

В. С. Лесовик, А. М. Гридчин, Н. И. Алфимова

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691(075)

ББК 38.3я7

Л 50

Рецензенты: д-р. техн. наук, проф. П. Г. Комохов (ПГУПС, г. Санкт-Петербург)
д-р. техн. наук, проф. Ю. Г. Иващенко (СГТУ, г. Самара)

Лесовик, В. С.

Л 50 Строительные материалы и изделия: учебное пособие / В. С. Лесовик, А. М. Гридчин, Н. И. Алфимова. – Белгород : Изд-во БГТУ, 2011. – 223 с.

ISBN 978-5-361-00161-3

В учебном пособии рассматриваются классификации, а также области применения основных видов строительных материалов. Показана взаимосвязь состава сырья, структуры, свойств и особенностей технологических процессов получения строительных материалов при производстве изделий и конструкций.

Издание рекомендуется для студентов очной и заочной форм обучения высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Строительство».

УДК 691(075)

ББК 38.3я7

ISBN 978-5-361-00161-3

© Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	8
Задания для самопроверки	11
2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	12
2.1. Физические свойства	12
2.2. Механические свойства	22
2.3. Химические, физико-химические и технологические свойства	25
2.4. Долговечность и надежность	27
2.5. Оценка качества материалов	27
Задания для самопроверки	28
3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	29
3.1. Породообразующие минералы	30
3.2. Магматические горные породы	34
3.3. Осадочные горные породы	35
3.4. Метаморфические горные породы	36
3.5. Изделия из природного камня	37
Задания для самопроверки	38
4. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	39
4.1. Сырье для производства керамических материалов	40
4.2. Производство керамических материалов и изделий	41
4.3. Свойства керамических изделий	43
4.4. Керамические материалы и изделия	43
Задания для самопроверки	46
5. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ	47
5.1. Воздушные вяжущие	48
5.1.1. Строительная воздушная известь	48
5.1.2. Гипсовые вяжущие	50
5.1.3. Магнезиальные вяжущие	54
5.1.4. Растворимое (жидкое) стекло	55
5.2. Гидравлические вяжущие	56
5.2.1. Гидравлическая известь	56
5.2.2. Портландцемент	57
5.2.3. Смешанные вяжущие вещества со специальными свойствами	62
Задания для самопроверки	66
6. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ	67
6.1. Классификация бетонов	67
6.2. Материалы для бетона	69
6.3. Свойства бетонной смеси	86
6.4. Основные свойства бетона	87
6.5. Проектирование состава бетона	88
6.6. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси	92
6.7. Специальная обработка бетонов	93
6.8. Высококачественный бетон	94
6.9. Мелкозернистый бетон	98
6.9.1. Сырье	99
6.9.2. Способы формования	103
6.10. Фибробетон	105
6.10.1. Виды фибры	106

6.10.2. Сравнительные характеристики различных типов фибр	111
6.10.3. Принципы создания высококачественных фибробетонов	112
6.10.4. Применение фибробетона	113
6.11. Ячеистые бетоны	116
6.12. Сборные железобетонные изделия и конструкции	121
6.13. Изготовление сборных ЖБИ	125
6.13.1. Стеновая технология	126
6.13.2. Поточно-агрегатный способ	127
6.13.3. Конвейерный способ	127
6.14. Технология монолитного железобетона	127
6.15. Специальные виды бетонов	129
Задания для самопроверки	132
7. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ	133
7.1. Материалы для производства асбестоцементных изделий	133
7.2. Производство асбестоцементных изделий	135
7.3. Свойства асбестоцемента	138
7.4. Виды асбестоцементных изделий	139
Задания для самопроверки	140
8. СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ	141
8.1. Области применения сухих строительных смесей	142
8.2. Технология получения сухих строительных смесей	143
Задания для самопроверки	148
9. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	149
9.1. Свойства растворных смесей	149
9.2. Свойства растворов	150
9.3. Разновидности растворов	151
9.4. Приготовление и транспортирование растворных смесей	152
Задания для самопроверки	153
10. МАТЕРИАЛЫ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ	154
Задания для самопроверки	157
11. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ	158
11.1. Строение древесины	158
11.2. Свойства древесины	159
11.3. Пороки древесины	161
11.4. Повышение долговечности	164
11.5. Древесные породы	165
11.6. Лесоматериалы и изделия из древесины	166
11.7. Сборные дома и клееные деревянные конструкции	168
Задания для самопроверки	172
12. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ	173
12.1. Асфальтовые растворы и бетоны	174
12.2. Битумные кровельные материалы	175
12.3. Дегтевые кровельные материалы	176
12.4. Битумно-полимерные кровельные материалы	177
12.5. Кровельные гидроизоляционные мастики	179
12.6. Эмульсии	179
12.7. Гидроизоляционные материалы	179
12.8. Герметизирующие материалы	182
Задания для самопроверки	185

13. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	186
13.1. Способы поризации материалов	187
13.2. Разновидности органических теплоизоляционных материалов	188
13.3. Разновидности неорганических теплоизоляционных материалов	189
13.4. Полимерные теплоизоляционные материалы	190
Задания для самопроверки	193
14. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	194
14.1. Звукопоглощающие материалы	194
14.2. Звукоизоляционные материалы	195
Задания для самопроверки	196
15. ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА	197
15.1. Основы производства изделий из стекла	197
15.2. Разновидности изделий из стекла	200
15.3. Ситаллы и шлакоситаллы	202
15.4. Литые каменные материалы	203
Задания для самопроверки	204
16. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС	205
16.1. Свойства пластмасс	205
16.2. Материалы для покрытия полов	206
16.3. Конструкционные материалы	207
Задания для самопроверки	208
17. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	209
17.1. Классификация лакокрасочных материалов	209
17.2. Компоненты для производства лакокрасочных материалов	209
17.3. Красочные составы	212
17.4. Вспомогательные материалы	214
Задания для самопроверки	214
18. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	215
18.1. Функциональные свойства отделочных материалов	215
18.2. Строительно-эксплуатационные свойства	216
18.3. Материалы для отделки	217
Задания для самопроверки	219
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	221

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Строительные материалы и изделия» в учебном плане подготовки строителей является одной из первых инженерных дисциплин, которая создает необходимую базу для изучения дисциплин, таких, как строительные конструкции, технология строительного производства, экономика и организация строительства, архитектура и др. Поэтому роль и значение материалов рассматриваются в неразрывной связи с их работой и поведением в изделиях и конструкциях зданий и сооружений за длительный период эксплуатации в реальных условиях.

Последние годы ассортимент строительных материалов претерпел существенное изменение как за счет импортных материалов, так и за счет освоения производства новых материалов отечественными предприятиями. Общая тенденция в производстве строительных материалов – выпуск материалов и изделий с максимальной степенью готовности для использования. Это касается не только традиционных сборных железобетонных элементов (панелей, плит перекрытий и т. п.), но и отделочных, кровельных и других специальных материалов. Использование таких материалов позволяет свести работы на месте строительства к простейшим монтажным операциям, что вкупе с разнообразным электроинструментом и вспомогательными материалами – крепежными, клеящими и тому подобными – ускорит строительство.

Одновременно с индустриальным городским строительством получает развитие малоэтажное, в том числе индивидуальное, поселковое и сельское строительство. Для его обеспечения требуется увеличение выпуска традиционных материалов: кирпича, лесоматериалов, асбестоцементных изделий, а также широкое использование местных строительных материалов.

Одним из приоритетных направлений развития промышленности строительных материалов является решение глобальной проблемы комплексного рационального использования природного и особенно техногенного сырья (попутно добываемых пород и отходов обогащения железистых кварцитов, металлургических шлаков, зол, шламов и т.д.), отвалы которого занимают значительные площади плодородных земель, загрязняют подземные водные горизонты и в целом нарушают экологическое равновесие. Именно комплексный подход, в котором учтены материаловедческие задачи, вопросы совершенствования технологии, подбора и создания нового оборудования, технологических комплексов, обеспечивает успех на данном направлении исследований.

Другая проблема, стоящая перед строителями, – снижение

энергозатрат на отопление зданий. Она может быть разрешена только за счет эффективной теплоизоляции зданий и тепловых сетей, так как удовлетворение новых нормативов СНиП по термическому сопротивлению ограждающих конструкций нереально при применении традиционных материалов.

Для того чтобы правильно использовать строительные материалы, надо знать их свойства и назначение. Изучением свойств материалов занимается материаловедение. В развитие строительного материаловедения большой вклад внесли российские ученые и инженеры. Еще в начале XIX в. по инициативе проф. Н. А. Белелюбского были приняты используемые и поныне стандартные методы оценки свойств строительных материалов (определение марки цементов, морозостойкости и др.). Позднее была разработана теория твердения вяжущих веществ (А. А. Байков, В. Н. Юнг), созданы новые виды вяжущих (П. П. Будников, В. В. Михайлов), разработаны и внедрены в практику новые виды бетонов и растворов (А. В. Волженский, Н. А. Попов, Б. Г. Скрамтаев). Направленностью к обобщениям и интеграции в науку о материалах отличаются исследования О. П. Мчедлова-Петросяна, П. И. Боженова, Ю. М. Баженова, А. В. Нехорошева, П. Г. Комохова, В. С. Лесовика, В. И. Соломатова, Е. И. Чернышева.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Большое количество наименований строительных материалов, которые на данный момент составляют широкую номенклатуру, стремятся представить в виде системных классификаций из более или менее сходных по каким-либо признакам групп. В качестве классификационных признаков выбирают: производственное назначение материалов; вид исходного сырья; способ массового изготовления продукции; основной критерий качества и др. Одна часть материалов, объединенных в группы, относится к природным, а другая – к искусственным.

