидриты.

Масла - смесь циклических углеводородов с плотностью менее 1 и молекулярной массой 300...500. Количество масел составляет 45...60%.

Смолы - вязкопластические вещества с плотностью около 1 и молекулярной массой до 1000. Они придают битумам большую тягучесть и эластичность. Содержание смол в битумах находится в пределах 15...30%.

Асфальтены - твердые, вещества с плотностью выше 1 и молекулярной массой 1000...5000. Содержание асфальтенов определяет его высокие вязкость и температурную устойчивость. Общее содержание асфальтенов в битумах находится в пределах 5...30%.

Важнейшими свойствами битумов, характеризующими их качество, являются вязкость, сопротивление внутренних слоев битума перемещению относительно друг друга. Для характеристики вязкости, точнее величины, обратной вязкости, т.е. текучести битумов, принимается условный показатель - глубина проникания иглы в битум (пенетрация). Глубину проникания иглы определяют на приборе - пенетрометре при действии на иглу груза массой 100 г в течение 5с при температуре 25°C или 0°C при грузе 200 г в течение 60 с. Пенетрация битумов выражается в единицах (градусах), равных 0.1 мм проникания иглы в битум.

Пластичность условно характеризуется растяжимостью (дуктильностью)

- способностью вытягиваться в тонкие нити под действием внешних постоянных сил. Растяжимость определяют на специальном приборе - дуктилометре при скорости деформации образца битума в виде «восьмерки» 5см/мин, температурах испытания 25 и 0°C. Показателем растяжимости служит длина нити в момент разрыва образца, выраженная в сантиметрах.

Температура размягчения определяется на приборе «кольцо и шар» («К и Ш»). Температура размягчения битума, выраженная в градусах Цельсия, соответствует температуре водяной бани в стакане прибора в момент, когда битум, имеющийся в латунном кольце (диаметр 16.0 мм), деформируясь под воздействием металлического шарика массой 3.5 г и постепенного нагрева воды со скоростью 5°C в минуту, коснется нижней полки подставки. Нижняя полка подставки находится от кольца на расстоянии 25 мм. Температура размягчения битумов колеблется в пределах от 20 до 95 °C.

Температуру хрупкости битума определяют на приборе Франса. Битум наносят тонким слоем на латунную пластинку, которая вместе с битумом может охлаждаться и изгибаться. За температуру хрупкости принимают ту температуру, при которой на тонком изгибаемом слое битума образуется

первая трещина. Температура хрупкости, например, дорожных битумов может быть от -20 до +5 °С.

Температура вспышки - температура, при которой пары, образующиеся при плавлении битума в открытом тигле, воспламеняются при поднесенном пламени. Температуру вспышки определяют на стандартном приборе. Она обычно выше 200 °С.

Фракционный состав жидких битумов определяют путем перегонки испытуемого материала в стандартной колбе с холодильником. Так, например, при перегонке жидких битумов, густеющих со средней скоростью, отбирают фракции, кипящие в интервале температур 145, 215 и 300 °С и их количество выражают в процентах по массе от первоначальной навески.

Вязкие природные битумы получают путем извлечения их из известняков, доломитов и песчаников, пропитанных ими. При кипячении воды битум размягчается, отделяется от породы и всплывает на поверхность.

В качестве природных жидких битумов в строительстве используются тяжелые, высокосмолистые нефти.

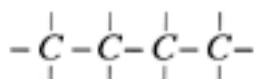
Дегти каменноугольные, сланцевые, торфяные и древесные получают путем сухой (без доступа воздуха) перегонки соответствующих твердых топлив. Для строительных целей и промышленности строительных материалов применяются дегти отогнанные, получающиеся после отбора из сырых дегтей летучих веществ, или составленные, изготавливаемые смешением горячего песка с антраценовым маслом или жидким дегтевым материалом.

Нефть на заводах подвергается фракционной перегонке с целью получения светлых продуктов (бензина, лигроина, керосина), смазочных масел и других видов нефтепродуктов. Нефтяные остатки после отбора легких по массе фракций (гудрон, крекинг) используются для получения битума.

Полимерами называют высокомолекулярные вещества, молекулы которых состоят из огромного количества структурных звеньев, взаимодействующих друг с другом посредством ковалентных связей с образованием макромолекул.

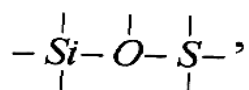
По составу основной цепи макромолекул полимеры разделяют на три группы:

1. Карбоцепные полимеры - макромолекулярные цепи полимера состоят лишь из атомов углерода:



2. Гетероцепные полимеры, в состав цепей которых входят кроме атомов углерода еще атомы кислорода или серы, азота, фосфора и т.п.:

3. Элементоорганические полимеры, в основные цепи которых могут входить атомы кремния, алюминия, титана и других элементов кремнийорга-



нические соединения типа:
имеющие кремнийкислородные, силоксановые связи.

Макромолекулы могут иметь линейное, разветвленное или сетчатое (трехмерное) строение, что определяет физико-механические и химические свойства полимеров.

Макромолекулы линейного строения вытянуты в виде цепей в которых атомы мономера связаны химическими связями. Разветвленные макромолекулы характерны наличием мономерных звеньев, ответвленных от основной цепи полимера. Сетчатые (трехмерные) структуры макромолекул характеризуются тем, что образуются обычно «сшивкой» отдельных линейных или разветвленных цепей полимера (рис.4.8, а, б, в).

Полимеры с макромолекулами линейного или разветвленного строения плавятся при нагревании с изменением свойств и растворяются в соответствующем органическом растворителе, а при охлаждении они вновь затвердевают. Такие полимеры, способные многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении, называются термопластичными (термопласты). Напротив, полимеры с макромолекулами трехмерного строения имеют повышенную устойчивость к термическим и механическим воздействиям, не растворяются в растворителях, а лишь набухают. Такие полимеры не могут обратимо размягчаться при повторном нагревании и носят название термореактивных полимеров (реактопласты).

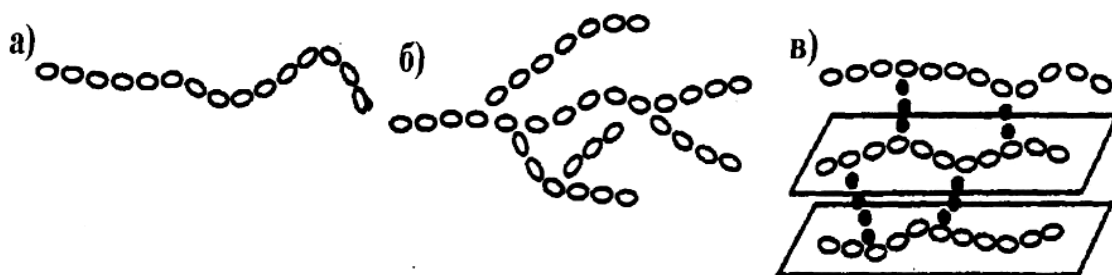


Рис. 4.8. Строение макромолекул полимеров

Рис. 4.8. Строение макромолекул полимеров

В зависимости от метода получения полимеры подразделяются на **поли-меризационные, поликондёнсационные и модифицированные** природные полимеры.

Полимеризационные полимеры получают в процессе полимеризации мономеров вследствие раскрытия кратных связей ненасыщенных углеводородов и соединения элементарных звеньев мономера в длинные цепи. Поскольку при реакции полимеризации атомы и их группировки не отщепляются, побочные продукты не образуются, а химический состав мономера и полимера одинаков.

Поликонденсационные полимеры получают в процессе реакции поликонденсации двух или нескольких низкомолекулярных веществ. При этой реакции наряду с основным продуктом поликонденсации образуются побочные соединения (вода, спирты и другие), а химический состав полимера отличается от химического состава исходных продуктов поликонденсации.

Модифицированные полимеры получают из природных высокомолекулярных веществ (целлюлоза, казеин, каучуки) путем их химической модификации для изменения их первоначальных свойств в заданном направлении. Эти полимеры не находят широкого применения в строительстве вследствие их недостаточной во до- и атмосферостойкости.

Для производства полимеров основным сырьем служат мономеры, т.е. вещества, способные соединяться друг с другом, образуя полимеры. Мономеры получают путем переработки природных и нефтяных газов, каменного угля, аммиака, углекислоты и других подобных веществ. Высокомолекулярные соединения характеризуются не только структурой молекул, но и молекулярной массой полимера. К высокомолекулярным соединениям относятся обычно полимеры с молекулярной массой свыше 5000; полимеры с более низкой молекулярной массой называют **олигополимерами**. По мере увеличения молекулярной массы полимера растворимость его в органических растворителях снижается, несколько снижается эластичность, однако прочность значительно возрастает.

Свойства многих полимеров неразрывно связаны с величиной молекулярной массы и межмолекулярных сил, которые слабее обычных валентных связей. При увеличении молекулярной массы полимера суммарный эффект межмолекулярных сил становится ощутимым, поскольку их источником является каждый атом. В этой связи возрастающая роль межмолекулярных сил при повышении молекулярной массы качественно отличает полимеры от низкомолекулярных соединений.

На свойства полимеров значительное влияние оказывают и водородные связи, когда водород непосредственно связан с кислородом или азотом (**ОН**, **НН₂**, и др.). Водородная связь хотя и слабее ковалентных связей, но все же прочнее межмолекулярных сил притяжения и представляет как бы вторую

валентность водорода.

Полимеры характеризуются следующими свойствами: термические (температура размягчения и теплостойкость, температура стеклования и текучести), механические (прочность, деформативная устойчивость и поверхностная твердость), химические (атмосферостойкость и деструкция).

Температуру размягчения определяют по методу Кремер-Сарнова на специальном приборе. За температуру размягчения по Кремер-Сарнову принимают температуру глицерина в стакане прибора, при которой ртуть, находясь в стеклянной трубке на слое полимера, под действием собственной массы и нагрева глицерина проникнет через размягченный образец и коснется дна стакана.

Теплостойкость определяют на приборах Мартенса и Вика. Теплостойкость по Вика выражается температурой ($^{\circ}\text{C}$), при которой плоский наконечник стержня прибора площадью 1 мм^2 , нагруженный стандартным грузом 1 или 5 кг, внедряется в образец полимера на глубину 1 мм.

К важнейшим полимеризационным полимерам (термопласты) следует отнести полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, поливинилхлорид, полистирол и др. Полиэтилен $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ - продукт полимеризации этилена. Выпускается или в виде гранул размером 3...4 мм, или белого порошка. Исходным материалом является газообразный этилен, получаемый при термической обработке нефти. Полиэтилен применяется для производства труб, пленок, тары и сантехнического оборудования.

Полистирол $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$ - твердый продукт полимеризации стирола. Его выпускают в виде прозрачных листов, гранул. Макромолекула имеет полидисперсную разветвленную структуру. Стирол содержится в некоторых фракциях каменноугольной смолы или вырабатывается из бензола и этилена. Стирол легко полимеризуется под действием солнечного света и повышенной температуры (80°C).

Блочный полистирол имеет высокую прочность (80...НО МПа) и водостойкость. Молекулярная масса его от 50000 до 300000, плотность $1.04 \dots 1.66\text{ г/см}^3$, теплопроводность $0.10 \dots 0.15\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Применяют для изготовления гидроизоляционных пленок, облицовочных плиток, теплоизоляционных материалов, водопроводных труб и др.

Среди поликристаллизационных полимеров (реактопласты) наиболее значимыми являются фенолформальдегидные, карбамидные, мочевиноформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические.

Фенолформальдегидные полимеры получают путем поликонденсации фенола с формальдегидом. Фенол $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ представляет собой бесцветные кристаллы игольчатого типа с характерным сильным запахом. Он токсичен, а при попадании на кожу вызывает ожоги.

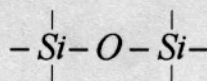
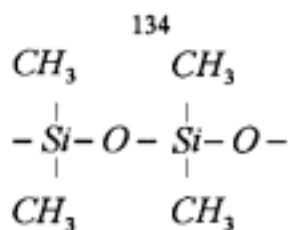
Формальдегид - газ с удушливым запахом, 40 %-ный раствор его в воде называют формалином.

Фенолформальдегидные полимеры используются для производства клеев, древесно-стружечных, волокнистых и слоистых плит, пластиков, водо-

стойкой фанеры, минераловатных и стекловатных матов, спиртовых лаков.

Кремнийорганические полимеры. Макромолекулы состоят из чередующихся атомов кремния и кислорода, а углерод входит лишь в состав групп, обрамляющих главную цепь **СНз**.

Наличие
силоксановой связи:



придает свойства, присущие силикатным материалам (прочность, твердость, теплостойкость), а углеводородистых радикалов СН₃ - органическим полимерам (эластичность и др.).

На основе органических вяжущих веществ, так же, как и на основе неорганических, изготавливают и применяют растворы и бетоны. Они в значительной степени предназначены для защиты строительных изделий и сооружений от агрессивной среды. Основное количество растворов и бетонов на органических вяжущих веществах изготавливают с применением битумов. Данные материалы нашли свое применение для гидроизоляции сооружений и устройства дорог. Наиболее известным и применяемым в строительстве материалом является асфальтобетон. В РФ многими исследователями ведутся работы по повышению эксплуатационных свойств асфальтобетона.

Проблема определения и нормирования эксплуатационных свойств асфальтобетона актуальна не только для РФ, но и для многих стран, и в некоторых из них уже введены в действие новые стандарты, в которых методы определения эксплуатационных свойств основаны на лабораторном копировании реальных условий работы асфальтобетона в покрытиях.

Так, сдвигоустойчивость в стандартах Франции и Финляндии нормирована в виде глубины колеи, выдавленной в асфальтобетонной плите многократно повторяющимися возвратно-поступательными проходами пневматического колеса.

В новом стандарте США трещиностойкость нормирована показателем усталостной прочности при многократно повторяющемся изгибе балки.

Первая попытка в РФ была сделана в 1995 году Ю.Е. Никольским и Л.С.Губачем, разработавшими региональные технические условия на асфальтобетон для Ленинградской области, в которых нормированы показатели не физико-механических, а эксплуатационных свойств. В них сдвигоустойчивость нормирована показателями сопротивления сдвигу, трещиностойкость - отношением предела прочности при расколе к модулю упругости.

Трещиностойкость, т.е. сопротивляемость асфальтобетона температурным растягивающим напряжениям, может быть обеспечена применением возможно менее вязких битумов, деформативность которых сохраняется даже

при очень низких температурах и, следовательно, прочность асфальтобетона может быть сравнительно небольшой.

Деформативность асфальтобетона при низких температурах может быть повышена также и применением битума, модифицированного полимерными добавками.

Анализ методов, предложенных для определения трещиностойкости, показывает, что сопротивление растяжению при расколе может быть базовым методом.