Природные, или естественные, строительные материалы и изделия получают непосредственно из недр земли или путем переработки лесных массивов в «деловой» лес. Этим материалам придают определенную форму и рациональные размеры, но не изменяют их внутреннего строения, состава, например химического, вещественного. Чаще других из природных используют лесные (древесные) и каменные материалы и изделия. Кроме них, в готовом к употреблению виде или при простой (механической) обработке можно получить: природный битум или асфальт, озокерит, казеин, кир; некоторые продукты растительного происхождения, например солому, камыш, костру, торф, лузгу и другие, или животного мира, например шерсть, коллаген и пр. Все эти природные продукты в сравнительно небольших количествах тоже используют в строительстве.

Для лучшей систематизации природных строительных материалов их разделяют на классы по сходным признакам, классы – по разновидностям пород или изделий. Так, лесные материалы и изделия по породам подразделяют на лиственные и хвойные, по признаку ассортимента – на круглые, пиленные и штучные. Далее они делятся, например, по свойствам, структуре и др. Природные каменные материалы и изделия имеют свою классификацию, в основу которой положен генетический признак, т.е. происхождение горных пород. Их разделяют также по признаку технических свойств – средней плотности, прочности, морозостойкости; по химическому составу, например по содержанию кремнезема – кислые, средние, основные и ультраосновные.

Большое значение в строительстве имеют горные породы вторичного происхождения – осадочные, а среди них – природные конгломераты, брекчии, песчаники и др. Так были названы осадочные горные породы, которые образовались в результате цементации скоплений гальки, гравия, песка и других пород с природным вяжущим веществом. Практическое значение этих пород невелико, однако их характерная структура

(вяжущее цементирует рыхлый минеральный материал) является самой распространенной в искусственных строительных композитах (ИСК).

Искусственные строительные материалы, находящиеся в тесной взаимосвязи между собой, разделяют по главному признаку их отвердевания:

1) материалы, отвердевание которых происходит при обычных, сравнительно невысоких температурах с кристаллизацией новообразований из растворов, а также материалы, отвердевание которых происходит в условиях автоклавов при повышенных температуре (175–200 °С) и давлении водяного пара (0,9–1,6 МПа). Условно те и другие материалы относят нередко к безобжиговым материалам. Часто выделяют автоклавные материалы в самостоятельную группу;

2) материалы, отвердевание которых происходит в основном при остывании огненно-жидких расплавов, выполняющих в структуре функцию вяжущего вещества, или цемента высоких температур. Их нередко относят к обжиговым материалам. Выделение этих двух-трех типов из многообразия материалов является условным потому, что не всегда возможно определить четкую границу между ними, так же, как между отвердевающими растворами и расплавами. Нередко отвердевание происходит при совмещенных процессах кристаллизации и остекловывания растворов и расплавов. Условность указанного деления выражается еще и в том, что в безобжиговых конгломератах применяют обычно обжиговые вяжущие вещества, например портландцемент, известь, гипс и др.

В конгломератах безобжигового типа цементирующие вяжущие представлены неорганическими, органическими, полимерными и комплексными веществами, а в ИСК обжигового типа цементы высоких температур (по выражению А. А. Байкова) представлены расплавами керамическими, шлаковыми, стекломассовым и каменным литьем.

К неорганическим вяжущим веществам относят клинкерные и клинкерсодержащие цементы, гипсовые, магнезиальные и другие; к органическим – битумные и дегтевые вяжущие вещества, производные от них – эмульсии, пасты; группу полимерных веществ представляют термопластичные и термоактивные вещества с последующим более дробным подразделением. Комплексные вещества включают смешанные, компаундированные и комбинированные вяжущие вещества. К смешанным веществам относятся неорганические вяжущие, получаемые путем тщательного смешения двух или нескольких их разновидностей, с порошкообразными добавками или без них; к компаундированным – сплавы или механические смеси нескольких орга-

нических материалов; под комбинированными веществами понимают объединение вяжущего неорганического с органическим или полимерным.

Цементирующая часть обжиговых конгломератов разделяется: на шлаковые расплавы – по химической основности исходного сырья (шлака); керамические расплавы – по характеру и разновидности использованной глины и других компонентов сырья; стекломассовые расплавы – по показателю щелочной шихты; каменное литье – по виду горной породы, поступающей на расплав; комплексные расплавы – по виду соединяемых компонентов: шлакокерамические, стеклослаковые и др. Единая классификация включает широкую сеть ответвлений конгломератных строительных материалов как от вяжущих веществ, так и от расплавов (цементов высоких температур) в связи с применением в них различных заполняющих материалов.

Из клинкерных и клинкерсодержащих цементов изготавливают бетоны, строительные растворы, арболиты и фибролиты, бетоны с полимерным зернистым заполнителем, асбестоцементные материалы и изделия; из гипса – гипсобетоны, арболиты; из магнезиальных вяжущих – фибролиты и ксилолиты; из извести – силикатные бетоны и изделия и строительные растворы; из жидкого стекла – жаростойкие легкие бетоны, кислотоупорные бетоны и др. Получаемые конгломераты подразделяются, в свою очередь, по средней плотности – на особо тяжелые, тяжелые, легкие и особо легкие (ячеистые) бетоны; по производственному назначению – на конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные, теплоизоляционные, гидротехнические, дорожные, жаростойкие и т.п. Разделение этих конгломератов возможно и по другим признакам.

Органические вяжущие вещества позволяют получать конгломераты, отличающиеся по температуре их применения в строительстве, – горячие, теплые и холодные асфальтовые бетоны; по удобообрабатываемости – жесткие, пластичные, литые и др.; по размеру частиц заполнителя – крупнозернистые, среднезернистые, мелкозернистые, песчаные.

Полимерные вяжущие вещества – важные компоненты при изготовлении полимербетонов, строительных пластмасс, стеклопластиков и других материалов, нередко называемых композиционными.

На основе комплексных вяжущих получают конгломераты типа бетонов, например гипсо-цементно-пущолоановые (ГЦП) бетоны и растворы, полимерцементные и силикатоплимерные бетоны; мастики, в том числе герметизирующие – твердеющие и нетвердеющие, горячие и холодные; другие строительные материалы с конгломератным типом структуры.

Обжиговые конгломераты классифицируют по использованию в них расплавов как связующих компонентов. Следует отметить, что эта часть классификации имеет много пока неоткрытых, неизвестных материалов (их места в классификации условно показаны в виде свободных клеток). Перспективными являются конгломераты, которые должны быть получены на основе керамической связки. Среди них уже известны керамобетоны. Изучаются конгломераты на основе стеклосвязки с использованием тугоплавких гранулированных заполнителей и добавочных веществ; шлаколитные бетоны с заполнителями типа термозитов, агломерированных зол, бетонов со связкой из расплавов золы, например ТЭЦ, сланцевых; камнебетоны – на основе связи из лигты с применением в них огнеупорных заполнителей.

Более ограниченное применение в строительстве находят материалы без крупных и мелких заполнителей; их можно отнести к микроконгломератам – цементный камень, асфальтовое вяжущее вещество, мастики, каменный расплав и др.

Классификация ИСК, объединяемая общей теорией, расширяется с появлением новых вяжущих веществ, разработкой новых искусственных заполнителей, новых технологий или существенной модернизацией существующих, созданием новых, в том числе комбинированных, структур. Соответствующие разновидности новых конгломератов заполняют свободные клетки классификации, количество которых неограниченно.

Задания для самопроверки

1. На какие две группы разделяются строительные материалы?
2. Приведите пример природных строительных материалов.
3. Приведите классификацию искусственных строительных материалов.

2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Свойства строительных материалов по ряду признаков можно разделить на четыре основные группы: *физические* свойства, *механические* свойства, *химические* свойства, *долговечность* и *надежность*.

2.1. Физические свойства

Физические свойства материала характеризуют какую-либо особенность его физического состояния или отношение к физическим процессам окружающей среды (действию воды, повышенных и отрицательных температур и т.д.).

Масса – это совокупность материальных частиц (атомов, молекул, ионов), содержащихся в данном теле. Масса обладает определенным объемом, т.е. занимает часть пространства. Тела одинакового объема, состоящие из различных веществ, имеют неодинаковую массу. Для этого введено понятие плотности.

Истинная плотность – отношение массы к объему материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор, каверн, трещин и пустот, присущих этому материалу в его обычном состоянии, кг/м³:

$$\rho_{\text{ист}} = \frac{m}{V_a}, \quad (2.1)$$

где m – масса вещества, кг; V_a – объем вещества в абсолютно плотном состоянии без учета пор и пустот, м³.

Истинная плотность подавляющего большинства неорганических природных и искусственных строительных материалов (кроме металлов) находится в очень узких пределах (2,4–3,1 г/см³). Незначительный диапазон значений плотности связан с местоположением химических элементов, образующих неорганические материалы, в Периодической системе Менделеева. Почти все неорганические строительные материалы при всем их многообразии содержат в основном кремний, алюминий, кальций, магний, кислород. Это и понятно, так как земная кора, из которой мы добываем природные материалы и сырье для искусственных неорганических материалов, на 97 % состоит из соединений кремния – кремнезема, силикатов, алюмосиликатов.

В Периодической системе элементов в одном периоде расположены магний, алюминий, кремний, а в одной группе с магнием – кальций. В соответствии с близкими значениями атомных масс (Mg – 24,3; Al – 26,9; Si – 28,1; Ca – 40,1) Д.И. Менделеев указывал, что химические, а часто и физические свойства веществ, в том числе их плотность, находятся в периодической зависимости от атомных весов элементов.

Плотность органических материалов (древесины, полимеров, битумов) тоже находится в сравнительно узких пределах – от 1 до 1,6 г/см³. Это также связано с расположением важнейших элементов, характерных для органических материалов, в Периодической системе. Так, углерод, азот, кислород соответственно их атомным весам (12,0; 14,0; 16,0) находятся рядом в таблице Менделеева.

Истинная плотность минералов колеблется в широких пределах – от значений меньше, чем 1 г/см³ (озокерит), до 20 г/см³ (осмистый иридий).

Средняя плотность – физическая величина, определяемая отношением массы образца материала к занимаемому им объему в его естественном состоянии с учетом пор, каверн, трещин и пустот, кг/м³:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V}. \quad (2.2)$$

Средняя плотность – величина непостоянная и может меняться для одних и тех же материалов. Например, для бетонов она может колебаться от 200–300 до 2500 кг/м³, а иногда и до 6000 кг/м³. Зависит средняя плотность от пористости, влажности и других факторов. Для некоторых материалов (сталь, стекло) истинная и средняя плотность – величины одинаковые, так как их пористость практически равна нулю. Для большинства материалов средняя плотность имеет меньшую величину, чем истинная. Показатели истинной и средней плотности необходимы, в частности, для подсчета пористости материала.

Иногда вводят понятие относительной плотности, которая выражает отношение средней плотности к истинной:

$$d = \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ист}}}. \quad (2.3)$$

Насыпная плотность – отношение массы сыпучих материалов к единице объема, кг/м³:

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{m}{V}. \quad (2.4)$$

В объем таких материалов включаются не только поры в самом материале, но и пустоты между зернами или кусками.

Пористость – это степень заполнения объема материала порами. Порами называются мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. Размеры их могут быть от миллионных до десятых долей миллиметра.

Строение пористого материала характеризуется следующими показателями:

– общая пористость

$$\Pi_{об} = \left(1 - \frac{\rho_{ср}}{\rho_{ист}} \right) 100\% ; \quad (2.5)$$

– открытая (интегральная, или кажущаяся) пористость, равная суммарному объему всех пор, сообщающихся между собой и с поверхностью образца $\Pi_{от}$;

– закрытая пористость

$$\Pi_з = \Pi_{об} - \Pi_{от}. \quad (2.6)$$

Пористость строительных материалов различна и колеблется в широких пределах, например, для кирпича – 25–35 %, тяжелого бетона – 5–10 %, газобетона – 55–85 %, пенопласта – около 95 %, стекла и стали – 0. Пористость материала определяет такие свойства, как водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость.

Для различных конструкций применяют материалы с разной пористостью. Например, для наружных стен отапливаемых зданий желательны материалы со значительной пористостью, так как они обладают относительно малой теплопроводностью и, следовательно, хорошими теплоизоляционными свойствами. Для некоторых частей гидротехнических сооружений, а также для изготовления бетонных и асбестоцементных водопроводных и канализационных труб, наоборот, требуются малопористые материалы, отличающиеся достаточной водонепроницаемостью.

Часто показатель общей величины пористости является недостаточным для суждения об отдельных свойствах данного материала. Для этого требуется еще знать размеры пор и дифференцировать их по размерам, а также нужно установить, равномерно ли распределены поры в материале. Для определения пористой структуры материалов существуют различные методы: сорбционные, ртутной порометрии, микроскопические.

Пустотность – это объем пустот между зернами заполнителя. Пустоты значительно крупнее пор и всегда отчетливо видны, располагаясь между зернами сыпного материала. При этом вода в пустотах, как правило, не задерживается:

$$\Pi_{уст} = \left(1 - \frac{\rho_{нас}}{\rho_{ист}} \right) 100\% . \quad (2.7)$$

Величина пустотности характерна для таких сыпучих материалов, как песок, гравий, щебень.

Дисперсность и удельная поверхность измельченных материалов. Многие неорганические строительные материалы – гипсовое вяжущее, цемент, глина, пигмент представляют собой дисперсные, т.е. находящиеся в значительной степени раздробленности твердые частицы. Так, в цементах содержится 60–80 % частиц, имеющих размер от 1 до 40 мкм.

Часто получение готовых материалов и изделий, например бетонных, основано на взаимодействии тонких порошков (вяжущего вещества) с водой. Реакции при этом должны протекать по возможности быстро и относительно полно. Одним из важных условий, обеспечивающих реакционную способность примененных порошков, является достаточно высокая степень их дисперсности. Удельную поверхность выражают в $\text{см}^2/\text{см}^3$, т.е. (см^{-1}) или $\text{см}^2/\text{г}$ ($\text{м}^2/\text{кг}$).

Физико-химические свойства поверхностного слоя дисперсных частиц сильно отличаются от свойств этого же вещества «в массе». Тончайший поверхностный слой вещества обладает особым запасом энергии, поэтому с увеличением удельной поверхности вещества возрастает его химическая активность.

Существенное влияние на свойства оказывает дисперсность кварцевого песка при производстве известково-песчаных изделий автоклавного твердения. Существенное значение это имеет и в цементной промышленности при подготовке сырьевого шлама. В технологии строительной керамики тоже часто требуется, чтобы применяемые глины содержали достаточное количество весьма дисперсных твердых частиц.

Для грубо приближенного определения степени дисперсности измельченных материалов пользуются ситовым анализом, т.е. материал просеивается через сито с определенными размерами ячеек. Для более же точного определения имеется ряд методов, из которых наиболее распространенным является оценка удельной поверхности по воздухопроницаемости слоя уплотненного порошка. При этом определяется сопротивление, которое оказывает слой испытуемого материала проходящему через него воздуху.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в себе некоторое количество воды. Водопоглощение выражают или степенью заполнения объема материала водой – водопоглощение по объему W_o , или отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала – водопоглощение по массе W_m .

Объемное водопоглощение характеризует открытую (интегральную или кажущуюся) пористость материала $\Pi_{от}$:

$$W_o = \frac{m_b - m_c}{V} \cdot \frac{1}{\rho_b}, \quad (2.8)$$

где m_b – масса образца в насыщенном водой состоянии, кг; m_c – масса образца в сухом состоянии, кг; ρ_b – плотность воды, кг/м³.

Массовое водопоглощение рассчитывается так:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} 100\% . \quad (2.9)$$

Обычно водопоглощение по объему меньше пористости данного материала, так как вода не проникает в очень мелкие поры, хотя величина молекулы воды может быть во много раз меньше размера «входного отверстия» пор и капилляров. Этот на первый взгляд странный факт объясняется следующим. Молекулы воды, находящейся в жидком состоянии, в отличие от молекул других веществ, соединяются между собой при помощи так называемых дипольных и водородных связей и образуют полимерные ассоциаты. Иначе говоря, молекулы воды движутся крупными комплексами, которые не могут проникнуть в мелкие поры. В качестве пояснения можно привести пример группы людей, взявшихся под руки и стремящихся так пройти в узкую дверь. Под очень сильным давлением или при переходе воды в парообразное состояние ассоциаты молекул воды разрушаются, и тогда она может проникнуть в очень узкие отверстия.

Отношение между объемным водопоглощением и массовым численно равно средней плотности материала:

$$\frac{W_o}{W_m} = \rho_{cp} . \quad (2.10)$$

Соответственно можно от одного водопоглощения перейти к другому, т.е. объемное водопоглощение равно произведению массового водопоглощения на среднюю плотность материала:

$$W_o = W_m \cdot \rho_{cp} . \quad (2.11)$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах и составляет для кирпича – 8–20 %, керамической плитки для полов – до 4 %, тяжелого бетона – 2–3 %, гранита – 0,5–0,8 %, высокопористых материалов – более 100 %. Насыщение материалов водой отрицательно влияет на такие их свойства, как теплопроводность, средняя плотность, прочность, морозостойкость.

Водостойкость – степень снижения прочности материала при его

увлажнении. Характеристикой водостойкости служит коэффициент размягчения, численно равный отношению предела прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии $R_{вл}$ к пределу прочности при его сжатии в сухом состоянии:

$$K_p = \frac{R_{вл}}{R_{сух}}. \quad (2.12)$$

Снижение прочности материала при его увлажнении вызывается рядом причин:

1. Действие адсорбционно-активной среды (эффект Ребиндера).
2. Растворение метастабильных контактов срастания кристаллов, из которых сложен материал.
3. Набухание присутствующих в некоторых материалах глинистых минералов.
4. Уменьшение сил трения и увеличение скольжения между частицами материала.

Коэффициент размягчения для разных материалов колеблется от 0 (необожженные глиняные материалы) до 1 (сталь, стекло, битум). Материалы с коэффициентом размягчения более 0,8 принято относить к водостойким.

Влажность. Она определяется содержанием влаги, отнесенным к массе материала в сухом состоянии. Влажность зависит как от свойств материала (пористости и др.), так и от окружающей среды (влажности воздуха и др.).

Влагоотдача – свойство материала отдавать влагу окружающему воздуху, характеризуемое количеством воды, теряемой материалом в сутки при относительной влажности окружающего воздуха 60 % и температуре 20 °С. Это свойство важно для стеновых материалов и штукатурных составов.

Гигроскопичность – свойство капиллярно-пористых материалов поглощать из воздуха водяные пары и влагу при увеличении влажности окружающего воздуха. При этом происходит капиллярная конденсация, т.е. сжижение пара в жидкость в капиллярах (узких порах). Если сорбция водяного пара сопровождается химическим взаимодействием с материалом, то такой процесс называют хемосорбцией. Иногда хемосорбция влаги вредна. Так, портландцемент, гипсовые вяжущие вещества при длительном хранении портятся, теряя активность, а иногда даже превращаются в комья.

Поглощение влаги приводит к снижению прочности, увеличению теплопроводности и средней плотности материала.

Водопроницаемость – свойство материала пропускать воду под давлением. Величина водопроницаемости характеризуется количеством воды, прошедшей в течение 1 ч через 1 см² площади испытуемого материала при постоянном давлении. К водонепроницаемым относятся особо плотные материалы: сталь, битум, стекло, а также специально изготовленные материалы, такие, как, например, водонепроницаемый бетон.

Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Плотность воды при 0 °С составляет 0,9999, а льда при той же температуре – 0,9168 г/см³. При замерзании вода увеличивается в объеме почти на 9 %. Считают, что лед образован преимущественно молекулами тригидроля (H₂O)₃. Эти молекулы в массе отличаются более «рыхлой упаковкой», чем молекулы капельно-жидкой воды, поэтому ее объем при замерзании увеличивается, в результате чего возникает давление на стенки пор, достигающее при некоторых условиях нескольких десятков или сотен МПа. В замкнутом пространстве это приводит к тому, что твердое тело испытывает большие механические напряжения, которые могут привести к его разрушению. Так, уже при однократном замораживании воды в стальных трубах они разрываются.