Нормируемыми показателями эксплуатационных свойств следует рассматривать: показатели сдвигоустойчивости для дорог разных категорий; показатели трещиностойкости для различных климатических регионов; коэффициент водостойкости; показатель однородности смеси.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Глава 5. Защитные покрытия на основе природных и искусственных материалов

5.1. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия

Теплоизоляционными называют строительные материалы, которые обладают малой теплопроводностью и предназначены для тепловой изоляции строительных конструкций жилых, производственных и сельскохозяйственных зданий, поверхностей производственного оборудования и агрегатов.

Эти материалы имеют небольшую среднюю плотность - не выше 600 кг/м^3 , что достигается с помощью повышения их пористости.

В строительстве тепловая изоляция позволяет уменьшить толщину ограждающих конструкций (стен, кровли), снижать расход основных строительных материалов (кирпича, бетона, древесины), облегчать конструкции и снижать их стоимость, уменьшать расход топлива в эксплуатационный период. В технологическом и энергетическом оборудовании тепловая изоляция снижает потери теплоты, обеспечивает необходимый технологический режим, снижает удельный расход топлива на единицу продукции.

По основной теплофизической характеристике (теплопроводности) теплоизоляционные материалы делят на три класса: А - малотеплопроводные, Б - среднетеплопроводные, В - повышенной теплопроводности. Классы отличаются величиной теплопроводности материала, а именно: при средней температуре 25°C материалы класса А имеют теплопроводность до $0.06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, Б - от 0.06 до $0.115 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, В - от 0.115 до $0.175 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

Самым характерным признаком теплоизоляционных материалов является их высокая пористость, поскольку воздух в порах имеет меньшую теплопроводность, чем окружающее его вещество в конденсированном состоянии (твёрдом или жидком). При величине пор $0.1 - 2.0 \text{ мм}$ воздух в них имеет теплопроводность, равную $0.023 - 0.030 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Пористость теплоизоляционных материалов составляет до 90%, а тонкое стекловолокно имеет пористость до 99.5 %. Конструкционные материалы, такие как тяжелый цементный бетон имеют пористость до 9 ... 15 %, гранит, мрамор - $0.2 \dots 0.8$, керамический кирпич - 25 ... 35 %, сталь - 0, древесина - до 70 %. Поскольку пористость непосредственно влияет на величину средней плотности, обычно теплоизоляционные материалы различают не по пористости, а по средней плотности. Их делят на три группы: особо легкие, имеющие марку по средней плотности (кг/м^3) в сухом состоянии 15, 25, 35, 50, 75 и 100 легкие - 125, 150, 175, 200, 225, 300 и 350, тяжёлые 400, 450, 500 и 600.

По способности к сжимаемости под нагрузкой теплоизоляционные материалы делят на три вида: мягкие (М), имеющие сжимаемость свыше 30 % под удельной нагрузкой $2 \cdot 10^3$ Па, полужёсткие (ПЖ) - соответственно - 6...30 %, жесткие (Ж) - до 6 %, повышенной жёсткости - до 10 % под удельной нагрузкой 10^3 Па и твердые - до 10 % под удельной нагрузкой ЮкПа.

По форме материалов различают штучные (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, сегменты), рулонные (маты, полосы, картон), шнуровые (шнуры жгуты) и сыпучие материалы (минераловатная смесь, вспученный перлит и др.).

Неорганические, органические и полимерные теплоизоляционные материалы. К главнейшим искусственным способам поризации материалов с приданием им теплозащитных свойств относятся следующие:

Способ газообразования основан на введении в сырьевую смесь компонентов, которые способны вызвать химические реакции с выделением в больших количествах газовой фазы. Газы, стремясь выйти из твердеющей пластической массы, образуют пористую структуру материала - газобетона, газосиликата, ячеистого стекла, газонаполненной пластмассы и др.

В качестве химических газообразователей используются алюминиевая пудра и техническая перекись водорода (пергидроль). Алюминиевая пудра в результате реакции с гидроксидом кальция способствует выделению большого количества молекулярного водорода $3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2$. Пергидроль легко разлагается в щелочной среде с образованием молекулярного кислорода $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. В обоих случаях вспучивается цементное тесто.

Аналогичным путем в расплавленные стекла и смолы вводятся реагенты, способствующие образованию газов CO_2 , N_2 и др. При производстве пеностекла газообразователями служат известняк, антрацит.

Способ пенообразования основан на введении в воду затворения вяжущих пенообразных веществ. Стабилизированные пузырьки пены представляют собой воздушные поры пенобетона, пеносиликата, пенокерамики и др. В качестве стабилизаторов пены с повышением их стойкости до момента отвердевания вяжущего используется столярный клей, сернокислый глинозем, смолы и др. Пенообразователями служат соли жирных кислот: натриевые и калиевые мыла; мыльный корень и извлекаемый из него сапонин; клееканифольный пенообразователь, получаемый из канифольного мыла (соль абиетиновой кислоты $\text{C}_{19}\text{H}_{39}\text{COOH}$); алюмосульфонафтовый пенообразователь, получаемый из керосинового контакта и сернокислого глинозема; гидролизованная кровь (ГК), получаемая путем обработки отходов мясокомбинатов по схеме техническая кровь + едкий натр. + железный купорос + хлористый аммоний.

Способ повышенного водозатворения состоит в применении большого количества воды при изготовлении формовочных масс (например, из трепела, диатомита) и последующего ее испарения с сохранением пор при высушива-

нии. Этот способ применяется при производстве древесно-волоконистых плит, торфяных, асбестотрепельных и других материалов.

Способ вспучивания некоторых горных пород и шлаков при нагревании до высоких температур заключается в выделении газов или водяных паров главным образом в связи с отделением химически связанной воды или цеолитной воды. При способе вспучивания сырьем служат перлит и обсидиан, вермикулит, некоторые разновидности глин, в особенности содержащие легкоплавкую закись железа (FeO).

Способ распушения заключается в изготовлении из сравнительно плотного минерального сырья волокнистого материала в виде бесформенной массы с возможным последующим приданием ей формы изделий. Наибольшее распространение получило производство минеральной ваты, стеклянной ваты и изделий из них.

К группе неорганических теплоизоляционных материалов относятся: минеральная и стеклянная вата и изделия из них; ячеистое стекло (пеностекло); легкие бетоны с применением вспученных перлита и верликулита; ячеистые теплоизоляционные бетоны; асбестовые и асбестосодержащие материалы; керамические теплоизоляционные изделия и огнеупорные легковесы. Отличительной особенностью неорганических материалов является их достаточная огнестойкость, малая гигроскопичность, неподверженность загниванию, низкая теплопроводность.

Органические теплоизоляционные материалы изготовляют с применением растительного сырья и отходов (побочных продуктов) лесного и сельского хозяйства. К основным теплоизоляционным материалам с применением растительного сырья относятся древесно-стружечные, древесно-волоконистые, фибролит, арболит, камышит, торфяные, войлочные.

Теплоизоляционные материалы на основе полимеров характеризуются значительной легкостью, малой теплопроводностью и достаточной механической прочностью. Особый интерес представляют «заливочные» пено- и поропласты на основе фенолоформальдегидных и полиуретановых полимеров. Образование теплоизолирующей прослойки пено- или поропласта непосредственно при изготовлении стеновых панелей значительно упрощает и удешевляет производство работ.

Газонаполненные полимерные материалы (пенопласты) - это полимерные композиты, наполненные газом, содержание которого может составлять от 10 до 90 %. Для прогнозирования (расчета) свойств пенопластов необходимо рассматривать в качестве дисперсной фазы не газ, а полимер. С учетом такого подхода легче будет рассчитывать пенопласты. Это направление - разработка наполненных пенопластов - приобретает самостоятельное значение при использовании в строительстве.

К недостаткам этих материалов следует отнести сравнительно низкую теплостойкость и горючесть большинства полимерных материалов.

Наиболее эффективным представителем газонаполненных полимерных материалов для быстровозводимых малоэтажных построек из легкого кирпича, в конструкциях сборно-разборных и передвижных домов, в навесных и несущих сэндвич-панелях является полистирол. Основные свойства полистирола марок ПСВ -А , ПСВ, ПСВ- С, предназначенных для получения беспрессовым методом, вспениванием в формах изделий различной конфигурации и деталей с высокими звуко- и теплоизолирующими свойствами, представлены в таблице 5.1.

Таблица

5.1 Некоторые свойства ПСВ

Показатели	Марка полистирола		
	ПСВ-А	ПСВ	псв-с
Содержание стирола, %		0.25 (I группа)	0.25 (I группа)
Плотность, кг/м ³	0.25 20 ...30 -60	0.30 (II группа)	0.30 (II группа)
Температура эксплуатации минимальная, °С	70 ...0.25 0.11 0.035 ... 0.0442	20 ...30 -60	20 ... 30 -60
Максимальная рабочая температура, °С		70	70 ... 00.22 0.1
Сжатие, МПа		0.13 ...0.25 0.11	...0.3
Изгиб, МПа		...0.15	0.035 ... 0.0442
Теплопроводность, Вт/(м·К)		0.035 ... 0.0442	

Марка ПСВ-А - предназначена для изготовления различных деталей; ПСВ - для изготовления тепло- и звукоизоляционных плит, упаковки, технических изделий и товаров народного потребления; марка ПСВ-С - для изготовления технических изделий, тепло- и звукоизоляционных плит, самозатухающих.

Стеновые крупноразмерные изделия. Около 85 % выпуска крупноразмерных стеновых изделий составляют легкобетонные, изготовленные с использованием искусственных пористых заполнителей и портландцементного связующего. В ограниченных количествах в ряде регионов России выпускаются крупноразмерные ячеистые изделия. Промышленные производства крупноразмерных керамических изделий в странах СНГ пока отсутствуют.

Необходимость снижения затрат на производство изделий, повышения их теплоизоляционных свойств, размеров, долговечности вынуждает постоянно совершенствовать материалы, конструкции, технологии изготовления. Стоимость панелей наружных стен составляет 23 % общей стоимости возводимого здания, а удельный расход стали и бетона на их изготовление - соответственно 25 % и 28 %. В общем балансе тепловых потерь на долю наружных стен приходится 74 - 84 %.

Сравнение эффективности однослойных панелей с улучшенными теплозащитными характеристиками плотностью до 1000 кг/м^3 и трехслойных панелей с эффективным утеплителем показывает, что последние выигрывают не только по теплоизоляционной способности (табл. 5.2), но и более экономичны (по приведенным затратам).

Таблица

5.2 Техничко-экономические показатели панелей наружных стен
(на 1 м^2 общей площади)

Конструктивный вариант панели	Толщина, мм	Сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$	Трудоемкость с учетом эксплуатации	Годовой расход топлива на обогрев здания	Энергозатраты с учетом сопряженных отраслей
			чел.-дн	кг условн.	кг условн. топлива
Однослойная керамзитобетонная на поризованном кварцевом песке ПЛ1200 (эталон) То же на керамзитовом песке ПЛ1000 Однослойная из ячеистого бетона ПЛ600 Трехслойная из тяжелого бетона с гибкими связями и эффективным утеплителем из полистирольных плит	350 350	0.766 0.947	5 5 5.54 4.68	35 31.5	1725 1429
	300	1.189		29.5	1347
	300	1.603		25	853

И хотя изготовление однослойных панелей на заводах строительной индустрии на 12 % менее трудоемко, с учетом трудозатрат на добычу, обработку и транспорт материалов (цемента и заполнителей), сооружение дополнительных энергетических объектов (обжиг заполнителей), а также отопление зданий, суммарные затраты труда на производство трехслойных панелей наружных стен существенно ниже.

Среднее положение по технико-экономическим показателям между однослойными и трехслойными панелями, твердеющими при тепловлажностной

обработке, занимают ячеистые однослойные панели, твердеющие при гидро-терминальной обработке. С развитием машиностроения в строительной индустрии эффективность их производства повысится.

Наиболее перспективной конструкцией является трехслойная панель наружной стены с гибкими связями и эффективным утеплителем. Широкое применение таких панелей в отечественной практике сдерживается из-за дефицитности и дороговизны эффективных теплоизоляционных изделий, например плит пенополистирола. Минераловатный утеплитель недостаточно жесток и из-за высокого водопоглощения требует дополнительной гидроизоляции, что делает его малопригодным для изготовления трехслойных панелей. Отсутствуют пока в необходимых количествах нержавеющей, малокоррозионные стали, а также обычные стали с антикоррозионным покрытием, необходимые для изготовления гибких связей.

Выпускаемые в настоящее время в основном трехслойные панели с соединительными ребрами имеют большие недостатки. Наличие жесткой связи между наружным и внутренним слоем приводит к концентрации напряжений в местах примыкания соединительных ребер при колебаниях температур и трещинообразованию. Отклонения в размерах плит утеплителя, их деформативность не позволяют выдерживать проектную толщину ребер, что вызывает отсыревание внутренней поверхности стены.

В силу вышеотмеченных причин выпуск трехслойных панелей наружных стен в настоящее время сдерживается, в то время как в странах Европы доля слоистых панелей в общем количестве крупнопанельных стен достигает, в процентах: Норвегии - 100, Венгрии - 95, Югославии - 94, Финляндии и Румынии - 90, Швеции - 78, Англии - 75 и Франции - 70. В связи с энергетическим кризисом многие страны Западной Европы смогли относительно просто за счет утолщения слоя утеплителя в трехслойных конструкциях панелей существенно повысить термическое сопротивление наружных стен. Например, в Швеции в крупнопанельных домах постройки 60-х годов термическое сопротивление составило $1.48 - 2.16 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а к 80-м годам оно было увеличено до $3.44 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, то есть возросло в 1.6 раза.

Акустические материалы и изделия. Акустическими называются материалы, способные уменьшать энергию звуковой волны, снижать уровень громкости внутреннего или внешнего звука.

Звук - это восприятие ухом упругих механических колебаний и волн, возникающих в среде под влиянием принудительных воздействий. Частоты колебаний, выражаемые в герцах (Гц), могут быть низкими, средними и высокими, что обусловлено числом колебаний в 1 с: при низкой частотности - 16 ... 50 Гц, средние 500 ... 2000 Гц, высокие - 2000 ... 15000 Гц и высшие (1 Гц = 1 колебание в с). Количество энергии, переносимой звуковой волной за 1 с через площадку в 1 см^2 , перпендикулярную направлению движения волны, называют силой звука и выражают в ваттах на 1 см^2 ($\text{Вт}/\text{см}^2$). Человеческое ухо вое-

принимает звук лишь при его силе не ниже некоторой минимальной величины, называемой порогом слышимости. Порог слышимости различен для низких, средних и высоких частот. Наиболее чувствительно человеческое ухо к колебаниям с частотами в области 1000 ... 3000 Гц, когда порог слышимости достигает интенсивности звука до 10^{-16} Вт/см². Болевые ощущения в ухе возникают при пороге 10^{-2} Вт/см², называемом болевым порогом, большим в 10^{14} раз по силе звука, чем при пороге слышимости. Последнюю силу звука принимают как нулевой уровень. За реальный уровень громкости полагают величину, пропорциональную логарифму отношения силы данного звука к силе звука на нулевом уровне, выражаемую в белах (Б) или децибелах (дБ). Например, шепот - 10 дБ, тихий разговор - 40 дБ, улица с нормальным движением - 60 дБ, а с шумным - 70 дБ, грузовой автомобиль - 90 дБ, авиационный мотор - 120 дБ, болевой порог 140 дБ.