По-иному происходит замерзание воды в бетоне, кирпиче и других материалах, представляющих собой капиллярно-пористые тела. Мелкие поры в таких материалах служат как бы резервными емкостями, куда часть воды отжимается при замораживании материала, не вызывая вредного механического воздействия на его скелет.

При многократном же попеременном замораживании и оттаивании строение материала нарушается, он разрыхляется, теряет прочность, а иногда даже распадается на отдельные куски.

Морозостойкость пористых материалов с одной и той же открытой пористостью определяется характером структурной пористости и условиями эксплуатации изготовленных из них конструкций. Морозостойкость пористых материалов тем выше, чем меньше их водопоглощение и чем больше прочность при растяжении. Плотные материалы с незначительной открытой пористостью, водопоглощение которых не превышает 0,5 %, обладают высокой морозостойкостью.

Температура в морозильной камере при испытаниях равна –16 °С ±1 °С, оттаивание производится в воде температурой 20 °С. Материал признают морозостойким, если после заданного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания потеря массы образ-

цов не превышает 5 %, а прочность снижается не более чем на 25 %. По числу выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания материалы подразделяют на марки: F 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и более.

К материалам, в зависимости от условий их работы, предъявляются различные требования по морозостойкости: F керамического кирпича – не менее 15 циклов; F гидротехнического бетона – 500 циклов и более.

Паро- и газопроницаемость – свойство материала пропускать через свою толщину под давлением водяной пар или газы (воздух). Указанные характеристики учитываются при проектировании наружных стен и покрытий зданий.

Теплопроводность – свойство материала передавать через толщину теплоту при наличии разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Теплопроводность материала оценивается количеством теплоты, проходящей через стену из испытуемого материала толщиной 1 м площадью 1 м² за 1 ч при разности температур на поверхностях стены 1 °С. Теплопроводность обозначается λ и измеряется в Вт/(м · °С).

Теплопроводность зависит от многих факторов, таких, как пористость, влажность, строение материала, и колеблется в широких пределах, например для тяжелого бетона – 1,3–1,6 Вт/(м · °С); керамического кирпича – 0,8–0,9 Вт/(м · °С); минеральной ваты – 0,06–0,09 Вт/(м · °С).

В пористых материалах тепловой поток проходит через твердый остов и воздушные ячейки. Из всех природных и искусственных веществ наименьшей теплопроводностью обладает воздух. Особенно мала теплопроводность «неподвижных» пузырьков воздуха, заключенного в мелких порах.

Теплопроводность воды в 25 раз выше, чем теплопроводность воздуха, и поэтому при увеличении влажности материала увеличивается его теплопроводность.

Точное значение теплопроводности определяют экспериментально. На практике же удобно судить о теплопроводности материала по его плотности. Зависимость теплопроводности материала от влажности и средней плотности приведена на рис. 2.1.

Термическое сопротивление ограждающих конструкций R [(м² · °С)/Вт] определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2.13)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – теплопроводность слоя материала, Вт/(м · °С).

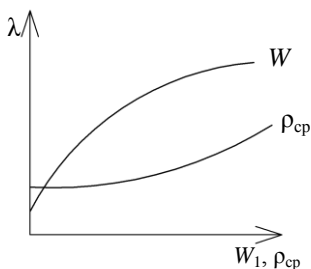


Рис. 2.1. Зависимость теплопроводности λ от влажности W и средней плотности $\rho_{\text{ср}}$

Термическое сопротивление – важнейшая характеристика качества наружных ограждающих конструкций, связанная с теплопроводностью материалов конструкции; от нее зависят толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий.

Температурное расширение – это способность материала расширяться вследствие нагревания. Температурное расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения, показывающим, на какую долю первоначальной длины расширился материал при повышении температуры на 1°C . Коэффициент линейного расширения часто выражают в $\text{м}/^\circ\text{C}$. Так, для бетона этот коэффициент составляет $(10\text{--}14)10^{-6}$; для древесины вдоль волокон – $(3\text{--}5)10^{-6}$; для стали – $(11,0\text{--}11,9)10^{-6}$.

Теплоемкость – свойство материала поглощать при нагревании определенное количество теплоты и выделять ее при охлаждении. Теплоемкость обозначается C и измеряется в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Для каменных материалов она равна $0,75\text{--}0,92$, у древесины – $2,4\text{--}2,7$, у стали – $0,48$, у воды – $4,187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Огнестойкость – способность материала противостоять действию высоких температур (до 1000°C) в короткий промежуток времени, например во время пожара. Материалы делятся на негорючие, труднотгораемые и сгораемые.

Негорючие материалы в условиях высоких температур не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию. При этом некоторые из них почти не деформируются (кирпич, черепица), другие могут сильно деформироваться (сталь) или разрушаться (асбестоцемент, некоторые природные каменные материалы).

Труднотгораемые материалы под действием высоких температур тлеют и обугливаются, но при удалении огня эти процессы прекращаются. К таким материалам относятся фибролит, асфальтобетон, арболит и др.

Сгораемые материалы тлеют, воспламеняются и горят под действием огня или высоких температур, причем горение или тление продолжается также после удаления источника огня. Это, как правило, органические материалы. Среди них древесина, войлок, битум, некоторые пластмассы.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высоких температур, не расслаиваясь и не деформируясь. По степени огнеупорности материалы делятся на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. Огнеупорные материалы выдерживают температуру свыше 1580 °С, тугоплавкие – 1350–1580 °С и легкоплавкие – до 1350 °С.

Основные физические свойства строительных материалов в воздушно-сухом состоянии, по данным проф. Ю.М. Баженова, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Основные физические свойства строительных материалов
в воздушно-сухом состоянии (по данным проф. Ю.М. Баженова)**

Наименование материала	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м · °С)
	Истинная	Средняя		
Бетон:				
тяжелый	2,60	2,40	10,0	1,16
легкий	2,60	1,00	61,5	0,35
ячеистый	2,60	0,50	81,0	0,20
Кирпич:				
обыкновенный	2,65	1,80	32,0	0,80
пустотелый	2,65	1,30	51,0	0,55
Природный камень:				
гранит	2,70	2,67	1,4	2,80
вулканический туф	2,70	1,40	52,0	0,50
Стекло:				
оконное	2,65	2,65	0	0,58
пеностекло	2,65	0,30	88,0	0,11
Полимерные материалы:				
стеклопластик	2,00	2,00	0	0,50
минипора (вспененный полимер)	1,20	0,015	98,0	0,03
Древесные материалы:				
сосновые доски	1,53	0,50	67,0	0,17
древесно-волокнистая плита (ДВП)	1,50	0,20	86,0	0,06

2.2. Механические свойства

Механические свойства выражают способность материала сопротивляться напряжениям силовым (от механических нагрузок), тепловым, усадочным или другим без нарушения установившейся структуры. Чаще всего напряжение обусловлено внутренней механической силой, а его числовая величина определяется как отношение силы к единице площади.

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. Обратимые полностью исчезают при прекращении действия на материал вызвавших их факторов. Необратимые деформации, или остаточные, называемые также пластическими, накапливаются в период действия этих факторов, после их снятия деформации сохраняются. Обратимые деформации, исчезающие мгновенно и полностью, называются *упругими*; исчезающие в течение некоторого времени – *эластическими*.

Деформации могут быть также *сложными* – упруго-пластическими или упруго-вязко-пластическими, если достаточно четко выражены соответственно упругая и пластическая или упругая, эластическая и пластическая части.

На характер и величину деформации влияют не только величина механического нагружения, но и скорость приложения этой нагрузки, а также температура материала. Как правило, с повышением скорости нагружения, а следовательно, деформирования, а также с понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругим и упруго-пластическим, уменьшаясь по своей 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 периоды наблюдений, называется деформацией *ползучести*, а процесс такого деформирования – *ползучестью*, или *крипом*.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Различают прочность на сжатие, растяжение, изгиб, срез, кручение.

Прочность твердого тела вообще обусловлена присущими ему силами атомно-молекулярного взаимодействия. Наличие микроскопических трещин, неплотностей и других дефектов структуры, неизбежных в реальных твердых телах, во много раз снижает их прочность в сравнении с теоретически рассчитанной. Дефекты макроструктуры материала также пагубно сказываются на его прочности.

Прочность материала характеризуется пределом прочности. Пределом прочности называют напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит разрушение образца материала.

Предел прочности при сжатии, кгс/см²,

$$R_{сж} = \frac{P}{S}, \quad (2.14)$$

где P – сжимающая нагрузка, при которой произошло разрушение образца, кг; S – площадь поверхности образца, к которой была приложена нагрузка, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей его верхней и нижней граней, см².

Предел прочности при изгибе, кгс/см²,

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2}, \quad (2.15)$$

где P – сжимающая нагрузка, при которой произошло разрушение образца, кгс; l – расстояние между осями опор, см; b – ширина образца, см; h – высота образца, см.

Измеряется прочность в МПа или кгс/см² (1 МПа = 10 кгс/см²). Определяют прочность на специальных образцах в виде куба, призмы, цилиндра, пластинок.

Для различных материалов существуют свои марки по прочности, установленные государственным стандартом.

Коэффициент конструктивного качества ккк характеризуется отношением прочности материала к его средней плотности:

$$ккк = \frac{R}{\rho_{ср}}. \quad (2.16)$$

Чем выше коэффициент конструктивного качества, тем эффективнее материал.

Упругость – свойство материала деформироваться под нагрузкой и принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Упругость характеризуется пределом упругости. К упругим материалам относятся резина, сталь, древесина и др.

Пластичность – способность материала изменять под нагрузкой

форму и размеры без образования разрывов и трещин и сохранять изменившиеся форму и размеры после снятия нагрузки. Это свойство, противоположное упругости. К пластичным материалам относятся глина, нагретый битум и др.

Хрупкость – свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без предварительной деформации. К хрупким материалам относятся стекло, чугун, бетон, керамические материалы и др.

Сопротивление удару – свойство материала сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. Таким нагрузкам подвергаются фундаменты кузнечных молотов, дорожные покрытия, взлетно-посадочные полосы аэродромов.

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него других, более твердых тел, например, при вдавливании стального шарика или конуса, царапании резцом, сверлении, ударах молотка, пулевым выстреле.

Твердость природных каменных материалов определяется по шкале твердости Мооса, содержащей 10 минералов. Самый мягкий из них – тальк, а самый твердый – алмаз. Шкала твердости предложена немецким ученым Ф. Моосом в 1811 г.

Твердость *НВ* таких материалов, как сталь, бетон, древесина, определяют вдавливанием стального шарика под определенной нагрузкой *P* (метод Бринелля):

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}}, \quad (2.17)$$

где *P* – нагрузка на шарик, кгс или Н; *F* – площадь поверхности отпечатка, мм²; *D* – диаметр шарика, мм; *d* – диаметр отпечатка, мм.

Таким образом, эти условные испытания дают значения твердости либо только качественные, например по следу царапания, либо также и количественные – по глубине или площади отпечатка.

Нередко от полученного значения твердости стремятся перейти к величине прочности, хотя устанавливаемые соотношения между твердостью и прочностью тем менее точны, чем пластичнее материал. Только у хрупких тел царапание можно более или менее адекватно сравнивать с прочностью, так как то и другое свойство обусловлено сцеплением между микрочастицами материала.

Истираемость – свойство материала изменяться в объеме и массе под действием истирающих усилий, вызывающих его постепенное

разрушение с поверхности путем отрывания и удаления мелких частиц. От истираемости зависит возможность применения материала для устройства полов, лестниц, ступеней, тротуарных плит. Испытания на истираемость проводят на специальной машине – круге истирания. Истираемость обозначается И, единица измерения – г/см^2 .

Износ материала – это разрушение материала при совместном действии истирания и удара. На износ материалы испытывают в специальных барабанах.

2.3. Химические, физико-химические и технологические свойства

Химические свойства выражают степень активности и способность материала к химическому взаимодействию с реагентами внешней среды и способность сохранять постоянным состав и структуру материала в условиях инертной окружающей среды. Большинство строительных материалов проявляют активность при взаимодействии с кислотами, щелочами, агрессивными газами и другими средами. Кроме того, некоторые материалы проявляют склонность к самопроизвольным внутренним химическим изменениям в условиях инертной среды, что отражает неустановившееся равновесие внутренних химических связей. Постепенное или быстрое изменение структуры и ее разрушение под влиянием агрессивных химических и электрохимических процессов в материале называют **коррозией**.

Коррозионная стойкость – свойство материалов сопротивляться коррозионному воздействию среды.

Химическая стойкость – способность материалов противостоять разрушающему влиянию щелочей, кислот, растворенных в воде солей или газов.

Таким образом, под химическими свойствами подразумевают способность материалов к химическим превращениям под влиянием веществ, с которыми данный материал находится в непосредственном соприкосновении. Способность материалов к химическим реакциям может быть полезной и вредной. Так, цемент, гипсовое вяжущее, известь должны реагировать с водой, иначе невозможно было бы получение бетонов и изделий из них. Но в то же время с химической природой материала связана возможность его разрушения под влиянием агрессивных веществ, находящихся в окружающей среде (в воздухе, воде).

Когда в составе неорганического материала преобладает диоксид

кремния (кремнезем), то материал обычно стоек к кислотам, но взаимодействует с основными оксидами, например с оксидом кальция. Если же в материале преобладают основные оксиды, то он обычно не стоек к кислотам, но щелочами не разрушается.

Для приближенного суждения о стойкости материала в кислых и щелочных средах можно воспользоваться оценкой его модуля основности, %:

$$M_o = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}. \quad (2.18)$$

Примеры, показывающие отношение неорганических материалов к кислым и щелочным средам, в зависимости от модуля основности, приведены в табл. 2.2.

Подчеркиваем, что приведенные данные позволяют лишь в первом приближении судить о химической стойкости неорганического материала по его модулю основности. Что касается органических материалов (древесины, битумов, пластмасс), то они при обычных температурах в большинстве случаев относительно стойки в кислых и щелочных средах.

Приведенные положения носят схематичный характер: стойкость материала в значительной мере зависит от плотности структуры, концентрации реагентов, их диффузии в толщу материала и других условий.

Таблица 2.2

**Отношение неорганических материалов к кислым
и основным средам**

Наименование материала	Модуль основности	Отношение к действию кислых и щелочных реагентов
Кварцевый песок (содержит 95–98 % SiO_2)	Очень мал	Стоек к кислотам (кроме плавиковой), но взаимодействует с основными оксидами: медленно – при обычной температуре, энергично – при повышенной
Жидкое стекло	0,25–0,5	Вместе с кварцевым песком образует кислотоупорную массу, но не стойкую к щелочам
Цементный камень (отвердевший цемент), содержит примерно около 70 % CaO	1,5	Кислоты, за отдельными исключениями, разрушают, щелочи не действуют
Известняк, мрамор, доломит	Очень высок	Легко разрушаются кислотами, стойки к щелочам

2.4. Долговечность и надежность

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Долговечность строительных изделий измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств. Например, для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: первая – соответствует сроку службы не менее 100 лет, вторая – не менее 50 лет, третья – не менее 20 лет. Испытания на долговечность проводят в условиях, приближенных к конкретным климатическим условиям: в камерах погоды, на крыше здания, в зоне прилива и отлива морской воды.

Надежность представляет собой общее свойство, характеризующее проявление всех остальных свойств изделия в процессе эксплуатации. Надежность складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказностью называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. Отказом называют событие, при котором система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность.

Ремонтпригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией. Сохраняемость количественно оценивают временем хранения и транспортирования до возникновения неисправности.

2.5. Оценка качества материалов

Качество материалов оценивают совокупностью числовых показателей технических свойств, которые были получены при испытаниях соответствующих образцов. Существуют стандарты, устанавливающие для большинства материалов и изделий обязательные методы испытаний.

На продукцию, имеющую межотраслевое значение, разрабатываются стандарты Российской Федерации. Они содержат требования к безопасности этой продукции для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества, а также для пожарной безопасности. Кроме того, в

них приводятся основные показатели и методы контроля качественных характеристик материала. Нередко в государственных стандартах сообщается классификация материала по одному или нескольким признакам. Указываются конкретные числовые значения свойств с маркировкой выпускаемой продукции, правила приемки и хранения материала, допуски и посадки изделий.

При окончательном выборе материала для строительного объекта большую роль играет экономический показатель. При одинаковом качестве стремятся выбрать материал самый дешевый и доступный по его запасам в регионе строительства, особенно если он местный, но с учетом, конечно, транспортных расходов, а также вероятной эксплуатационной стойкости (долговечности) в конструкциях.

Задания для самопроверки

1. Какие основные свойства характеризуют качество материала и определяют область его применения?
2. Как определяют истинную и среднюю плотность материала?
3. Как изменяются свойства строительных материалов по мере их увлажнения?
4. Как определяют коэффициент размягчения и морозостойкость? Какие материалы относятся к водостойким? Пути повышения водостойкости. Приведите примеры водонепроницаемых материалов.
5. Дайте определение теплопроводности. В каких единицах она измеряется, как определяется и как зависит от пористости, влажности, температуры? Приведите примеры теплоизоляционных материалов с указанием их теплопроводности. Как определить теплопроводность материалов эмпирическим путем (при помощи формул)?
6. Что такое огнеупорность? Как делятся материалы по огнеупорности? Приведите примеры огнеупорных материалов и их применения.
7. Что такое удельная теплоемкость и какова ее роль при выборе строительных материалов для ограждающих конструкций?
8. Как определяют $R_{сж}$ и $R_{изг}$? Как определить прочность бетона с разрушением и без разрушения образцов? Приведите примеры упругих и эластичных деформаций. Что такое текучесть, ползучесть и релаксация напряжений?
9. Как зависит химическая стойкость материала от его состава и строения? Значение уменьшения коэффициента конструктивного качества материалов. Приведите примеры значений $k_{кк}$ для различных материалов. Что определяет долговечность материалов?

3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Природными каменными материалами называют строительные материалы, получаемые из горных пород за счет применения лишь механической обработки (дробления, раскалывания, шлифования и т.д.).

Природные каменные материалы получают из горных пород. *Горные породы* – это закономерные агрегаты минералов, возникшие при определенных геологических или космохимических условиях. Породы бывают мономинеральные и полиминеральные (рис. 3.1).

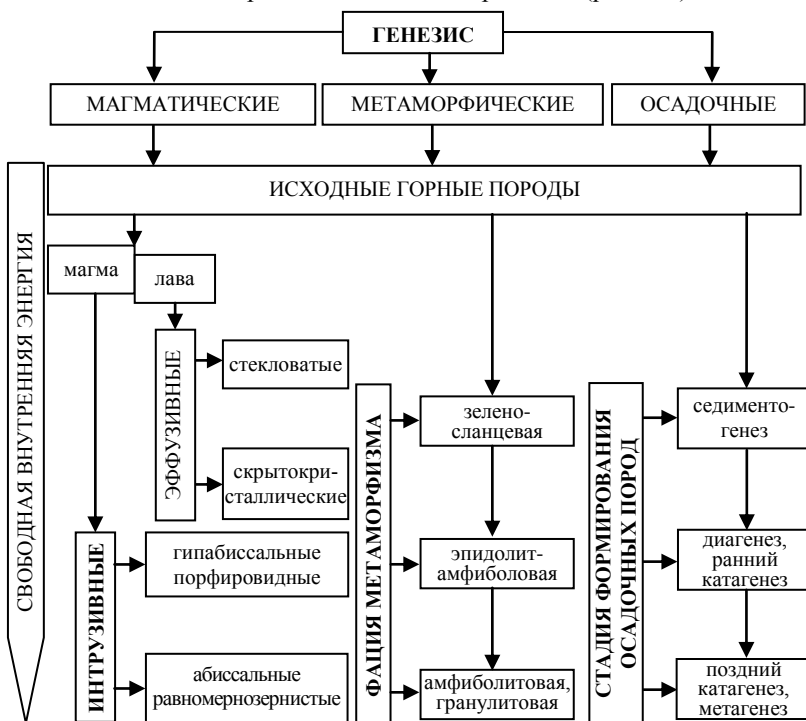


Рис. 3.1. Генетическая классификация горных пород как сырья для производства строительных материалов

Минералами называют однородные по химическому составу и физическим свойствам составные части горной породы, образовавшиеся в результате различных физико-химических процессов, происходящих в земной коре. К минералам относятся: кварц (SiO_2), кальцит (CaCO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ангидрит (CaSO_4), каолинит ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$), опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), слюда, роговая обманка и др.