Выбор акустических материалов основан на их различной способности к задержанию (поглощению) звуковой волны. Скорость звука в воздухе приблизительно равна 340 м/с, в воде - 1450 м/с, а в твердых телах еще выше: в кирпичной кладке - 2000 м/с, в бетоне - 4000 м/с, металле - свыше 5000 м/с. На пути воздушного переноса звука устанавливаются преграды из звукопоглощающих материалов и конструкций. С увеличением массы ограждения улучшается поглощение звука, так как массивное ограждение труднее перевести в изгибное колебание под влиянием волнового звукового давления. Но с увеличением массы ограждения прирост звуковой изоляции происходит медленно. Так, например, если при массе перегородки 100 кг звукоизоляция составляет 40 дБ, то при массе 200 кг - 44 дБ, при массе 300 кг - 48 дБ. Для дальнейшего снижения шума потребуются устраивать либо очень тяжелые однородные ограждения, либо заменять их ограждениями из двух стенок со сплошными воздушными прослойками (без жестких связей между стенками), переходить к слоистым конструкциям.

Для борьбы с шумом и переносом звука используют звукопоглощающие (активно поглощающие звук) и звукоизоляционные (снижающие уровень шума) материалы.

По характеру поглощения звука материала разделяют на пористые, мембранные и перфорированные. Наиболее распространенными являются пористые. Звуковая энергия поглощается в этих материалах в основном за счет трения частиц воздуха в порах и капиллярах, весьма развитых и различных по диаметру. С повышением пористости увеличивается звукопоглощение, хотя имеется некоторый предел пористости (около 80 %), выше которого звукопоглощение не возрастает и даже имеется тенденция к его снижению. Важен также размер диаметра пор. При малых размерах пор проникновение звуковой энергии в толщу материала затруднено, а звукопоглощение оказывается незначительным. Оптимальным может быть принят диаметр пор до 1 мм. При мембранном типе материала сила звука снижается вследствие затраты энергии на

вынужденное колебание достаточно массивных и жестких мембран (плиты, фанерные листы, плотный картон, некоторые ткани). Перфорированные панели и другие материалы имеют отверстия, в которых задерживается воздух, создающий тормоз на пути воздушного переноса звука, что создает лучший эффект звукопоглощения.

Числовую величину поглощения звука оценивают коэффициентом, который показывает долю энергии звуковой волны, поглощаемой 1 м^2 поверхности материала в открытом проеме.

Эффективными считаются акустические плиты на основе синтетических связующих и с применением в них волокнистых заполнителей - стеклянной и минеральной ваты. Находят применение плиты из легких бетонов на основе неорганических вяжущих и с применением пемзы, керамзита, вспученного перлита или вермикулита: плиты из фибролита, древесно-волокнистые, древесно-стружечные плиты и т.д.; на основе ячеистого бетона-плиты «Силакнор».

Высокой эффективностью отличаются плиты «Акмигран» и «Акминит» средней плотностью $350 \dots 400 \text{ кг/м}^3$, а также гипсовые перфорированные плиты (с несквозной перфорацией) для подвесных потолков.

«Акмигран» изготавливают из минеральной или стеклянной ваты (гранулированной) на связке из смеси крахмала, бентонита и карбоксилметилцеллюлозы. В «Акмините» вместо бентонита используется каолин, литонон (смесь сернокислого бария и сернокислого цинка как пигментирующая добавка) и поливинилацетатная эмульсия.

Плиты «Акмигран» и «Акминит» имеют коэффициент звукопоглощения в интервале $200 \dots 2000 \text{ Гц}$ от 0.4 до 0.8. Перфорация плит увеличивает звукопоглощаемость на $10 \dots 20 \%$ при частотах $200 \dots 1000 \text{ Гц}$.

Звукоизоляционные материалы. Звукоизоляционные материалы применяют для изоляции помещений от распространения материального (ударного) переноса звука. В отличие от звукопоглощающих эти материалы остаются практически в скрытом от взора состоянии в виде прокладочных слоев в конструкциях. Их помещают обычно в конструкциях внутренних стен и междуэтажных перекрытий зданий. Гашению звука и шума способствуют прослойки из инородного материала в виде зернистых засыпок, волокнистых и пористых плит или в виде воздушных сплошных прослоек. Важно, чтобы отсутствовали жесткие связи между стенками, разделенными прослойками, так как они тогда колеблются как одно целое и эффект гашения звука не происходит.

Важной характеристикой качества прокладочного материала является жесткость, определяемая динамическим модулем упругости. По величине модуля упругости различают три класса звукоизоляционных материалов: I - до 1 МПа, II - от 1 до 5 МПа и III - от 5 до 15 МПа.

Другой характеристикой является деформативность, по которой изделие разделяются на мягкие, когда относительная деформация более 15 %, полужесткие, если она в пределах - 5 ... 15 %, жесткие - менее 5%.

Общая оценка з $R = 10 \lg \frac{1}{\tau}$, где τ - ой способности производится путем вычисления по формуле коэффициент проницаемости.

5.2. Отделочные защитные материалы

Лакокрасочными называют природные или синтетические материалы, наносимые в жидком состоянии на поверхность изделия тонким слоем и образующие после отвердевания покровные плёнки. Покрытие изделий или конструкций лакокрасочными материалами производится с целью защиты их от вредного воздействия атмосферы, пара и газов, предохранения от коррозии, загнивания и возгорания. Лакокрасочные материалы широко используют также в целях повышения художественно-архитектурной выразительности фасадов и внутренних помещений жилых и промышленных зданий.

К лакокрасочным материалам относят: готовые красочные вещества, предназначенные для образования непрозрачного и защитного покрытия данного колера; связующие вещества, наполнители, пигменты и красители, служащие для изготовления красочных веществ; лаки, применяемые для отделочного прозрачного покровного слоя; эмали и вспомогательные материалы - шпаклевки и грунтовки, растворители и разжижители лаков и красок, пластификаторы и отвердители полимерных составов и некоторые специальные добавки, например сиккативы.

Связующие вещества, являясь необходимым компонентом в красочных составах, сцепляют частицы пигмента и наполнителя и образуют прочную пленку (слой) на обрабатываемой поверхности. Связующими веществами могут быть: олифы в масляных красках; полимеры - в полимерных красках, лаках и эмалях; каучуки - в каучуковых красках; клеи - в клеевых красках; неорганические вяжущие - в цементных, известковых и силикатных красках.

Олифы являются основным связующим для приготовления масляных красочных веществ. Они могут быть натуральными, полунатуральными и искусственными (синтетическими).

Натуральные олифы - продукты нагрева до 160 ... 270 °С («варки») растительных высыхающих масел (льняного, конопляного, тунгового).

В целях ускорения высыхания олифы в процессе варки масел в них добавляют сиккативы - соли оксидов свинца, марганца, кобальта или растворы других металлических солей жирных кислот в органических растворителях. Пленка, получаемая после высыхания полимерного масла - натуральной олифы, содержит 100 % масла и отличается повышенной водостойкостью, эластичностью, глянецвитостью и атмосферостойкостью.

Полунатуральные или уплотненные олифы - вязкие продукты «варки» (при температуре полимеризации 300 °С) некоторых полувывсыхающих и невысыхающих растительных масел: подсолнечного, соевого или хлопкового. Кроме того, уплотнение масел при получении таких олиф достигается окислительной полимеризацией, путем продувания через слой масла воздуха, нагретого до 150 °С. Полученные вязкие, полимеризованные масла разбавляют до жидкой консистенции органическими растворителями, содержание которых достигает 45 %.

Искусственные олифы представляют пленкообразующие вещества, получаемые из непищевых продуктов. Наибольшее применение получили алкидные олифы: глифталевая, пентафталевая, состоящие из 50% алкидной основы и 50% уайтспирита, олифа синтоловая и олифа карбоноль.

Для оценки качества (натуральных и полунатуральных) олиф определяют их вязкость, цвет, отстой и прозрачность, количество сиккатива и растворителя, время высыхания, эластичность пленки на изгиб.

Лаками называют растворы масел, природных или синтетических полимеров, битумов и т.п. в органических растворителях. Лаки, нанесенные на обрабатываемую поверхность, после отверждения (высыхания) образуют прозрачную, достаточно прочную пленку, хорошо сцепляющуюся с обработанной поверхностью.

Лаки делятся на светлые (масляные или масляно-смоляные) и черные (битумные, пековые). Из лаков, получаемых на основе поликонденсационных полимеров, наибольшее распространение имеют алкидные лаки, на основе полимеризационных полимеров - перхлорвиниловые лаки; на основе эфира целлюлозы - нитролаки.

В зависимости от плёнообразующих веществ и растворителей можно выделить алкидные и масляно-алкидные лаки. Они разделяются на жирные, содержащие более 60 % масла, средние от 40 до 45 %, тощие и сверхтощие - 35 % масла. Более жирные лаки используют обычно для наружной отделки, тощие применяют для производства внутренних работ.

Синтетические, безмасляные лаки - растворы синтетических полимеров в органических растворителях. Наибольшее распространение получили глифталевые, мочевино-меламиноформальдегидные, перхлорвиниловые, полиакриловые лаки.

Спиртовые лаки и политуры получают из природных или синтетических полимеров путем их растворения в этиловом спирте или смеси спирта с другими легкими растворителями.

Спиртовые лаки применяют для покрытия деревянных деталей и изделий, а политуру для окончательной отделки лакированной поверхности дерева и придания ей ровного блеска.

Нитроцеллюлозные лаки (нитролаки) - растворы эфирцеллюлозных полимеров в органических растворителях с добавлением пластификаторов. Такие

лаки быстро (утверждаются (высыхают) и образуют блестящую прочную пленку.

Для красочных веществ и приклейки отделочных материалов применяются клеи. Обычно используются животные, растительные, искусственные и полимерные клеи. Животные клеи - мездровый, костный, казеиновый, получают соответственно из кожных покровов животных, их обезжиренных костей, действия органических кислот на снятое молоко.

Клеи искусственные представляют собой растворы модифицированных природных полимеров в воде. В водно-клеевых красочных составах чаще всего они используются в виде карбоксилметилцеллюлозы и метилцеллюлозы.

Клеи растительные - декстрины получают в результате обработки крахмала кислотой или нагреванием его при 150 ... 200 °С.

Клеи синтетические - полимерные синтетические продукты, обладающие высокой клеящей (адгезионной) способностью. Эти клеи используются в виде эмульсий или водных и спиртовых растворов.

Поливинилацетатная дисперсия - продукт полимеризации в водной среде в присутствии иницирующих и других компонентов.

Универсальный клей «Бустилат-М» - белая, сметанообразная масса, изготовленная на основе поливинилацетатной дисперсии. Он представляет собой водную дисперсию латекса, мела, натрийкарбоксиметилцеллюлозы и поваренной соли.

Растворители и разбавители - жидкие среды, в которых растворяемое вещество равномерно распределяется в виде молекул и ионов.

Они не вступают в химическое взаимодействие с растворяемым веществом и должны быть достаточно летучими, легко испаряться при высыхании раствора. Наибольшее распространение получили скипидар, уайт-спирит, ацетон.

Скипидар - слабокрашенная жидкость, продукт деструктивной (без доступа воздуха) перегонки смолистой древесины (древесный скипидар) или разгонки смолы хвойных деревьев (животный скипидар). Скипидар является растворителем средней активности и применяется для разведения масляных, алкидных и других лакокрасочных составов, он легко воспламеняется и взрывоопасен.

Уайт-спирит - слегка окрашенная жидкость, продукт перегонки нефти, средняя фракция между тяжелым бензином и тракторным керосином. Он применяется для растворения масляных красок и лаков, а также для смыва ранее нанесенных затвердевших пленок. Растворяющие свойства уайт-спирита ниже, чем у скипидара.

Технический ацетон - бесцветная, прозрачная, легколетучая жидкость с характерным запахом, смешивается с водой и спиртом в различных отношениях. Ацетон получают при сухой перегонке древесины или синтетическим путем.

Пигменты и наполнители - тонкодиспертные цветные порошки, нерастворимые в пленкообразующих веществах или органических растворителях, но способные равномерно смешиваться с ними. От разновидности пигмента и наполнителя зависят цвет (колер) лакокрасочного покрытия, его долговечность, устойчивость против атмосферных факторов, агрессивных сред и повышенных температур.

Благодаря способности избирательно отражать лучи дневного света пигменты обладают различным цветом. Так, например, пигменты, почти полностью отражающие свет, кажутся белыми и, напротив, пигменты, поглощающие световые лучи, придают красочному составу черный цвет. Пигменты бывают неорганические и органические, искусственные и природные.

Искусственные неорганические пигменты получают в результате сложных химических процессов. Такие пигменты состоят почти полностью из оксидов и солей металлов (белила, кроны, ультрамарин, лазурь малярная).

Природные пигменты, хотя и уступают искусственным по яркости и насыщенности колера, однако значительно дешевле по стоимости. Их получают в результате переработки руд и глин, содержащих значительное количество примесей оксидов железа (железный сурик, мел, мумия, охра).

Пигменты характеризуются химическим составом, укрывистостью, плотностью, маслосемкостью, красящей способностью, дисперсностью, светостойкостью, атмосферостойкостью, химической стойкостью, огнестойкостью и стойкостью против коррозии. Химический состав обуславливает цвет, коррозионную и химическую устойчивость, термостойкость и др. Укрывистость - способность краски (изготовленной на олифе и пигменте) закрывать первоначальный цвет при равномерном нанесении ее на поверхность. Укрывистость характеризуют количеством пигмента (в г) на 1 м окрашиваемой поверхности. Красящая способность (интенсивность цвета) - свойство пигмента передавать свой цвет в смеси с белыми, черными или синими пигментами. Маслосемкость - способность пигмента удерживать определенное количество масла. Она характеризуется количеством масла (в % по массе), которое необходимо добавить к пигменту для получения красочной пасты. Дисперсность - тонкость помола частиц пигмента. Чем меньше частицы, тем выше его укрывистость и красящая способность. Размеры частиц пигмента не должны превышать толщину пленки красочного покрытия во избежание шероховатостей и неровностей.

Пигменты группируются по цвету: белые, черные, красные и коричневые, желтые, синие и зеленые.

Белые пигменты могут быть искусственные и природные. Из искусственных белых пигментов, получаемых путем химической переработки минерального сырья, широко используют цинковые, свинцовые, титановые и сернистые белила.

Мел как пигмент и наполнитель используют для разбеливания цветных красочных веществ. Он применяется также для изготовления клеевых и силикатных красок.

Известь воздушная применяется для побелки фасадов промышленных и гражданских зданий.

Черные пигменты: сажа газовая, нефтяная, перекись марганца и тонко молотый графит.

Красные и коричневые пигменты: мумия искусственная и природная, сурик железный, крон красный, сурик свинцовый.