По происхождению горные породы делятся на три основные группы: *магматические, осадочные и метаморфические*.

3.1. Породообразующие минералы

В составе земной коры более 2000 минералов. Однако в образовании горных пород участвует немногим более 50 минералов, которые носят название породообразующих.

Большинство породообразующих минералов являются кристаллическими телами и обладают анизотропией свойств, т. е. у анизотропных минералов физические свойства неодинаковы по различным кристаллографическим направлениям. Строительные свойства горных пород определяются химическим составом породообразующих минералов и их основными физико-механическими свойствами.

Все минералы, в зависимости от их химического состава, делят на классы: силикаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды, сульфаты и др.

Минералы характеризуются следующими основными физическими свойствами: цветом, блеском, твердостью, спайностью.

Цвет – свойство минералов, которое в значительной степени предопределяется их химическим составом. По цвету они могут быть разделены на светлые и темные. Светлые характеризуются преобладающим содержанием кремния и алюминия; темные содержат значительное количество железа и магния при пониженном содержании (или вообще отсутствии) кремния и алюминия (роговая обманка, биотит и др.).

Блеск – способность минералов отражать своими поверхностями свет. Различают блеск: металлический (напоминает блеск поверхности свежего излома металлов); стеклянный (напоминает блеск поверхности стекла); шелковистый – характерен для минералов, имеющих волокнистое строение; жирный – поверхность минерала как бы смазана жиром; восковой; матовый.

Твердость – степень сопротивления минерала внешнему механическому воздействию. Наиболее простой способ ее определения – царапание одного минерала другим. Для оценки относительной твердости принята шкала Мооса из 10 минералов, в которой каждый последующий царапает все предыдущие.

Спайность – способность минерала раскалываться по определенным направлениям с образованием ровных, гладких и блестящих поверхностей (например, слюда). При отсутствии спайности минерал под ударом раскалывается по случайным неровным поверхностям.

В соответствии с принятой классификацией породообразующие минералы объединены в классы. Ниже рассмотрены основные породообразующие минералы.

Класс силикатов объединяет минералы, которые являются основной составляющей магматических и метаморфических горных пород. Минералы этого класса, сходные по составу и строению, объединяют в следующие группы: полевые шпаты, слюды, железисто-магнезиальные силикаты, тальк.

Полевые шпаты – довольно распространенные минералы, участвующие в образовании многих горных пород. По химическому составу полевые шпаты представляют собой алюмосиликаты калия, натрия или кальция. Полевые шпаты характеризуются хорошо выраженной спайностью по двум направлениям. Из разновидностей полевых шпатов в природе различают: ортоклаз (прямораскалывающийся) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ и плагиоклаз (косораскалывающийся) в виде альбита $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ и анортита $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Цвет полевых шпатов – от белого до темно-красного, истинная плотность – 2,50–2,76 г/см³, твердость – 6, предел прочности при сжатии – от 120 до 170 МПа, температура плавления – 1170–1550 °С. Эти минералы обладают низкой атмосферостойкостью и при выветривании разрушаются с образованием минерала каолинита, являющегося основной частью глинистых осадочных горных пород. В чистом виде полевые шпаты применяют в качестве плавней при производстве керамических материалов.

Слюды по химическому составу являются слоистыми водными алюмосиликатами. В природе много разновидностей слюд, среди которых чаще всего встречаются биотит и мусковит. Биотит непрозрачен, темного, даже черного цвета с характерным металлическим блеском. Мусковит – прозрачная бесцветная слюда. Слюды имеют совершенную спайность, расщепляются на тонкие гибкие пластинки. Истинная плотность – 2,8–3,2 г/см³, твердость – 2–3.

Слюды входят в состав изверженных (граниты, сиениты) и осадочных горных пород. Большое содержание слюд придает горной породе слоистость, снижает ее прочность и стойкость, затрудняет полировку.

Каолинит – водный силикат алюминия – самый распространенный минерал осадочных горных пород. Чистый каолинит – белого цвета, однако примеси придают ему различные оттенки: желтоватый, бурый, зеленоватый и др.

Истинная плотность – 2,5–2,6 г/см³, твердость – 1. Каолинит, наряду с другими минералами, входит в состав глин, известняков, песчани-

ков и других осадочных горных пород. Каолинит – ценное сырье для производства фарфоровых и фаянсовых изделий, а также огнеупорных материалов и изделий.

Железисто-магнезиальные минералы имеют темную окраску и называются темноокрашенными. Наиболее распространенными породообразующими минералами являются роговая обманка, авгит и оливин. Их истинная плотность – $3\text{--}3,6 \text{ г/см}^3$, твердость – $5,5\text{--}7,5$, цвет – от темно-зеленого до черного (в зависимости от наличия железа в их составе). Минералы этой группы обладают высокими прочностью, ударной вязкостью и атмосферостойкостью, эти же свойства они передают и содержащим их магматическим горным породам (габбро, диабаз, базальты).

Тальк – минерал светло-зеленого или буро-желтого цвета с жирным блеском, твердость – 1, спайность весьма совершенная, встречается в виде листоватых и чешуйчатых агрегатов среди известняков, мраморов и в составе тальковых сланцев.

Класс карбонатов включает соли угольной кислоты, кальция и магния, которые широко распространены в породах осадочного и метаморфического происхождения.

Кальцит – известковый шпат CaCO_3 – часто встречающийся минерал в осадочных горных породах (известняки, мергели, мел). Он представляет собой прозрачный или бесцветный минерал, но может быть окрашен за счет примесей. Блеск кальцита стеклянный, истинная плотность – $2,6\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$, твердость – 3. Кристаллы кальцита обладают совершенной спайностью по трем направлениям. При действии соляной кислотой кальцит бурно «вскипает» с выделением углекислого газа. Присутствие кальцита в осадочных горных породах делает их ценным сырьем для производства минеральных вяжущих веществ.

Магнезит по химическому составу является карбонатом магния MgCO_3 . В природе он менее распространен, чем кальцит. Магнезит – белого цвета, часто с желтоватым оттенком, его истинная плотность – $2,9\text{--}3 \text{ г/см}^3$, твердость – $3,5\text{--}4,5$. Образует породу того же названия.

Доломит встречается в природе в виде двойной соли $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$. Он имеет серовато-белый цвет, иногда с желтоватым, зеленоватым или красноватым оттенком; его истинная плотность – $2,8\text{--}2,9 \text{ г/см}^3$, твердость – $3,5\text{--}4$. Входит в состав известняков, мраморов и др.

Класс оксидов и гидроксидов (кремния и железа) – наиболее распространенный класс минералов, составляющих около 17 % объема земной коры. Наибольшее распространение имеют кварц и опал.

Кварц – кристаллический кремнезем SiO_2 , в природе встречается в виде самостоятельной породы (кварцевого песка) и в составе многих горных пород (граниты, кварциты, песчаники и др.). Кварц – один из самых прочных, твердых и стойких минералов. Он непрозрачен, часто имеет молочно-белый цвет, характеризуется отсутствием спайности, т. е. под действием удара раскалывается не по определенным плоскостям, а дает раковистый излом произвольной формы. Его истинная плотность – $2,65 \text{ г/см}^3$, твердость – 7, предел прочности при сжатии превышает 1000 МПа. При обычной температуре кварц не реагирует с кислотами и щелочами. При 1710°C кварц плавится, образуя после быстрого охлаждения кварцевое стекло. При выветривании магматических горных пород стойкие зерна кварца не разрушаются, а образуют кварцевый песок.

Опал – аморфный кремнезем $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, в отличие от кварца обладает большей реакционной способностью. Опал имеет истинную плотность $2,0\text{--}2,5 \text{ г/см}^3$, твердость – $5\text{--}6,5$. Из опала состоят панцири диатомей и скелеты радиолярий.

Класс сульфатов включает большое число минералов, среди которых наиболее распространены гипс и ангидрит.

Гипс по химическому составу представляет собой водную сернокислую соль кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кристаллы гипса имеют пластинчатое, волокнистое или зернистое строение. Гипс – белого цвета, но может быть за счет примесей окрашен в серый, желтый, красный и другие цвета. Истинная плотность – $2,3 \text{ г/см}^3$, твердость $1,5\text{--}2$, растворим в воде. При нагревании двухводный гипс способен выделять кристаллизационную воду, переходя в полуводный или безводный гипс. В природе образует породу «гипсовый камень», который широко используется при производстве гипсовых вяжущих веществ.

Ангидрит – безводная разновидность гипса CaSO_4 , внешне напоминающая мрамор. Может быть белого, серого или голубого цвета, имеет стеклянный блеск, истинная плотность – $2,9 \text{ г/см}^3$, твердость – $3,5$, спайность совершенная. Используется в качестве поделочного и облицовочного камня.

Класс сульфидов представляет *пирит* FeS_2 , который имеет латунно-желтый цвет с металлическим блеском, его истинная плотность – около 5 г/см^3 , твердость – 6. В зоне выветривания легко разрушается. В качестве примесей содержится в мраморе и других породах, снижая эксплуатационные качества облицовочных материалов.