Желтые пигменты: кроны различных оттенков (от лимонного до оранжево-красного) и охры.

Синие пигменты: ультрамарин и лазурь малярная. Зелёные пигменты: оксид хрома, зелень цинковая, зелень свинцовая, хромовая.

Цинковые белила - оксид цинка ZnO с небольшим количеством примесей. Содержание оксида цинка должно быть не менее 92 %, плотность -5.6 г/см^3 , укрывистость - $100 \dots 120 \text{ ПО г/м}^2$, они светостойки, не ядовиты, невысокая атмосферостойкость.

Свинцовые белила по химическому составу представляют собой основную углекислую соль свинца $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$. Они укрывисты, атмосферостойки, но токсичны.

Титановые белила по химическому составу - диоксид титана TiO_2 . Они являются лучшими из существующих белил, их укрывистость составляет $50 \dots 70 \text{ г/м}^2$, плотность $4.24 \dots 3.84 \text{ г/см}^3$. Титановые белила обладают высокой стойкостью к воздействию атмосферы, кислот, щелочей и повышенных температур, они не токсичны.

Перекись марганца (MnO_2) в тонкоизмельченном состоянии образует черный пигмент со значительной кроющей способностью. Мумия природная - тонкоизмельченный порошок глины, окрашенный оксидом железа в красные тона. Сурик свинцовый - оранжевый или красный порошок, представляет собой свинцовую соль ортосвинцовой кислоты Pb_3O_4 , токсичный, тяжелый (плотность $8.3 \dots 9.2 \text{ г/см}^3$) пигмент.

Ультрамарин - алюмосиликат натрия $Na_4Al_3Si_3S_2O_{12}$, содержащий серу в коллоидном состоянии, получают путем отжига каолина с содой и серой.

Лазурь - железная соль железистосинеродистой кислоты $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$, светостойкий пигмент, однако разрушается под воздействием щелочей и поэтому не применяется для покрасок по штукатурке и цементным растворам. Оксид хрома Cr_2O_3 устойчив к воздействию щелочей, кислот и повышенных температур. Получают нагреванием хромника $K_2Cr_2O_7$ с восстановителем.

5.3. Полимерные строительные материалы и изделия

Полимерные материалы (пластмассы, композиты, пластики) - это композиции определенного состава, получаемые из мономеров, олигомеров, полимеров с введением при их изготовлении либо в процессе формования изделия различных компонентов (ингредиентов) для целенаправленного придания свойств как материалу, так и изделию из него.

В полимерный материал могут входить одновременно или в различном сочетании: *связующее* (полимерная матрица), *наполнители*, *пластификаторы*, *стабилизаторы*, *красители*, *сшивающие агенты* (отвердители), *структурообразователи*, *порообразователи*, *смазки*, *антипирены*, *антистатик**и*, *антимикробные агенты* и другие компоненты, придающие специфические свойства композиции в целом.

Связующее в пластической массе или полимерная матрица в полимерном материале (изделии) удерживает все ингредиенты композиции в форме и размерах, полученных после ее переработки. Связующим (полимерной матрицей) могут быть индивидуальные полимеры. Помимо основного компонента связующего - мономера, чаще олигомера, полимера или их сочетания - в него вводят различные органические соединения, изменяющие (модифицирующие) свойства компонентов связующего на стадии изготовления полимерного материала или при его переработке в изделия.

Модифицирование проводят либо без химических превращений основного полимера путем изменения условий производства полимерного материала или введением малых количеств неполимерных веществ (структурная модификация), либо в результате химических реакций, как на стадии синтеза (сополимеризация, полимеризационное наполнение и др.), так и путем химических превращений уже синтезированных олигомеров и полимеров (химическая модификация).

Наполнители - это твердые, жидкие, газообразные органические и неорганические вещества, вводимые в мономер, олигомер или полимер с целью снижения стоимости изделия с одновременным улучшением эксплуатационных параметров пластических масс, ведущих к расширению областей их применения. Химическая природа, физическое строение и форма наполнителя определяют механические, электрические и химические свойства полимеров, а также их во до-, термо- и теплостойкость. Наполнители в значительной степени влияют и на технологический процесс производства пластической массы, и на способность ее переработки в изделия.

Наполнители в зависимости от химической природы и активности поверхности разделяют на органические и неорганические, природные и синтетические, активные и неактивные, а в зависимости от формы и структуры - на порошкообразные (дисперсные), волокнистые и листовые.

В производстве полимерных композиционных материалов наибольшее применение находят порошкообразные наполнители различных форм: кубической - полевой шпат, кальциты; сферической - искусственные микросферы, стеклосферы; игольчатой - древесная мука, силикат кальция; чешуйчатой - тальк, графит, каолин, гидроокись алюминия; в виде параллелепипеда - полевой шпат, оксиды кремния, бария, сочетание которых между собой может быть самым разнообразным.

Из волокнистых наполнителей широкое распространение получили хлопковые очесы, короткие целлюлозные, асбестовые, стеклянные, а также углеродные, борные, металлические волокна.

Из листовых наполнителей применяют бумагу, различные ткани (стеклохлопчатобумажные, боро-, органоткани и др.), ленты, например, из металлической фольги.

Пластификаторы - это продукты (вещества), вводимые в мономер, олигомер или полимер с целью повышения эластичности и пластичности, а также облегчения диспергирования в композиции сыпучих компонентов, например, порошкообразных наполнителей. Пластификаторы понижают температуру переработки и могут придавать материалу такие свойства, как свето-, термо- и морозостойкость, негорючесть.

Известно свыше 500 наименований пластификаторов, применяется около 100. Важнейшими из них являются эфиры алифатических или ароматических кислот и алифатических спиртов, эфиры гликолей и эфиры фосфорной кислоты, эпоксициклические соединения, хлорированные соединения и др.

Стабилизаторы (антиоксиданты, термо-, светостабилизаторы, противотуманители) - вещества, повышающие устойчивость мономеров, олигомеров или полимеров к действию кислорода, особенно при повышенных температурах в условиях производства, переработки и хранения - эксплуатации полимерных материалов. Различают окрашивающие и неокрашивающие антиоксиданты, среди которых наибольшее применение находят неозон, нонокс, диафен, алкофены и др.

Сшивающие агенты (отвердители, вулканизующие агенты) - вещества, создающие в полимерной матрице композиционного материала на определенной стадии его производства, чаще всего при изготовлении изделия, химические связи между макромолекулами с целью повышения прочности, тепло- и химстойкости и других свойств. Условно сшивающие агенты разделяют на отвердители для пластических масс и вулканизующие агенты для каучуков. К отвердителям относят алифатические и ароматические амины, низкомолекулярные полиамиды, ангидриды кислот, полиизоцианаты, гексаметилентетрамин, алкоксисиланы, активные растворители - фурфурол и фуриловый спирт, стирол и др.; к вулканизующим агентам - серу, органические ди- и полисульфиды, органические перекиси, диамины, производные хинона, алкилфенолоформальдегидные смолы, диизоцианаты, окислы металлов и др.

Структурообразователями называют вещества, вводимые в полимерные материалы для получения полимерной матрицы с определенной структурой. К таким веществам относятся тонкодисперсные порошки окислов, нитридов металлов, карбиды, соли органических кислот, поверхностно-активные вещества (ПАВ), вводимые в количестве 0.1 ...1.0 % от массы полимера. Выполняя роль центров кристаллизации и (или) понижая поверхностное натяжение на границе фаз, эти добавки способствуют улучшению прочностных, химических и других свойств полимерных материалов.

Смазки (парафины, воска, стеараты) предохраняют от прилипания полимера к поверхностям формующего оборудования, способствуя диспергированию ингредиентов в материале.

Антистатика (различные группы ПАВ, добавляемые в количестве до 1% от массы полимера) предотвращают возникновение и накопление статистического электричества на изделиях из полимерных материалов.

Антипирены (галогеносодержащие соединения, производные фосфора, соединения сурьмы, изоцианаты) снижают горючесть материала, затрудняя воспламенение и распространение пламени.

Порообразователи - вспенивающие вещества, используемые для образования в полимере или полимерном материале замкнутых, не сообщающихся (пенопласт) или сообщающихся (поропласт) между собой пор, что ведет к существенному снижению плотности материала.

Порообразователями могут быть органические и неорганические, жидкие и твердые вещества, разлагающиеся при нагревании с выделением CO_2 , NH_2 , N_2 , либо воздуха, N_2 , CO_2 , NH_2 , H_2 в виде газов, вводимых в композицию под давлением; легкокипящие, но не разлагающие при нагревании жидкости (метиленхлорид, пектан, гектан и др.) и водорастворимые соли (KCl , NaCl и др.), вымываемые из изделия (физические порообразователи).

Антисептики (доли процента органических соединений Sn, As, Hg, бромированных салициламидов, меркаптанов) в полимерном материале затрудняют появление и распространение микроорганизмов.

Красители (органические и неорганические пигменты) вводятся в полимерные материалы для придания им цвета и товарного вида и должны обладать высокой степенью дисперсности, свето-, термо- и атмосферостойкостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред (кислот, щелочей и др.) и отсутствием склонности к миграции на поверхность изделия.

Полимерные строительные материалы - это чаще всего многокомпонентные системы, основным отличительным признаком которых является вид связующего - полимера. Однако в определенных условиях используются так называемые гомополимерные материалы - полимеры, не содержащие каких-либо модифицирующих и других добавок. Перечень этих материалов и области их использования довольно значительны.

При попытках классифицировать существующий массив полимерных материалов всегда возникают трудности, связанные с поливариантностью их состава и структуры и отсюда практически неограниченным набором - сочетанием свойств конечных продуктов и изделий из них.

На практике и в литературе используется несколько способов разделения полимерных материалов, основу которых составляют:

происхождение - природные, искусственные, синтетические;

механизм синтеза - полимеризационные, поликонденсационные;

способ синтеза - суспензионные, эмульсионные, блочные или массовые;

поведение при воздействии высоких температур - термопласты, реактопласты;

химическое строение - органические и неорганические или карбоцепные, гетероцепные, элементоорганические и неорганические;

конечный продукт - олигомеры, полимеры, пластические массы или полимерные материалы;

величина деформационных характеристик - жесткие, полужесткие, мягкие и эластичные;

область применения - так называемые потребительские ряды - самый широкий спектр для классификации.

При выборе полимерных материалов, защищающих изделия и конструкции от воздействия различных факторов эксплуатации и агрессивных сред (полимерные покрытия), необходимо учитывать химическую стойкость полимера, его термостабильность, природу защищаемой поверхности, сцепляемость (адгезию) покрытия с защищаемой поверхностью и некоторые другие.

Для ориентировочного выбора следует пользоваться справочными данными. Однако необходимо помнить, что большей частью эти данные основываются на относительно кратковременных, лабораторных испытаниях в чистых индивидуальных средах. На практике условия эксплуатации и среды сложные. В этой связи рекомендуется проводить проверочные испытания полимерного покрытия в модельных и производственных условиях.

Для ускоренного выбора вида или группы полимерного покрытия для защиты строительных и других изделий и конструкций можно воспользоваться упрощенной диаграммой, представленной на рис.5.1.

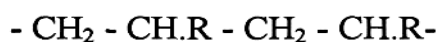
Искусственные полимерные материалы и изделия получают из пластических масс. Кроме полимера (связующего) пластмассы могут содержать наполнители и пластификаторы, красители, стабилизаторы и другие специальные добавки (отвердители, порообразователи, смазывающие вещества). Первой промышленной пластмассой был эбонит, полученный еще в 1843 г. вулканизацией натурального каучука серой. В начале XX в. начато производство пластических масс на основе фенолоформальдегидных полимеров.

ляет 0.25 ... 0.70 Вт/(М·°С), а у пористых материалов всего лишь 0.03 Вт/(М·°С), т.е. приближается к теплопроводности воздуха 0.023 Вт/(М·°С). Пластмассы и изделия на их основе имеют высокую химическую стойкость к воздействию растворов кислот, щелочей, органических растворителей.

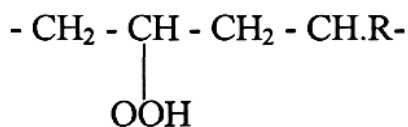
К положительным свойствам пластмасс следует отнести их способность окрашиваться на всю толщину изделия и легко поддаваться технологической обработке - сверлиться, обтачиваться и свариваться в струе горячего воздуха. Отдельные виды пластмасс обладают высокой прозрачностью, которая находится в пределах 85 ... 94 относительно прозрачности алмаза, принятой за 100. Особые декоративные свойства изделий из пластмасс: гладкая, не требующая полировки поверхность, четко выраженный колер - выгодно отличают эти изделия от других отделочных материалов.

Вместе с тем они имеют ряд недостатков. Так, существенными недостатками пластмасс являются малая поверхностная твердость, низкая теплостойкость, горючесть, токсичность, повышенная ползучесть, малая долговечность, изменение физико-механических свойств во времени.

Под воздействием различных активных факторов и при высокой для данного материала температуре могут развиваться в полимере процессы окисления и деструкции с разрывом макромолекул по длине цепи, отрывом отдельных или групп атомов от её звеньев. Так, например, под влиянием озона возникают функциональные группы - гидроксилы, карбоксилы. Они являются своеобразными предвестниками химической деструкции:



под влиянием озона возникает



В реакциях деструкции полимеров характерным является снижение молекулярной массы и выделение летучих продуктов. Изменения полимеров связаны с влиянием светового облучения, например, активной части солнечной радиации (длина волн 30 - 36 · 10⁻⁸ м), действием ультрафиолетовых лучей, повышенных температур, механических напряжений, водопоглощением при длительном контакте с водой.

Деструктивные явления рассмотрены ниже в отношении ряда термоллабильных и терморезистивных полимеров.

Полиэтилен нестойк к действию окислителей при повышенных температурах. Водопоглощение наблюдается в среде ПАВ. Разрушения материала наблюдаются под действием активной части солнечной радиации, ионизирующего излучения. Полиизобутилен стоек к действию минеральных кислот, кон-

центрированных едких щелочей. Однако под влиянием ароматических и хлорированных углеводов он сравнительно легко растворяется с потерей исходных физико-механических свойств.

Поливинилхлорид и его сополимеры с винилацетатом характеризуются высокой стойкостью к кислым и щелочным средам. Трубы из поливинилхлорида успешно используют для транспортирования агрессивных жидкостей при температуре от -15 до +60 °С. Но и этот полимер, а также полистирол с его высокой способностью сохранять твердость при повышении температуры (температура плавления 230 °С), не проявляют стойкости при солнечном облучении и быстро стареют, набирают хрупкость.

Полиэфирные полимеры имеют высокую стойкость к большинству кислот любой концентрации до температуры 80 °С, к сульфатам, хлоридам, спиртам, нефтепродуктам. Но они подвержены коррозионному воздействию азотной, уксусной и муравьиной кислот. Они не проявляют достаточной стойкости к едким щелочам.

Эпоксидные и фурановые полимеры не отличаются высокой химической стойкостью к воздействию сильных окислителей.