3.2. Магматические горные породы

Эти горные породы образовались в результате остывания огненно-жидкого силикатного расплава – магмы или лавы, которые остывали на поверхности земли или в земной коре.

Глубинные (интрузивные) магматические горные породы

Гранит – горная порода, состоящая из кварца, полевых шпатов и слюды. Цвет – серый, светло-серый, розоватый и темно-красный. Структура – зернисто-кристаллическая. Плотность – 2700 кг/м^3 . Пористость – 0,5–1,5 %. Предел прочности при сжатии – 120–300 МПа.

Гранит применяют для облицовки зданий, ступеней, а также для получения щебня, который используется в производстве высокопрочного бетона и строительстве автомобильных дорог и аэродромов.

Диорит – горная порода, состоящая из полевого шпата и роговой обманки. Цвет – зеленоватый. Плотность – $2700\text{--}2900 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии – 150–300 МПа. Диорит хорошо поддается полировке. Применяется для облицовки зданий и сооружений.

Габбро, лабрадорит – самые прочные и стойкие горные породы. Имеют различный цвет: черный, темно-зеленый, синий. Плотность – $2900\text{--}3300 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии – 250–500 МПа.

Лабрадоритом и гранитом облицован Мавзолей В.И. Ленина в Москве.

Излившиеся (эффузивные, вулканогенные) магматические горные породы

Порфиры, диабаз, базальт – горные породы, имеющие цвет от красно-бурого до серого. Плотность – $2400\text{--}3000 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии достигает 300 МПа.

Вулканогенно-обломочные горные породы

Пемза – пористая порода светло-серого цвета, похожая на застывшую пену. Плотность – $400\text{--}600 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии – 2–4 МПа. Размеры частиц – 5–30 мм.

Применяют пемзу в качестве заполнителя для легкого бетона.

Вулканический пепел – порошкообразные высокопоризованные частицы застывшей вулканической лавы. Применяется в качестве активной минеральной добавки при производстве цементов.

Вулканический туф – пористая горная порода, состоящая из уплотненного и сцементированного вулканического пепла. Цвет – коричневый, оранжевый, розовый.

Применяется вулканический туф как отделочный и стеновой материал, а отходы – в качестве теплоизоляционного материала и легкого заполнителя для бетонов, а также активной минеральной добавки, как и вулканический пепел.

3.3. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы иногда называют вторичными, так как они образовались в результате разрушения магматических и метаморфических горных пород.

Обломочные осадочные горные породы

Обломочные осадочные горные породы представлены в рыхлом (песок, щебень, гравий, галька) и сцементированном (песчаники, гравелиты, конгломераты) виде.

Песок представляет собой рыхлую смесь зерен различных минералов, реже пород крупностью 0,14–5 мм. По составу песок может быть кварцевым, полевошпатовым, известняковым, пемзовым, а по происхождению, чаще всего, – морским и речным.

Гравий – смесь окатанных обломков горных пород размером от 5 до 10 мм.

Песок и гравий служат в основном заполнителями бетонов и растворов, а также применяются при строительстве дорог и аэродромов.

Глинистые осадочные горные породы

Эти горные породы состоят из мельчайших частиц глинистых минералов (каолинита, кварца, гидрослюда, монтмориллонита). Применяются глинистые осадочные горные породы в керамической и цементной отраслях промышленности.

Осадочные хемогенные породы

К этим породам относятся: опока, доломит, магнезит, гипс, ангидрит и известняк.

Опока – пористая кремнистая, обычно крепкая порода, состоящая в основном из аморфного кремнезема тонкозернистого строения, нередко с примесью кремневых остатков организмов, мелких обломков кварца, полевых шпатов, глинистых минералов. Опока применяется в

качестве активной минеральной добавки при производстве цемента и смешанных вяжущих веществ, например гипсоцементно-пуццолановых.

Доломит – плотная горная порода, состоящая из минерала того же названия. По внешнему виду и физико-механическим свойствам доломит похож на известняк. Применяется в качестве облицовочного материала, при производстве щебня и магнезиальных вяжущих веществ.

Магнезит состоит в основном из минерала магнезита. При обжиге магнезита образуются магнезиальные вяжущие материалы и огнеупоры.

Гипс – горная порода, состоящая из одноименного минерала. Путем обжига гипса получают гипсовые вяжущие вещества. При помоле клинкера и 3–4 % природного гипса получают портландцемент.

Известняк – горная порода, состоящая в основном из минерала кальцита. Смесь известняка и глины носит название мергеля. Плотность – 1800–2600 кг/м³. Цвет – белый с желтоватым оттенком. Предел прочности при сжатии – до 180 МПа. Используется известняк в качестве сырья при производстве портландцемента, извести, заполнителя для бетона и минерального порошка, при смешивании которого с битумом получают асфальт.

Органогенные осадочные породы

Эти породы представлены известняком-ракушечником, мелом, трепелом и диатомитом.

Мел – слабосцементированная горная порода, состоящая из кальцита, представленного микроскопическими раковинками. Цвет – белый. Применяется мел при производстве извести, портландцемента, красок, замазок, в резинотехнической промышленности.

Диатомит и трепел – легкие рыхлые горные породы, состоящие в основном из аморфного кремнезема. Цвет – от белого до черного. Плотность колеблется от 400 до 1200 кг/м³.

Используются эти горные породы при производстве теплоизоляционных материалов, а также в качестве активных минеральных добавок при производстве цементов и силикатного кирпича.

3.4. Метаморфические горные породы

Это видоизмененные горные породы, которые образовались в толще земной коры в результате значительного видоизменения магматических или осадочных горных пород под действием высоких темпера-

тур, давления и других факторов. В этих условиях происходила перекристаллизация минералов без их плавления, способствующая повышению плотности образовавшихся пород по сравнению с исходными. Как правило, они имеют сланцеватое или полосчатое строение. Из метаморфических горных пород в строительстве наиболее часто применяют мраморы, кварциты, глинистые сланцы, гнейсы.

Мрамор представляет собой зернистую кристаллическую горную породу, образовавшуюся в результате перекристаллизации известняков, мела и доломитов под действием высоких температур, давления и действия активных флюидов. Цвет – белый, но встречается красный, серый и даже черный. Плотность – 2800 кг/м^3 . Водопоглощение – до 0,7 %. Предел прочности при сжатии – 100–300 МПа.

Мрамор легко пилится, полируется. Используется для внутренней облицовки зданий и сооружений. Из отходов мраморной крошки изготавливают мозаичные полы.

Кварцит – метаморфическая разновидность кремнистых песчаников. Цвет – белый, красный или темно-вишневый. Плотность – до $2500\text{--}2700 \text{ кг/м}^3$. Предел прочности при сжатии – до 400 МПа.

3.5. Изделия из природного камня

В строительстве используют различные виды природных каменных материалов и изделий: бутовый камень, облицовочные камни и плиты, щебень, гравий, песок, булыжный камень, брусчатку.

Бутовый камень, или рваный бут, представляет собой камни неправильной формы, полученные взрывным способом из различных горных пород. Его используют при строительстве фундаментов и стен неотапливаемых зданий. Бут получают из осадочных горных пород (известняков, доломитов, песчаников, гнейсов, гранитов и других скальных пород).

Масса бутовых камней – от 20 до 40 кг. Предел прочности при сжатии бутового камня должен быть не менее 10 МПа, а коэффициент размягчения – не менее 0,75.

Отходы бутового камня идут на производство щебня и песка.

Стеновые камни и блоки изготавливают из известняков-ракушечников, вулканических туфов и других материалов плотностью до 2200 кг/м^3 .

Размеры камней для ручной кладки – $390 \times 190 \times 190 \text{ мм}$. Предел прочности при сжатии этих горных пород должен быть не менее 25 МПа. Коэффициент размягчения – не менее 0,6. Морозостойкость – не менее F15.

Получают стеновые блоки, камни и плитки в основном распиловкой или раскалыванием с последующей механической обработкой.

Булыжный камень, брусчатка используются в дорожном строительстве. Эти изделия получают из изверженных или осадочных горных пород.

Щебень, гравий, песок, гальку используют в качестве заполнителей для бетонов, а также при строительстве автомобильных дорог и аэродромов.

Размер частиц песка – 0,14–5 мм. Размер частиц гравия – 5–70 мм.

Природный песок добывают в карьерах, а искусственный – путем отсева дробления невыветрелых магматических, метаморфических или плотных карбонатных осадочных горных пород. Как правило, наилучшими песками являются кварцевые. Весьма ценятся облегченные искусственные пески, получаемые измельчением или отсевом пористых горных пород (туфа, пемзы).

Щебень получают в результате дробления скальных горных пород (валунов, гальки). Он состоит из угловатых кусков с размером в поперечнике от 5 до 150 мм. Щебень получают как из плотных горных пород (гранитов), так и пористых (известняков-ракушечников, туфов, пемзы).

Минеральный порошок, тонкомолотые минеральные добавки используют при производстве асфальтовых растворов и бетонов, а также портландцемента и смешанных вяжущих веществ. Получают минеральный порошок и тонкомолотые минеральные добавки отсевом или измельчением горных пород.

Задания для самопроверки

1. Что называют минералом и горной породой? Назовите породообразующие минералы изверженных и осадочных горных пород.

2. Какими свойствами обладают следующие минералы: кварц, полевой шпат, слюда, кальцит, магнезит? Перечислите горные породы, состоящие в основном из карбонатов и сульфатов кальция и магния.

3. Что такое мергель и для каких целей он используется в строительстве? Для каких целей в строительстве применяют гранит, сиенит, базальт, диабаз, кварцит, диатомит, трепел, опоку, пемзу, вулканические туфы, глинистые сланцы, глину, щебень, песок, гравий, гальку?

4. Из каких горных пород получают неорганические вяжущие материалы? Какие горные породы используются для производства стеновых материалов?