Сравнительно общим способом торможения при воздействии света и облучений является введение химических реагентов, способных поглощать ультрафиолетовые и другие лучи. К таким реагентам относятся, например, для стабилизации полиэтилена и некоторых других полимеров бензотриазол, тинувин, хлористый марганец и др.

Другой способ стабилизации структуры полимеров, применяемых в покрытиях, - введение светоотражающих добавок, например, алюминиевой пудры. В полимеры для стабилизации вводят также антиоксиды, наполнители, особые разновидности стабилизаторов и другие добавки.

При изготовлении пластмасс и строительных материалов (изделий) из них осуществляются подготовительные работы по активации составляющих, дозирование компонентов и их перемешивание в смесительных аппаратах, формование изделий методами вальцевания (на каландрах), горячего прессования, литья под давлением, экструзии и др.

Вальцевание на каландрах - технологический передел, при котором размягченная композиция формируется в зазоре между вращающимися валками каландров, образующими ленту изделия, толщину и ширину которой можно регулировать. Такая технология применяется для обработки поливинилхлоридных пластмасс при изготовлении пленок, рулонных материалов для пола.

Экструзия - процесс, при котором заданный профиль изделиям придается продавливанием размягченной исходной пластмассы через формообразующее устройство - экструзионную головку. С помощью таких шнековых экструзионных машин изготавливают погонажные изделия, трубы, пленки, линолеум для пола и др.

На основе этих и некоторых других (вакуум-формирования, напыления) технологических операций развивается производство строительных материалов и изделий из пластмасс.

Прессование - изготовление изделий в металлических пресс-формах. Материал (пресс-порошок), заполнивший форму, под действием теплоты и давления превращается в готовое изделие заданной конфигурации.

Сырьем для изготовления линолеума, кроме связующего поливинилхлорида, служат наполнители: тальк, барит, мел гидрофобизированный, древесная мука и другие, пластификаторы диоктифталит и добавки. Для окрашивания линолеума применяют мумию, сурик железный, литопон, ультрамарин, зелень хромовую.

Поливинилхлоридный линолеум производят на тканевой и теплоизоляционной основе. При применении вспененного поливинилхлорида применяются ткани из стеклохолста и асбеста.

Более эффективными синтетическими покрытиями взамен линолеумов являются ковровые покрытия. Для приготовления ковровых покрытий отдельные полотнища материала склеивают или сваривают в ковры необходимых размеров.

Ворсовое рулонное покрытие из синтетических волокон изготавливают нанесением синтетического ворса в электрическом поле на различные подосновы. Ковровое покрытие выпускают в рулонах длиной не менее 12 м, шириной 1.1; 1.2 и 1.3 м при толщине не менее 5 мм.

Фенолитовые, резиновые плитки, древесно-стружечные, древесноволокнистые плиты, санитарно-техническое оборудование в виде ванн, умывальников, раковин и другие изготавливают прессованием.

Отделочные изделия - влагостойкие обои, «Изоплен», «Пеноплен», «Линкрустит», «Тексоплен» изготавливают напылением, промазным способом, вальцово-каландровым.

Составы, в которые входят наполнители, пластификаторы, красители и различные добавки наносятся на бумажную или тканную основу. В качестве гидроизоляционных полимерных материалов следует рассматривать полиизобутиленовую пленку - рулонный материал, получаемый из полиизобутиленового каучука, газовой сажи и графита. Смешиванием полиизобутилена, нефтяного битума и асбеста получают материал, из которого на каландрах изготавливают гидроизоляционный материал.

Смесь, состоящая из резиновой крошки, битума, кумаронового полимера, наполнителя (асбест) и антраценового масла (антистатик), представляет мастичку изоляционную.

5.4. Гидроизоляционные материалы

Природные полимерные строительные материалы. Природными полимерными строительными материалами являются в первую очередь битум и смола. По данным раскопок установлено, что 4500 - 5000 лет назад природный битум и смолу использовали в качестве вяжущих и гидроизоляционных материалов при строительстве египетских и вавилонских сооружений, изоляции каналов и водостоков, фундаментов дворцов и храмов. Следует отметить, что природный битум до сих пор является одним из наиболее надежных гидроизоляционных материалов. Высококачественные лаки, мастики, краски и эмали изготавливают с применением этого материала. Однако в гораздо больших масштабах для гидроизоляции в наше время используются искусственные битумы (из нефти) и дегтевые вяжущие вещества. Серьёзным «конкурентом» битумам и мастикам явился гидроизоляционный материал, получаемый на основе синтетических смол и полимеров. По качеству он превосходит битумы и дёгти, и поэтому полимеры широко используют в гидроизоляционных пластмассах.

По виду применяемого связующего гидроизоляционные материалы классифицируют на битумные, дегтевые, битумно-дегтевые, битумно-полимерные, битумно-резиновые и др.

По признаку физического состояния и внешнего вида гидроизоляционные материалы разделяют на рулонные и листовые материалы, штучные изделия, мастики, пасты и эмульсии, лакокрасочные материалы. Каждая из этих разновидностей имеет свои специфические особенности в составе, структуре и свойствах.

Гидроизоляционные рулонные, листовые и штучные материалы. Рулонными гидроизоляционными материалами являются рубероид, рубероид наплавляемый, перфорированный рубероид, стеклорубероид, металлоизол, толь покровный, гидроизол, изол, бризол, битумно-полимерный материал.

Рубероид изготавливается путем пропитки картона мягким нефтяным битумом с последующим покрытием с одной или двух сторон тугоплавким битумом и минеральной посыпкой.

Для улучшения качества рубероида в битум покровного слоя иногда вводят наполнитель в виде тонкодисперсного порошка (известняк, доломит, тальк и др.). С целью повышения атмосферостойкости рубероида, предотвращения слипания рулона и придания поверхности декоративного внешнего вида на лицевую поверхность наносят минеральную посыпку. В качестве посыпки используют измельчённые минеральные материалы: слюду, тальк, асбест и др.

По назначению рубероид подразделяют на подкладочный (гидроизоляционный) и кровельный. В марках рубероида первая буква Р означает «рубероид», вторые буквы - П и К - подкладочный или кровельный материал и, наконец, третьи буквы К, П и Ч - указывают на разновидность по-

сыпки: крупнозернистая, пылевидная или чешуйчатая. В зависимости от массы 1 м² картона (в г) его делят на марки: А-350, А-420 и Б-350, Б-420. Чем выше марка картона, тем выше его прочность и другие показатели.

Рубероид выпускают в рулонах по ширине полотна кровельного картона

Л Л

1000, 1025 и 1050 мм с площадью полотна рулона 10.0±0.5 м или 20.0 м.

Рубероид наплавляемый изготавливают путем пропитки кровельного картона нефтебитумом малой вязкости с последующим нанесением с обеих сторон слоев мастики, состоящей из битума с минеральным наполнителем и пластификатором (цилиндровое масло и др.).

В отличие от обычного, наплавляемый рубероид имеет с нижней стороны увеличенную толщину покровной массы. Так, если в обычном рубероиде количество покровной массы равно около 200 ... 300 г/м², то в наплавляемом - 1000 ... 2000 г/м² и более. Такой рубероид не приклеивают к основанию с помощью специальных мастик, а укладывают путем наплавления нижнего покровного слоя горелками (горячий способ) или пластификацией этого слоя растворителем.

Перфорированный рубероид в отличие от обычного имеет в картоне отверстия диаметром 20 мм (перфорация), расположенные в шахматном порядке на расстоянии 100 мм друг от друга. Кровли с его применением «дышат», так как на их поверхности не возникает вздутий от давления пара снизу, а при деформациях основания не наблюдается разрывов кровельного ковра.

Стеклорубероид получают нанесением на стекловолоконистую основу битумного вяжущего вещества с двух сторон. Преимуществом стеклорубероида по сравнению с обычным является большая прочность и долговечность.

Стеклорубероид выпускают в виде рулонов с площадью полотна 10.0 м² трех марок: С-Рк - Стеклорубероид кровельной с крупной посыпкой на лицевой стороне, С-Рч - кровельный материал с чешуйчатой посыпкой на лицевой стороне и, наконец, С-Рм - Стеклорубероид гидроизоляционный с мелкой или пылевидной минеральной посыпкой с двух сторон.

Металлоизол представляет собой гидроизоляционный материал, получаемый на основе отожженной алюминиевой фольги, покрытой с обеих сторон нефтяным битумом. Металлоизоляцию выпускают в виде лент шириной до 600 мм при толщине фольги от 0.2 до 0.5 мм и длине ленты до 20м.

Толь кровельный покровный изготавливают путем пропитки кровельного картона каменноугольным или сланцевым дегтем с последующей песочной или крупнозернистой посыпкой.

Гидроизол - беспокровный гидроизоляционный материал, изготавливаемый путем пропитки асбестового или асбестоцеллюлозного картона нефтяным битумом с температурой размягчения по «К и Ш» не ниже 50 °С.

Гидроизол отличается значительной гнилостойкостью и долговечностью. Изол - гидроизоляционный материал, получаемый путем прокатывания смеси

резинобитумного связующего, измельченного асбестового волокна, антисептика, пластификатора и других добавок. Толщина изола в рулоне ± 0.2 мм.

Бризол - изоляционный материал по структуре сходен с изолом.

Отличительной особенностью бризола является повышенная стойкость к воде и некоторым агрессивным средам.

Битумно-полимерный материал - высококачественный гидроизоляционный материал, получаемый смешиванием нефтяного битума, полиизобутилена и фенолоформальдегидного полимера с последующей минеральной посыпкой. Его выпускают трех марок в рулонах с шириной полотна 800 ... 1000 мм при толщине 1 ... 1.5 мм и общей площадью полотна рулона 10 м^2 .

Из листовых и штучных изделий с органическими вяжущими наиболее широкое применение получили гидроизоляционные плиты и кровельные битумные листы.

Плиты гидроизоляционные могут быть армированные и неармированные. Неармированные плиты изготавливают прессованием горячей мастики или асфальтобетонной массы (битум, минеральный порошок, заполнители) в изделие заданных размеров (100 x 60 x 2 см).

Армированные плиты получают путем прессования асфальтобетонной массы совместно с предварительно покрытой битумом стеклотканью или металлической сеткой. Армированные плиты имеют размеры (200 - 120) x (75 - 120) x (2 - 4) см. Они могут применяться как для асфальтовых покрытий, так и для оклеечной гидроизоляции и заполнения деформационных швов.

Гидроизоляционные армированные маты изготавливают на основе стеклоткани, предварительно пропитанной битумом, с последующим покрытием с обеих сторон слоем битума или гидроизоляционной мастики. В зависимости от вида пропиточного материала и кровельного слоя такие маты разделяют на обычные и с повышенной теплостойкостью. Их производят в виде плит длиной 3 ... 10 м, шириной до 1 м при толщине мата 4 ... 6 мм. Армированные маты применяются в основном для устройства оклеечной гидроизоляции.

Гидроизоляционные камни могут быть получены путем пропитки штучных изделий из пористых материалов битумом, дегтем и другими гидрофобизирующими органическими веществами. Легче других получать кирпичи (глиняный или силикатный), пропитанные битумом при 180 ... 200 °С на глубину 10 ... 20 мм. Гидрофобный газоасфальт - теплогидроизоляционный материал изготавливают из битумоизвестковой пасты с добавлением 10 ... 50 % по массе портландцемента и газообразователя (алюминиевой пудры).

Кровельные битумные листы изготавливают путем пропитки плотной картонной основы битумом и нанесения кровельного слоя. Кровельный слой состоит из тугоплавкого битума с 30 % наполнителя. Температура размягчения пропиточного битума по «К и Ш» должна быть не менее 60 °С. В соответствии с массой 1 м^2 картона (в г) листы выпускают двух марок: ЛБ-500 и ЛБ-650 с крупнозернистой цветной посыпкой.

Мастики и герметизирующие материалы. Мастиками называют материалы, получаемые смешением органических вяжущих веществ с тонкодисперсными наполнителями и добавками, обладающими клеящей способностью. Мастики применяют для приклейки отделочных материалов к стенам, для наклейки материалов покрытий полов и других целей.

По виду вяжущего мастики разделяют на битумные, дегтевые, дектебитумные, битумно-резиновые, битумно-полимерные и гудрокамовые. По условиям применения мастики разделяют на горячие и холодные.

Горячие мастики используют с предварительным подогревом до 130 ... 150 °С для гидрокамовых и дегтевых и 160 ... 180 °С - для битумных. Холодные применяют при температуре окружающего воздуха или при незначительном подогреве. Наполнителями служат измельченные волокна асбеста, минеральной ваты, тонкомолотые известняки, мел, доломит, тальк, золы.

В зависимости от условий эксплуатации горячим мастикам предъявляют определенные технические требования по тепло- и трещиностойкости.

Теплостойкость оценивают предельной температурой, при которой слой мастики толщиной в 2 мм, склеивающей две полоски пергамина, не вытекает из слоя склейки при выдерживании образцов в течение 5 ч под углом 45°. Трещиностойкость характеризуют диаметром стержня, при сгибании которого слой мастики в 1 мм, нанесенный на полоску пергамина, не образует трещин при температуре испытания 18 ± 2 °С.

Холодные мастики представляют собой смеси органических вяжущих с наполнителями, разжижителями и добавками (пластификаторами). В качестве разбавителей (разжижителей) для получения холодных мастик применяют различные органические вещества: бензин, лигроин, керосин (летучие растворители), соляровое масло, мазут, нефти (нелетучие растворители).

Холодные мастики подразделяют на битумные, резинобитумные, гидрокамовые и полимерные. Приготавливают их путем смешивания компонентов в смесителях с пропеллерной мешалкой. Полимерные мастики получают введением в известные смеси полимерных добавок.

Герметизирующие материалы (герметики) изготовляют для заделки температурных швов, стыков панелей, элементов туннелей, резервуаров.

Герметизирующие и уплотняющие материалы могут быть в виде вулканизирующихся паст, мастик или эластичных прокладок. Они должны быть влаго- и газонепроницаемы, тепло- и морозостойкими, хорошо сохранять первоначальные свойства во времени.

К пластично-вязким герметикам на органической (битумной) основе относится резинобитумная мастика «Изол Г-М» и уплотняющие мастики марок УМ-50, УМ-60 (буквы в марках мастик указывают на разновидность мастики - «уплотняющая мастика», а цифры соответствуют минимальной температуре их использования в градусах Цельсия).

Введение мастик (УМ и «Изол Г-М») в стыке швов производится обычно методом шприцевания с помощью сжатого воздуха.

Наряду с вязкопластичными материалами используют и эластичные прокладки, пористые или монолитные жгуты заданной конфигурации и размеров. Из пористых эластичных прокладок часто применяют пороизол и гернит. Пороизол получают из газонаполнительной резины, модифицированной нефтяными дистилляторами с формированием на ленточном прессе и вулканизацией при температуре 150 ... 160 °С.

Для того, чтобы пороизол проявил герметизирующие свойства, его предварительно обжимают на 15 ... 50 % от первоначального объема и в обжатом состоянии устанавливают в заделываемый шов. Пороизол не теряет эластичность в интервале температур от -80 до +50 °С.

Гернит - пористый эластичный материал представляет собой герметизирующую прокладку с газо- и водонепроницаемой пленкой на поверхности. Этот герметик изготавливают на основе полихлоризопренового каучука (наприта) в виде прокладок длиной 3 м и диаметром 20, 40, 60 мм. Он сохраняет свои свойства в интервале температур от -40 до +70 °С. Перед установкой в стыки гернит подвергается предварительному обжатию до 30...40%.

Глава 6. Классификация защитных покрытий, нормативные требования, направления совершенствования

6.1. Назначение, классификация защитных покрытий

Защитные покрытия предназначены для повышения срока службы, эксплуатационных свойств, архитектурной выразительности строительных изделий и сооружений. Они выполняют гидроизоляционные, теплоизоляционные и отделочные функции.

Защитные покрытия наносятся, устанавливаются в процессе изготовления конструкций в заводских условиях, при строительстве зданий и сооружений на строительной площадке.

Работы по устройству защитных покрытий делятся на собственно-защитные и защитно-монтажные.

Собственно-защитные заключаются в устройстве покрытий на поверхности конструкций и оборудования. К ним относятся гидроизоляционные, теплоизоляционные, отделочные.

Защитно-монтажные заключаются в сборке элементов зданий и сооружений, одновременно играющих конструктивную роль и выполняющих одну из функций защитных покрытий. К ним относятся изготовление и монтаж комплексных изделий и сооружений, например, плит перекрытия с предварительно нанесенными теплоизоляционными и гидроизоляционными слоями, устройство подвесных потолков из конструктивных, декоративно-акустических и светорассеивающих плит, монтаж фасадных панелей с полной заводской отделкой.

Обычные покрытия выполняют при строительстве зданий (сооружений) всех типов; специальные - главным образом в зданиях производственного назначения; декоративные - в гражданских и промышленных зданиях 1 класса, при строительстве и реконструкции уникальных зданий и сооружений.

По характеру используемого материала защитные покрытия делят на несколько видов, каждый из которых применяют для зданий определенной группы (группы А, Б, В, Г).

Здания группы А - жилые дома, школы, санатории, спортивные помещения, детские сады и ясли, лечебно-профилактические учреждения.

Здания группы Б - административные учреждения, продовольственные магазины, общепит и его склады.

Здания группы В - магазины промтоварные, зрелищные предприятия, почты, библиотеки, учебные заведения.

Здания группы Г - промышленные предприятия, бани, прачечные.

Выбор материалов покрытий определяется назначением зданий и сооружений, видом образующих его конструкций, условиями эксплуатации. При этом учитывают не только физическую долговечность покрытий, но и сроки их

морального старения, удобства эксплуатации, условия санитарно-гигиенического содержания.

Качество защитных покрытий зависит от класса здания. Например, в жилых домах первого класса применяют высококачественную отделку, второго класса - улучшенную. В уникальных зданиях, кроме высококачественной отделки, выполняют дополнительные декоративные и архитектурно-художественные работы. В качестве примера, штукатурка силуэтных рисунков (сграффито).

В жилых домах долговечность покрытий должна быть близка к срокам их морального старения. Санитарно-гигиенические требования к покрытиям являются одними из главных: должны быть нетоксичными, обладать высокими звуко-, тепло-, гидроизоляционными свойствами.

Повышенные требования предъявляют к покрытиям полов (в отдельных случаях стен и потолков), они должны:

- обладать бактерицидными свойствами - в ряде помещений больниц, поликлиник, лабораторий, бань, плавательных бассейнов, детских садов, яслей;
- быть непыльными, нетвердыми, звукопоглощающими и теплыми - коэффициент теплоусвоения не должен превышать $7 \text{ кВт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, в помещениях дошкольных учреждений, объектов здравоохранения, школьных классах;
- обладать способностью не накапливать заряды статического электричества - в хирургических, реанимационных отделениях больниц, в лабораториях, цехах нефтегазовой и химической промышленности;
- не пропускать радиоактивные излучения свыше установленных норм - в помещениях с рентгеновской, радиотерапевтической аппаратурой;
- быть нескользкими (коэффициент трения их покровного слоя должен быть не ниже 0.35) - в спортивных залах, прачечных, банях, душевых, плавательных бассейнах;
- обладать повышенными акустическими свойствами - для уменьшения гулкости в радио- и телестудиях, аудиториях и читальных залах;
- обогащать звук и сохранять естественное звучание в киноконцертных и театральных залах; банках, отделениях связи, универмагах, ресторанах, кафе.

При воздействии на полы значительных статических и динамических нагрузок применяют покрытия из плит гранита, сиенита, диорита и других твердых естественных пород камня.

При дополнительных температурных воздействиях для верхнего покрытия полов используют диабаз, базальт, литые плиты из них и шлакоситалл.

При повышенных механических нагрузках целесообразно применять сталебетонные покрытия, в которых заполнителем служит стальная стружка.

6.2. Нормативные требования при устройстве защитных покрытий

Работы по нанесению защитных покрытий следует выполнять при температуре окружающего воздуха и защищаемых поверхностей не ниже, °С:

10 °С - для лакокрасочных защитных покрытий из составов, приготовленных на основе природных смол; мастичных и шпаклевочных покрытий из силикатных составов; оклеечных защитных покрытий с применением битумных рулонных материалов, полиизобутиленовых пластин, пластин «Бутикор-С», дублированного полиэтилена; облицовочных и футеровочных покрытий с применением кислотоупорных силикатных замазок и мастик типа «Битуминоль»;

15 °С - для лакокрасочных армированных и неармированных сплошных покрытий из составов, приготовленных на основе синтетических смол; мастичных покрытий и герметиков из составов на основе синтетических каучуков и наирита; покрытий из листовых полимерных материалов; облицовочных и футеровочных покрытий с применением замазок типа «Арзамит», «Фуранкор», а также полиэфирных, эпоксидных смол и смол с эпоксидными добавками; для покрытий из полимербетона и полимерцементных обмазок;

25 °С - для покрытий из состава «Полан».

Отделочные работы, за исключением отделки фасадов, должны выполняться при положительной температуре окружающей среды и отделываемых поверхностей не ниже 10 °С и влажности воздуха не более 60 %. Такую температуру в помещении необходимо поддерживать круглосуточно, не менее чем за 2 суток до начала и 12 суток после окончания работ, а для обоевых работ - до сдачи объекта в эксплуатацию.

Внутренние поверхности каменных и кирпичных стен, возведенных методом замораживания, следует оштукатуривать после оттаивания кладки с внутренней стороны не менее чем на половину толщины стены. Швы облицовки кладки следует заполнять после затвердевания кладки и нагружения ее не менее чем на 80% от проектной.

При устройстве однослойных покрытий их поверхность следует разравнивать сразу же после нанесения раствора, в случае применения затирочных машин - после его схватывания.

Улучшенную и высококачественную штукатурку следует выполнять по маякам, толщина которых должна быть равна толщине штукатурного покрытия без накрывочного слоя.

При устройстве многослойного штукатурного покрытия каждый слой необходимо наносить после схватывания предыдущего (накрывочный слой - после схватывания раствора). Разравнивание грунта следует выполнять до начала схватывания раствора.

При отделке поверхностей декоративными пастами и терразитовыми составами каждый слой многослойных декоративных покрытий необходимо выполнять после отвердевания предыдущего, без шлифовки поверхности.

Основные технические требования при производстве работ заключаются в необходимости прохождения штукатурных растворов через сетку с размерами ячеек: для обрызга и грунта - 3 мм, для накрывочного слоя - 1.5 мм; подвижности растворов - 5 мм; расслаиваемости - не более 15 %.

Производство малярных работ на фасадах следует выполнять с предохранением нанесенных составов от прямого воздействия солнечных лучей. При появлении пятен на окрашиваемой поверхности следует смыть краску, загрунтовать поверхность и окрасить заново.

При производстве малярных работ сплошное шпатлевание поверхности следует выполнять только при высококачественной окраске, а улучшенной - по металлу и дереву.

Шпатлевку из малоусадочных составов с полимерными добавками необходимо разравнивать сразу же после нанесения со шлифованием отдельных участков; при нанесении других видов шпаклевочных составов поверхность шпатлевки следует отшлифовывать после ее высыхания.

Огрунтовка поверхностей должна производиться перед окраской малярными составами, кроме кремнийорганических. Огрунтовку необходимо выполнять сплошным равномерным слоем без пропусков и разрывов. Высохшая грунтовка должна иметь прочное сцепление с основанием, не отслаиваться при растяжении, на приложенном к ней тампоне не должно оставаться следов вяжущего. Окраску следует производить после высыхания грунтовки.

Малярные составы необходимо наносить сплошным слоем. Нанесение каждого окрасочного состава должно начинаться после полного высыхания предыдущего. Флейцевание или торцевание красочного состава следует производить по свеженанесенному окрасочному составу.

При устройстве звукоизоляции сыпучий звукоизоляционный материал должен быть без органических примесей. Применять засыпки из пылевидных материалов запрещается. Крупность сыпучего звукоизоляционного материала, например, при устройстве полов 0.15-10 мм.

6.3. Теплоизоляционные, отделочные и специальные покрытия

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих сооружений и конструкций следует принимать в соответствии с заданием на проектирование, но не менее требуемых значений, определяемых исходя из санитарно-гигиенических, комфортных условий и энергосбережения.

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) следует определять по формуле

$$ГСОП = (t_{в} - t_{от. пер}) Z_{от. пер},$$

где $t_{в}$ - внутренняя температура, °С; $t_{от. пер}$, $Z_{от. пер}$ - средняя температура, °С и продолжительность, сутки периода со средней суточной температурой воздуха равной 8 °С.

При устройстве теплоизоляции из жестких изделий, укладываемых насухо, должен быть обеспечен зазор не более 2 мм между изделиями и изолируемой поверхностью.

Утеплитель при устройстве теплоизоляции из плит должен укладываться на основание плотно друг к другу и иметь одинаковую толщину в каждом слое.

При устройстве теплоизоляции в несколько слоев швы плит необходимо устраивать вразбежку. Ширина швов между теплоизоляционными плитами при укладке насухо не более 2 мм.

Теплоизоляционные сыпучие материалы перед укладкой должны быть рассортированы по фракциям. Теплоизоляцию необходимо устраивать по маячным рейкам полосами шириной 3-4 м с укладкой сыпучего утеплителя более мелких фракций в нижнем слое. Крупность сыпучего теплоизоляционного материала - 0.15-10 мм. Максимальная толщина слоя сыпучей теплоизоляции - 60 мм. При устройстве теплоизоляции из плит и сыпучих материалов влажность оснований не должна превышать соответственно 4 и 5 %. Максимальные отклонения толщины изоляции от проектной 10 %, коэффициента уплотнения 5%.

Штукатурные растворы подразделяются на отделочные и специальные. Растворы обычных штукатурок состоят из вяжущих - цемента, извести, гипса, а также песка и воды. Предусматривается устройство трех штукатурных слоев - обрызг, грунт и накрывка. Максимально допустимая влажность первичных поверхностей под штукатурку 8 %. Максимально допустимая толщина непрерывного слоя штукатурки составляет 2 мм, а грунта 5 мм. Наибольший размер зерен песка в штукатурных растворах для однослойных покрытий 1.5 мм. Максимальная толщина непрерывного слоя штукатурки декоративного покрытия с применением терразитовых составов 12 мм. Декоративная штукатурка состоит из 3-х слоев: грунт, подготовительный слой и накрывочный декоративный. Максимально допустимые отклонения от вертикали оштукатуренных стен при высококачественной штукатурке 1 мм на 1 м, но не более 5 мм на всю высоту помещения.

Специальные покрытия подразделяются на акустические, гидроизоляционные, рентгенозащитные и др.

Для акустических штукатурок применяют легкие растворы средней плотностью 600 ... 1200 кг/м³. Звукоизоляционные свойства штукатуркам придают накрывочные слои толщиной 10 мм из растворов с легкими заполнителями. Такие слои наносят по сырому, слегка окрепшему грунту из цементно-песчаного раствора состава 1: 3.5 ... 4 с добавлением 10 % извести.

Гидроизоляционную штукатурку на основе цемента применяют для устройства и ремонта гидроизоляции подвалов в условиях работы покрытия на отрыв при гидростатическом напоре до 8 м. Растворы для гидрофобной штукатурки содержат кремнийорганическую добавку. Возможна обработка покрытия гидрофобизатором. При выборе гидрофобизатора необходимо учитывать химический состав вяжущего. Например, при полиэтилгидросилоксане и гипсовой штукатурке гидрофобный эффект практически отсутствует, а при цементной - имеется.

Холодные асфальтовые мастики применяют для устройства и ремонта гидроизоляции подвалов в условиях работы гидроизоляционного покрытия на отрыв при внешнем гидростатическом напоре до 15 м.

Холодные асфальтовые мастики для гидроизоляционной штукатурки состоят из смеси битумной эмульсионной пасты с минеральным порошкообразным наполнителем.

Растворы для баритовых рентгенозащитных штукатурок - это тяжелые растворы плотностью выше 2200 кг/м^3 , применяемые для оштукатуривания стен и потолков рентгеновских кабинетов.

Вертикальные отделочные покрытия выполняются на основе малярных составов. Производство малярных работ на фасадах следует выполнять с предохранением нанесенных составов от прямого воздействия солнечных лучей. При производстве малярных работ сплошное шпатлевание поверхности следует выполнять только при высококачественной окраске, а улучшенной - по металлу и дереву. Шпатлевку из составов с полимерными добавками необходимо разравнивать сразу же после нанесения со шлифованием отдельных участков; при нанесении других видов шпатлевочных составов поверхность шпатлевки следует отшлифовывать после ее высыхания. Нанесение каждого окрасочного состава должно начинаться после полного высыхания предыдущего. Допустимые местные неровности поверхности при устройстве малярных составов не должны превышать 1 мм и их должно быть не более двух на 4 м^2 поверхности. Для наведения глянца выполняют растушевку кистью с мягким упругим ворсом - флейцевание. Для придания поверхности равномерной или пятнистой зернистости производят ее обработку кистью-торцовкой (или щеткой-торцовкой) - торцевание. Флейцевание или торцевание красочного состава следует производить по свежешелуложенному окрасочному составу.

Вертикальные отделочные покрытия выполняются с применением обоев. Клеевой состав при грунтовке поверхности под обои должен наноситься сплошным равномерным слоем без пропусков и потеков и выдерживаться до начала загустевания. Дополнительный слой клеящей прослойки следует наносить по периметру оконных и дверных проемов, по контуру и в углах отделываемой поверхности полосой шириной 75-80 мм в момент начала загустевания основного слоя.

При оклейке оснований бумагой отдельными полосами или листами расстояние между ними должно быть 10-12 мм. Максимально допустимая влажность бетонных поверхностей при оклейке обоями 8 %.

Приклеивку полотнищ бумажных обоев следует выполнять после их набухания и пропитки клеевым составом.

Обои плотностью до 100 г/м² необходимо наклеивать внахлестку, а более - впритык. Отступления кромок обоев, клеенных впритык, не должны превышать 0.5 мм.

При производстве обойных работ помещения до полной просушки обоев необходимо предохранять от сквозняков и прямого воздействия солнечных лучей с установлением постоянного влажностного режима. Максимально допустимое отклонение полотнищ обоев от вертикали - 5 мм на всю высоту помещения.

Для отделки вертикальных поверхностей используются каменные изделия. Горизонтальные компенсационные швы при наружной облицовке из натурального камня располагаются через каждые 2 этажа при расчетных напряжениях в стене до 1 МПа и через 1 этаж при больших напряжениях.

При облицовке полированными плитами предельно допустимые отклонения от вертикали - 2 мм на 1 м. Максимальные неровности наружной поверхности, облицованной керамической плиткой, при контроле двухметровой рейкой - 3 мм.

6.4. Водоизоляционные покрытия

Горизонтальные водоизоляционные покрытия входят в первую очередь в конструкции полов и кровли.

Гидроизоляционный слой является одним из важнейших элементов покрытий: предотвращает проникновение почвенных, дождевых, сточных вод.

Изоляционные и кровельные работы допускается выполнять от +60 до минус 30 °С окружающей среды (производство работ с применением горячих мастик - при температуре окружающего воздуха не ниже минус 20 °С, с применением составов на водной основе без противоморозных добавок не ниже 5 °С). Зимними считаются условия производства работ при среднесуточной температуре ниже +5 °С и минимальной суточной ниже 0 °С. Холодные мастики в зимнее время наносятся при температурах от +5 °С до 0 °С. Минимальная температура стяжки из асфальтовой смеси в зимнее время +170 °С.

Изоляционные покрытия следует выполнять после проверки правильности выполнения соответствующего нижележащего элемента с составлением акта освидетельствования скрытых работ.

Изоляционные составы и материалы должны наноситься сплошными и равномерными слоями или одним слоем без пропусков и наплывов. Каждый

слой необходимо устраивать по отвердевшей поверхности предыдущего с разравниванием нанесенных составов, за исключением окрасочных.

Подготовка оснований и нижележащих элементов изоляции состоит из обеспыливания, выравнивания стяжки и огрунтовке поверхности.

Выравнивающие стяжки (из цементно-песчаных, гипсовых, гипсопесчаных растворов и асфальтобетонных смесей) следует устраивать захватками шириной 2-3 м по направляющим с разравниванием и уплотнением поверхности. Для устройства бетонных подстилающих слоев применяется вакуумирование. Продолжительность технологического цикла составляет 1.0 1.5 минут на 1 см толщины. Максимально допустимая толщина одного слоя цементно-песчаного раствора стяжки кровли - 75 мм. Максимально допустимые просветы между контрольной двухметровой рейкой и бетонным подстилающим слоем под оклеечную гидроизоляцию - 5 мм. Гидроизоляция может выполняться из растворов с использованием водонепроницаемых расширяющихся цементов. При этом увлажнение осуществляется через 1 час после нанесения и через 3 часа в течение 1 суток. Стяжки полов могут изготавливаться с применением гипсового связующего. Требуемая подвижность смеси для самонивелирующих гипсовых стяжек полов (по вискозиметру Суттатда) - 280-380 мм. Движение по стяжке допускается после приобретения прочности на сжатие 1.5 МПа. Максимальная крупность щебня для бетонных покрытий полов - 0.6 толщины покрытия, но не более 15 мм. В помещениях со средней интенсивностью воздействия на бетонный пол жидкостей следует предусматривать уклон 1-2 %. Для защиты бетонных поверхностей полов иногда их пропитывают водными растворами кремнефтористоводородной кислоты. Этот метод называют флюатированием. Флюатирование бетонных покрытий полов должно производиться через 10 суток после укладки бетонной смеси.

Огрунтовка поверхностей перед нанесением приклеивающих и изоляционных составов должна быть выполнена сплошной без пропусков и разрывов. Огрунтовку стяжек, выполненных из цементно-песчаных растворов, следует выполнять не позднее чем через 4 часа после их укладки, применяя грунтовки на медленно испаряющихся растворителях (за исключением стяжек с уклоном поверхности более 5 %, когда огрунтовку следует выполнять после их отвердевания).

Грунтовка должна иметь прочное сцепление с основанием, на приложенном к ней тампоне не должно оставаться следов вяжущего. По влажным основаниям допускается наносить только грунтовки или изоляционные составы на водной основе, если влага, выступающая на поверхности, не нарушает целостности пленки покрытия. Предельно допустимая влажность бетонных и цементно-песчаных оснований под кровлю равна 5 %.

Толщина грунтовки для кровель из наплавленных материалов 0.7 мм, горячей битумной мастики при наклейке рулонного ковра - 2 мм, холодной ма-

тики - 0,8 мм. Температура при устройстве горячих битумных и дегтевых мастик составляет соответственно 160 и 130 °С.

Требуемая толщина одного слоя изоляции, выполненной из холодной асфальтовой мастики, 7 мм, кровли полимерных составов типа «Кровелит» и «Вента» - 1 мм.

Рулонные изоляционные материалы при производстве работ в отрицательных температурах необходимо в течение 20 часов отогреть до температуры не менее 15 °С, перемотать и доставить к месту укладки в утепленной таре. Полотнища рулонных материалов при устройстве кровель должны накладываться:

- в направлениях от пониженных участков к повышенным с расположением полотнищ по длине перпендикулярно стоку воды при уклонах крыш до 15%;
- в направлении стока - при уклонах крыш более 15%.

При наклеивке полотнища изоляции кровли должны укладываться в нахлестку на 100 мм (70 мм по ширине полотнищ нижних слоев кровли крыш с уклоном более 1,5 °).

Температурно-усадочные швы в стяжках и стыки между плитами покрытий необходимо перекрывать полосами рулонного материала шириной до 150 мм и приклеивать с одной стороны шва.

6.5. Развитие теории и практики защитных покрытий

Биодеградация строительных материалов, долговечность цементного камня. По мере быстрого развития цивилизации создается техносфера, своими масштабами и мощностью оказывающая все большее влияние на биосферу. Это приводит к нарушению экосистем, сложившихся в результате эволюции органического и неорганического мира в течение десятков и сотен миллионов лет, что, естественно, не может не отразиться на нормальном развитии представителей флоры и фауны, в том числе на виде *Homo Sapiens*.

В последние годы, особенно после аварии на Чернобыльской атомной электростанции, появилось много публикаций о воздействии токсинов на различные виды растений и животных, разрабатываются методы исследования регионов и отдельных поселков и городов на наличие тяжелых металлов и т.д. Установлено, что различные виды почв и растений значительно отличаются по емкости поглощения загрязнителей. В качестве индикаторов для изучения степени вредного воздействия отдельных объектов предлагается использовать цветы одуванчиков, волосы человека и т.д.

Важное практическое значение для количественной оценки биодеградации композитов имеет установление границы продвижения агрессивной среды и характера изменения физико-механических свойств на поверхности материала. С этой целью в последние годы были выполнены экспериментальные ис-

следования. Результаты показали, что гипсовые и гипсоцементно-пуццолановые композиты, а также цементные материалы на напрягаемом цементе при воздействии микроскопических грибов имеют гетерогенный характер деградации. У композитов на портландцементе биodeградация протекает с образованием на поверхности образцов малорастворимых продуктов коррозии, обладающих низкой прочностью. Дeградационные процессы в полимерных композитах в условиях воздействия микроскопических грибов можно отнести к процессам, протекающим по диффузионному механизму.

Человек большую часть своей жизни проводит в среде строительных материалов. Представляется, что одной из важнейших характеристик строительных материалов является влияние на систему человек-материал-среда обитания. Это особенно актуально для технoхимических аномалий, каковыми являются крупные города. Выбор материалов для строительства в регионе крупных объектов-загрязнителей должен производиться с учетом возможности создания нештатных ситуаций и аккумуляции элементами зданий и сооружений токсичных веществ. Со временем строительные материалы с высокой емкостью поглощения могут создать сильный антропогенный прессинг, при котором темпы эволюционной адаптации человека существенно отстанут от все ускоряющихся изменений экологической среды со всеми вытекающими из этого последствиями.

Характер влияния материалов на человека зависит не только от их состава и строения (чем определяется емкость поглощения), но и от изменений элек-ромагнитных излучений Солнца и других объектов Вселенной; от функционирования геологической среды (платформы, геосинклинали, подвижных участков земной коры, глубинных разломов и т.д.).

Наиболее распространенными материалами являются цементные. Важной характеристикой цементных материалов является пористость.

Гидростатическое давление на уже сформировавшийся цементный камень ведет к существенному уменьшению его пористости и к заметному (в несколько раз) повышению прочности модуля упругости.

Долговечность цементных материалов при совместном воздействии на них давлений и температуры при умеренных (> 373 K) и повышенных (> 573 K) температурах имеет вид:

$$\tau = \tau_0^{\exp} (U_0 - \sigma / kT), \quad (6.2)$$

где τ - долговечность; k - постоянная Больцмана; τ_0 , U_0 - постоянные; T - температура.

Энергия активации U_0 характеризует механизм разрушения. Она является структурно нечувствительной константой каждого материала, численно совпадающей с энергией его межатомного взаимодействия. В силу этого изменения U_0 указывает на изменение механизма разрушения.

Для цементных материалов при $T > 573$ К величина $U_0 = 420$ кДж/моль, что хорошо совпадает с энергией разрыва Si - O - Si связей в $\text{SiC} > 2$. При более низких значениях T величина UQ скачкообразно падает до значения 105 кДж/моль.

Резкое уменьшение величины UQ объясняется участием воды в гидролитическом механизме разрыва Si - O связей. В области температур от 373 до 573 К приведенная выше зависимость не выполняется. Температурно-временная зависимость носит оптимальный характер: с ростом T или уменьшением скорости нагружения прочность увеличивается.

Оценку коррозионной стойкости и долговечности цементных конструкций с достаточной точностью можно определять по математическим моделям коррозионных процессов, разработанным проф. А.Ф.Полаком и его школой. Водородный показатель, определяющий коррозионные процессы по математическим моделям А.Ф.Полака, неоднозначно показывает степень коррозионной активности кислых сред. В связи с этим под руководством П.Г.Комохова разработан метод, основанный на использовании универсального параметра - «агрессивность». Данный параметр имеет размерность скорости (мм/год), как это принято в практике противокоррозионной защиты металлов (глубинный показатель коррозии).

Термозащитные и теплоизоляционные материалы. Различные отрасли народного хозяйства испытывают острую необходимость в футеровочных огнеупорных материалах, весьма дефицитных из-за использования дорогостоящего сырья. Другая проблема - обеспечение долговечности, то есть сохранения первоначального их качества в условиях высоких температур и сочетания этих факторов. Исследования Самарской строительной академии позволили разработать способ подбора композиции термозащитных материалов, использования монолитных футеровок в виде жаростойких бетонов. Выбор жаростойких связующих и заполнителей производится исходя из условий службы футеровок, то есть с учетом агрессивности среды. Подбор жаростойкой композиции (цементный камень, раствор, бетон) следует производить по минимальной величине электропроводности при высоких температурах. Оптимизация связующих осуществляется с помощью различных огнеупорных тонкомолотых добавок. Целью проектирования состава может быть выбрана электропроводность как определяющий фактор, от которого зависят другие свойства: прочность в нагретом состоянии, термостойкость, температурная деформация под нагрузкой, химическая стойкость.

Конструирование высокотемпературных устройств неразрывно связано с созданием новых материалов, к которым относятся стойкие к термоударам покрытия, выполненные на подложках из жаростойких сплавов. В настоящее время широко распространены покрытия на основе кремнийорганических полимеров, наполненных порошками тугоплавких материалов. Однако такие покрытия не обладают достаточной адгезией, обеспечивающей стойкость в усло-

виях многократных термоударов со скоростью подъема температуры 1000 °С /с и выше. С целью повышения адгезии Пензенским инженерно-строительным университетом рекомендуется вводить в полимеры комплексную добавку - этилацетоацетат (Сб НьюОз) или диацетилметан ($C_5H_8O_2$). Эффект повышения адгезии обеспечивается образованием комплексных хелатных соединений, возникающих при взаимодействии добавки с металлической подложкой. Хелатообразование характерно лишь для металлов с переменной валентностью (железа, никеля, титана, хрома, молибдена и других), которые входят в состав жаростойких сплавов. Хелатные соединения, прочно связываясь с атомами металла за счет образования оксидных связей, своими органическими радикалами взаимодействуют с молекулами полимера. По существу они образуют буферную зону, обеспечивающую повышение адгезии.

Формирование покрытия происходит следующим образом. Полимерная сырьевая смесь наносится на поверхность металла. В процессе обжига исходного покрытия при термоударе в рабочих условиях применения устройства (например, в момент пуска газовой турбины) происходит выгорание его органической части и образование матричного жесткого каркаса из оксидов, карбидов и нитридов кремния. В свою очередь частицы оксидов кремния и алюминия, входящие в состав смеси порошков наполнителя, взаимодействуют с матричным каркасом и, спекаясь с ним, образуют зернистый силикатный и алюмосиликатный керамический материал.

В результате исследований НИИ вяжущих веществ и материалов имени В.Д. Глуховского получены жаро- и теплоизоляционные материалы путем направленного формирования заданного фазового состава новообразований. Материалы представляют собой алюмосиликатные композиции на основе высокомодульных натриевых растворимых стекол и глиноземосодержащего компонента. Термозащитные покрытия наносятся как на металл, так и на керамическую подложку. Особенностью этих материалов является то, что после нанесения композиции на подложку и термообработки при температуре 500...800 °С происходит вспучивание покрытия с увеличением объема в 15...20 раз. Полученный материал ячеисто-сотовой структуры характеризуется гладкой наружной поверхностью. Модифицирование алюмосиликатных композиций различными гидратсодержащими наполнителями способствует расширению диапазона использования данных покрытий. Изменяя минералогический состав исходных компонентов, возможно варьировать величиной коэффициента вспучивания от $k_v=15$ до $k_v=30$ и коэффициента теплопроводности $\lambda, =0.2 \dots 0.4$ ВтУ(м-К).

Санкт-Петербургским инженерно-строительным университетом разработан состав огнеупорного покрытия для металлических конструкций, главными компонентами которого являются портландцемент и вермикулит. Целостность покрытия при пожаре, антикоррозионные свойства, надлежащее сцепление с основанием обеспечиваются введением добавок. Материал представляет собой

сухую смесь, затворяемую водой перед применением. Нанесение может осуществляться механическим набрызгом или вручную.

Ульяновским техническим и Санкт-Петербургским инженерно-строительным университетами разработана технология получения крупноразмерных керамических теплоизоляционных изделий. Она основана на использовании плотных упаковок пористых заполнителей в составах смесей, способов снижения водопоглощения заполнителей, состава смесей, применении безвибрационных способов формования изделий, их сушки и обжига в электрических печах, использовании вакуума.

Для защиты древесины от огня в НИИВМ им. В.Д. Глуховского разработано огнезащитное покрытие на основе щелочного алюмосиликатного связующего и термостойкого минерального наполнителя. Разработанный состав покрытия характеризуется следующими параметрами: условной вязкостью связующего по ВЗ 246 32 ... 40 с, жизнеспособностью 24 часа, водостойкостью, огнестойкостью 1100 °С и высокой адгезией к древесине. Состав не токсичен при нанесении и эксплуатации.

Покрытие обладает повышенной огнестойкостью, низкой материалоемкостью, не токсично по сравнению с традиционно используемым фосфатным покрытием.

Заслуживает внимания теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна и щелочного алюмосиликатного связующего, полученный по новому способу. Материал получают методом вакуумной экструзии с применением «вакуумного удара», заключающегося в попеременной герметизации образца и снятии этой вакуумной защиты. Данным методом получены, наряду с жесткими по виду изделиями, мягкие и полужесткие, в то время как на традиционных минеральных связующих возможно получение только изделий повышенной жесткости и твердых.

В сравнении с аналогичными теплоизоляционными изделиями на органических связующих разработанный материал имеет следующие преимущества: долговечен, не токсичен, не горюч, может использоваться в более широком интервале - от минус 40 °С до 800 °С, имеет более низкую стоимость.

Гидроизоляционные покрытия. При назначении композиций для защитных покрытий строительных конструкций необходимо не только обеспечивать стойкость материала в среде эксплуатации, но и гарантировать его трещино-стойкость. Известно, что трещины развиваются в структурно неоднородной среде с остаточными микро- и макрополями деформаций и напряжений. Микрополя остаточных деформаций формируются на уровне структурной неоднородности и определяют движение фронта развивающейся трещины и её микротраекторию. Макрополя остаточных деформаций и напряжений определяются составом, условиями получения и твердения материала, а также геометрическими особенностями изделия и определяют общие направления развития трещины. Поэтому при проектировании составов композиций для защитных

покрытий необходимо учитывать влияние микро- и макронапряженного остаточного состояния на трещиностойкость материала покрытий. Киевским научно-производственным объединением по разработке и оптимизации производства полимерных композиций «Изотех» создана фасадная краска «Пинлак».

Выпускается полимерная фасадная краска «Пинлак» для декоративной отделки и защиты ограждающих конструкций зданий и сооружений из бетона, кирпича и дерева. Краска обладает высокой адгезией и повышенной трещиностойкостью, что значительно продлевает сроки ее эксплуатации. Рациональное сочетание двух полимеров, входящих в состав краски, выгодно отличает ее по долговечности и светостойкости от выпускаемых в настоящее время в странах СНГ и за рубежом.

Формирование полимерных покрытий на основе водных дисперсий (латексов) происходит в результате испарения воды, приводящего к возрастанию объемного содержания полимера, склеиванию его глобул с частицами минерального наполнителя. Воронежским инженерно-строительным университетом выполнены работы по введению в состав наполненных дисперсий структурообразующих тиксотропных добавок в виде растворов акрилодержащих синтетических загустителей. Эффективность их применения заключается в препятствовании оседания грубодисперсного наполнителя и стеканию композиции при нанесении ее распылением на отделываемые поверхности, а также позволяет повысить атмосферостойкость отделочных покрытий.

Разработанные отделочные составы представляют собой пастообразные композиции грубодисперсных наполнителей и пигментов в загущенных водных дисперсиях пленкообразующих карбосшгакатных латексов. В качестве грубодисперсных наполнителей используется смесь фракционного кварцевого и вспученного перлитового (керамзитового) песка или дробленые отходы керамического производства с размером зерен 0.315 ... 2.5 мм. Введение в состав композиций пористых наполнителей позволяет улучшить фактуру и обеспечить высокую стойкость к воздействию циклических температурно-влажностных факторов (более 150 циклов попеременного увлажнения - высушивания и более 100 циклов попеременного замораживания - оттаивания), надежно защищают стеновой материал от увлажнения (водонепроницаемость при подсосе не превышает 3.5 кг/м^2), имеют высокие адгезионные свойства (прочность сцепления не менее 1.5 МПа) и цветостойкость (более 300 часов ультрафиолетового облучения).

В последнее время разработаны эффективные гидроизоляционные мастики на основе госсиполовой смолы и электротермофосфорного шлака. В качестве ингредиентов смесей для гидроизоляционных мастик приняты региональные источники сырья в виде отходов переработки хлопкового масла и производства фосфорных удобрений. А именно: госсиполовая смола, представляющая собой смесь триглицеридов, жирных кислот, красящих веществ и продук-

тов полимеризации и электротермофосфорный шлак, состоящий в основном из стекла псевдоволокнистого состава (S5...95 %).

Московским государственным архитектурно-строительным университетом разработаны кремнийорганические покрытия на основе соединений 136-323 (1) и 136-323 (2), выпускаемых химической промышленностью России, а свойства не отличаются от традиционной, но дефицитной 136-41.

Кремнийорганическое покрытие имеет ряд преимуществ, среди которых для конструкций существенно важно повышение морозостойкости, трещиностойкости защищаемого бетона, улучшение его теплозащитных свойств за счет уменьшения сезонных влагонакоплений и работы ограждения в режиме сушки, уменьшение грязеудержания и пожароопасности.

Разработка долговечных защитных покрытий может быть реализована путем исключения из состава покрытий органических связующих, склонных к старению и чувствительных к атмосферным воздействиям. Разработанные НИИВМ им. В.Д. Глуховского составы гидроизоляционных мастик на основе щелочного алюмосиликатного связующего характеризуются высокими прочностными и адгезионными свойствами, термической и коррозионной устойчивостью, газо- и водонепроницаемостью. Прочность материала составляет 20...50 МПа, адгезионная прочность 1...8 МПа, водонепроницаемость более 3.0 МПа, морозостойкость 50 ...300 циклов.

Покрывтия для ядерной, радиационной и экологической безопасности. Защитные свойства бетона-консерванта обеспечиваются формированием в структуре системы дырочных микроцентров как ловушек радионуклидов и фильтров продуктов радиолиза воды, исключаящих возможность образования «гремучего» газа - опасного источника разрушения бетона. Научная концепция конструирования состоит в обеспечении прочной, долговечной газонепроницаемой и водонепроницаемой матрицы бетона.

Технология производства защитного бетона, разработанная Петербургским государственным университетом путей сообщения, включает: применение среднеалюминатного портландцемента марки 400-500; введение дисперсного наполнителя цемента и заполнителя бетона (песка и щебня) одинакового происхождения по химии поверхности и физике твердого тела; использование комплексных добавок ПАВ (пластификаторы и воздухововлекающие добавки).

Структура бетона по плотности обеспечивается непрерывно дискретным соотношением предельных размеров зерен наполнителя и заполнителей как мобилизационных энергетических барьеров экранирующего действия от радиации, способных к абсорции и диффузии продуктов радиолиза воды или к химическому взаимодействию с ними как активными элементами твердеющей системы.

Твердение бетона под воздействием радиации Co-60 при интегральной дозе облучения 3000 М_{рад} характеризуется радиационным упрочнением в 1.5 раза относительно бетона нормального твердения, высокой газопроницаемо-

стью - 3.8 г/см^3 (на порядок выше контрольного состава) и водонепроницаемостью 10 атм.

Экологическая ситуация, обусловленная накоплением радиоактивных отходов (РАО) в ряде регионов стран СНГ, выдвигает проблему их экологически безопасной локализации в число первоочередных государственных задач. В НИИВМ им. В.Д. Глуховского проведены работы по отверждению жидких отходов с высоким содержанием солей щелочных элементов, к которым относятся жидкие РАО реакторы типа ВВЭР и РБМК.

Для иммобилизации радиоактивных продуктов переработки в водоустойчивые материалы, пригодные для экологически безопасного захоронения, разработаны способы их отверждения в синтетические минеральные материалы, в которых щелочные радионуклиды являются химическими связанными в составе цеолитоподобных новообразований. Во всех этих материалах процессы отверждения моделируют природные процессы минералообразования с включением в эти новообразования щелочных металлов.

Разработанные технологии отверждения жидких РАО по сравнению с используемыми в настоящее время (битумирование, цементирование и остекловывание) обладают рядом преимуществ: более высокой степенью связывания щелочных радиоактивных элементов Cs-137 при высоком соленаполнении, повышенными физико-механическими показателями, энергетическими и экономическими показателями.

С развитием атомной энергетики и увеличением числа предприятий, в технологических процессах которых используются радиоактивные вещества и разнообразные источники ионизирующих излучений, в России растет экологическая опасность. В связи с этим необходимо создание различных защитных экранов, бассейнов, контейнеров, резервуаров для работы, содержания, транспортирования и захоронения радиоактивных веществ и отходов.

Магнезиальные горные породы и попутные продукты горнорудной промышленности имеют пониженную проницаемость от воздействия гамма- и нейтронного излучения. Массовые коэффициенты ослабления гамма-излучений уменьшаются на 1.5 ... 3.0 %; толщина слоя половинного ослабления снижается на 15 ... 30 % по сравнению с глиной, гранитом, базальтом. Длина выведения нейтронов для исследуемых материалов на 10 ... 20 % меньше, чем у обычных (немагнезиальных) горных пород. Бетоны на заполнителях из магнезиального сырья отличаются повышенной плотностью ($2900 \dots 3200 \text{ кг/м}^3$) и имеют толщину слоя половинного ослабления гамма-излучения 6.3 ... 6.4 см, что на 14 ... 18 % ниже обычных бетонов, и уступают лишь бетонам с добавкой хрома.

Для отверждения радиоактивных отходов среднего и низкого уровня активности достаточно широко применяется метод цементирования. В то же время материалы на основе цемента могут быть использованы для изготовле-

ния контейнеров для хранения отходов, а также при сооружении хранилищ радиоактивных отходов.

Стеклобетон является материалом, который позволяет варьированием состава получать композиции с высокими физико-механическими и физико-химическими характеристиками: прочностью, сопротивляемостью удару, трещиностойкостью, атмосфере- и морозостойкостью, огнестойкостью, коррозионной стойкостью, гидроизоляционными и рядом других специальных свойств. Использование этих композиций в качестве первичного или вторичного инженерных барьеров с целью предотвращения выхода радионуклидов в окружающую среду обуславливает интерес к ним.

Антифрикционные, демпфирующие материалы. В настоящее время в мировой практике широко применяются принципы изоляции частей конструкций друг от друга с целью регулирования в них усилий от временных нагрузок. Во многих сооружениях фрикционное соединение элементов является необходимым и используется традиционно, например, скользящие опорные части в мостах. Для сооружений, подверженных экстремальным динамическим нагрузкам, фрикционные элементы применяются сравнительно недавно в элементах сейсмоизоляции. Основными проблемами фрикционных элементов является обеспечение их устойчивой работы при незначительных нагрузках и циклических нагружениях, износ трущихся пар. Новый фрикционный композиционный неполимерный материал представляет собой тонкую ткань из углеродных волокон, пропитанную специальным графитосодержащим составом. Толщина ткани составляет около 0,5 мм, коэффициент трения ткани по стали составляет 0.03 ... 0.07, то есть не уступает традиционно применяемым фрикционным элементам из фторопласта.

В качестве опорных элементов в сейсмостойком строительстве эффективны синтетические материалы. Существующий опыт применения синтетических опорных частей для устройства систем сейсмоизоляции и сейсмогашения автодорожных мостов показал характеристики опорных частей из резины и из полиуретана.

Введение в полимерные композиции, например, на основе эпоксидных смол, низкомодульных заполнителей оказывает благоприятное влияние на демпфирующие свойства. В качестве низкомодульных наполнителей могут применяться диатомит, шлак, графит, резиновая крошка. Оптимальное количество наполнителей составляет 10 ... 20 %. При замене части высокомодульных заполнителей (молотый кварцевый шлак, диабаз) на низкомодульные демпфирующие свойства возрастают на 30 ... 50 %, статическая прочность практически не меняется.

Материалы на основе полиуретана и низкомодульных наполнителей целесообразны при проектировании и строительстве опорных частей мостов, опор сейсмоизолированных зданий, элементов противоударных устройств на мостах и причальных сооружениях.

Актуальной проблемой, стоящей перед современным строительством, является разработка эффективных материалов и конструкций, обладающих наряду с высокими физико-механическими повышенными демпфирующими свойствами для сейсмоизоляции зданий и сооружений, а также для устройства виброгасящих фундаментов под здания и технологическое оборудование. В НИИВМ им. В.Д.Глуховского получены составы демпфирующих материалов на основе шлакощелочных вяжущих, которые обладают в 1.5 ... 2 раза большей демпфирующей способностью, чем портландцементы и бетоны. Демпфирующие свойства шлакощелочных композиций изменяются в значительных интервалах при введении в шлакощелочные вяжущие водорастворимых полимеров: поливинилоацетатной эмульсии (ПВА), латекса и др.

Список литература

1. Боженков П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология. - М.: Изд-во АСВ, 1994. - 264 с.
2. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. - М.: Высш.шк., 1989. - 384 с.
3. Комохов П.Г., Грызлов В.С. Структурная механика и теплофизика легкого бетона. - Вологда: Изд-во Вологод. науч. центра, 1992. - 321 с.
4. Максимов С.В. Керамобетонные изделия. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1994.-152с.
5. Новиков В.У. Полимерные материалы для строительства: Справочник. - М.: Высш.шк., 1995.-448 с.
6. Попеско А.И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии/ СПб. гос. архит.-строит. ун-т. - СПб., 1996. -182 с.
7. Рыбьев И.А. Общий курс строительных материалов. - М. :Высш. шк., 1987. - 584 с.
8. СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия». - М.: Стройиздат, 1990.-56 с.
9. Торопов Н.А. Химия силикатов и окислов: Избранные труды. - Л.: Изд-во «Наука», Ленинград, отд., 1974. -440 с.
10. Грушман Р.П. Справочник теплоизолировщика. -Л.:Стройиздат, 1980. - 184с.
11. Понченко С.Н. Справочник по гидроизоляции сооружений. -Л.: Стройиздат, 1975.-232 с.
12. Покровский В.М. Гидроизоляционные работы. -М.: Стройиздат, 1985. - 320с.
13. Баратов А.Н. Пожарная опасность строительных материалов. -М.: Стройиздат, 1988. -380 с.

Учебное издание

МАКСИМОВ Сергей Валентинович
КОМОХОВ Павел Григорьевич
ЗВЕРЕВ Виктор Борисович

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Редактор Н.А.Евдокимова

Лицензия ЛР №0716188 ОМ 01.04.98. Подписано в печать
10.08.2000. Формат 60х84/16. Бумага писчая. Усл. печ. л. 10, 47.
Уч. - изд. л. 10,10. Тираж 1000 экз. Заказ ЮВВ

Издательство Ассоциации строительных вузов 126337, Москва,
Ярославское ш., 26 Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев.
Венец,32.