5. Какие горные породы применяют для получения заполнителей бетона? Как используют отходы, получаемые при переработке камня?

4. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Керамическими называют изделия и материалы, получаемые из глиняных масс или их смесей с минеральными добавками путем формования, сушки и обжига (рис. 4.1, 4.2).

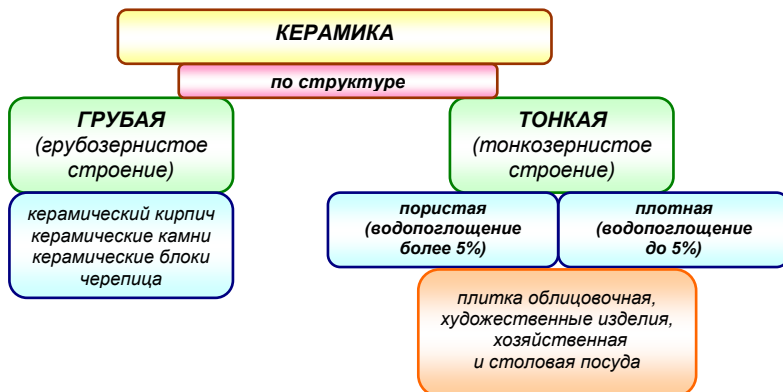


Рис. 4.1. Классификация керамических материалов по структуре



Рис. 4.2. Классификация керамических материалов по назначению

4.1. Сырье для производства керамических материалов

К сырьевым материалам относятся глина, а также отошающие, выгорающие и пластифицирующие добавки.

Глина – тонкодисперсная горная порода, состоящая из глинистых минералов и способная образовывать с водой пластичное тесто, сохраняющее после высыхания приданную ему форму и приобретающее после обжига твердость камня. Представлена глина чаще всего гидрослюдами, монтмориллонитом, каолинитом, которые образуются в результате выветривания алюмосиликатных пород.

Глина состоит из следующих частиц:

- глинистые (до 0,005 мм);
- пылевидные (0,005–0,15 мм);
- песчаные (0,15–5 мм).

В зависимости от содержания глинистых минералов различают:

- глины (более 30 % глинистых минералов);
- суглинки (10–30 % глинистых минералов);
- супеси (5–10 % глинистых минералов).

К важнейшим свойствам глин, которые учитывают при производстве керамических материалов, относят пластичность, воздушную и огневую усадку, огнеупорность.

Пластичностью называют способность глиняного теста под действием внешних сил принимать заданную форму без образования трещин и сохранять эту форму после снятия нагрузки. По степени пластичности глины делятся:

- на высокопластичные (водопотребность более 28 % и воздушная усадка 10–15 %);
- среднепластичные (водопотребность 20–28 % и воздушная усадка 7–10 %);
- малопластичные (водопотребность менее 20 % и воздушная усадка от 5 до 7 %).

Воздушная усадка – это изменение линейных размеров свежесформованного образца в процессе сушки при $t = 110$ °С. Ее выражают в процентах от первоначального размера образца-сырца.

Огневая усадка – изменение линейных размеров воздушно-сухого образца в процессе обжига. Огневая усадка обычно находится в пределах 1–4 %.

Полная усадка – арифметическая сумма величин воздушной и огневой усадок. Ее величина, как правило, 5–18 %.

Огнеупорность – свойство глины выдерживать действие высокой температуры без деформации. По огнеупорности глины делят так:

- огнеупорные ($t > 1580\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- тугоплавкие ($t = 1350\text{--}1580\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- легкоплавкие ($t \text{ менее } > 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Оттощающие добавки – песок, шлак, зола от сжигания твердого топлива, измельченный керамический бой, отсев дробления скальных пород на щебень. Добавляют их к пластичным глинам для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях.

Выгорающие добавки – опилки, угольная пыль, торф, соляровое масло и др. Введение этих добавок в сырьевую массу позволяет получить легкие керамические изделия с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью.

Пластифицирующие добавки – высокопластичные глины, сульфитно-спиртовая барда (ССБ), сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ) и др. Применяются для повышения пластичности сырьевой смеси.

Сульфитно-спиртовая барда представляет собой густую вязкую темно-коричневую жидкость, которая является отходом производства целлюлозы. В ее состав входят кальциевые соли лигносульфонатных кислот и моносахариды, а также в небольшом количестве формальдегид, фурфурол, скипидар и органические кислоты.

СДБ по составу и применению является аналогом ССБ. Ее основные компоненты – аммониевые соли сульфоновых кислот.

Глазури и ангобы. Для придания стойкости к внешним воздействиям, водонепроницаемости и определенного декоративного вида поверхность некоторых керамических изделий покрывают глазурью или ангобом.

Стекловидный слой глазури, нанесенный на поверхность керамического материала, закрепляют на нем обжигом при высокой температуре. Глазури могут быть прозрачными и непрозрачными (глухими), различного цвета.

Ангоб изготавливают из белой или цветной глины и наносят тонким слоем на поверхность сырьевых изделий. В отличие от глазури ангоб не дает при обжиге расплава, т.е. не образует стекловидного слоя, поэтому цветная поверхность получается матовой. По свойствам ангоб должен быть близок к основному керамическому материалу.

4.2. Производство керамических материалов и изделий

Производство керамических материалов и изделий включает следующие операции:

1. Глина добывается в карьерах экскаваторами и доставляется вагонетками, транспортерами или автомобильным транспортом.

2. Подготовка сырьевой массы включает в себя измельчение крупных включений глины, ее увлажнение и введение добавок.

3. Формование изделий осуществляется различными методами – пластическим, полусухим и литьем.

Пластический способ наиболее распространен при производстве керамических изделий. Влажность глиняной массы – 18–23 %. Смесь выдавливается с помощью шнека через мундштук в виде бруса, который разрезается на отдельные изделия. Этот способ широко используется при производстве кирпича.

Полусухой способ применяют при производстве плиток и других тонкостенных изделий, а также керамических пустотелых камней, кирпича (рис. 4.3). Влажность массы составляет 8–12 %. Давление прессования – до 15 МПа.

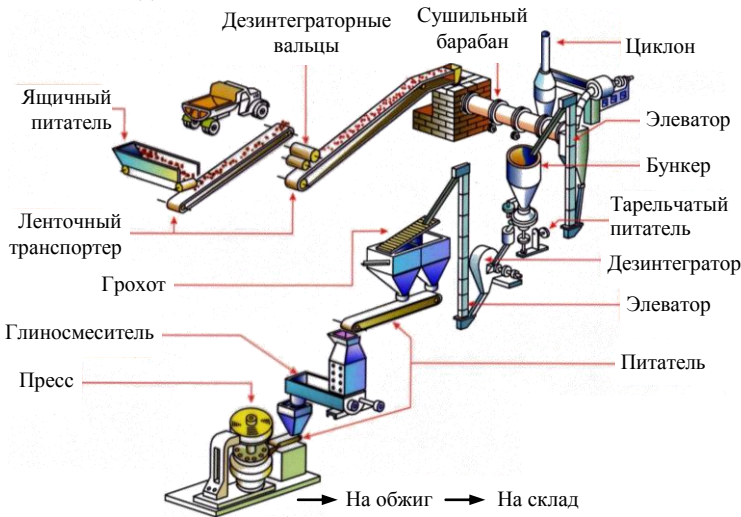


Рис. 4.3. Технологическая схема производства кирпича методом полусухого прессования

Литьевой (шликерный) способ применяют для изготовления санитарно-технического фаянса и облицовочных плиток. Влажность шликера – более 45 %.

4. Сушка изделий предназначена для снижения их влажности. Так, кирпич-сырец сушат до влажности 8–10 %. Сушка может быть естественной и искусственной.

Естественная сушка не требует затрат, но длится долго – 10–15 сут и более.

Искусственная сушка может продолжаться от 1 до 3 сут, а для тонкостенных изделий – несколько часов.

5. Обжиг изделий. Процесс обжига условно делится на три периода: прогрев сырца, обжиг и охлаждение.

При прогреве сырца температуру медленно поднимают до 100–120 °С. В результате удаляется свободная влага. При температуре 300–350 °С выгорают органические примеси, затем удаляется химически связанная вода.

В процессе обжига при температуре 800–900 °С легкоплавкие соединения расплавляются, обволакивают нерасплавившиеся частицы. При дальнейшем повышении температуры до 950–1000 °С глиняная масса спекается.

Обжигают керамические изделия в кольцевых, туннельных, щелевых и других печах.

Кольцевая печь представляет собой замкнутый эллипс. В печи содержится от 16 до 36 камер. Изделия неподвижны. Двигается очаг горения. В кольцевых печах обжигают в основном кирпич и черепицу. Температура обжига – 900–1100 °С. Цикл обжига – 3–4 сут.

Туннельная печь – сквозной канал длиной до 100 м. Вагонетки с изделиями движутся по туннельной камере, и цикл обжига длится от 18 до 36 ч.

4.3. Свойства керамических изделий

Пористость керамических изделий достигает 40 %. Водопоглощение плотных керамических материалов составляет 1–5 мас. % и 2–10 об. %, пористых материалов – 6–20 мас. % и 12–40 об. %.

Теплопроводность плотного керамического черепка большая – 1,16 Вт/(м · °С). Снижение плотности керамических изделий с 1800 до 700 кг/м³ понижает их теплопроводность с 0,8 до 0,21 Вт/(м · °С).

Прочность плотных керамических материалов – 40–100 МПа, а пористых – 7,5–30 МПа.

Морозостойкость колеблется от F15 до F100 (15, 25, 35, 50, 75 и 100).

4.4. Керамические материалы и изделия

Стеновые материалы и изделия. Кирпич керамический полнотелый имеет форму прямоугольного параллелепипеда размером 250×120×65 или 250×120×88 мм. Модульный кирпич должен иметь технологические пустоты. Допускаемые отклонения размеров не должны превышать: по длине – 5 мм, по ширине – 4 мм, по толщине – 3 мм.

Свойства кирпича:

плотность	1600–1900 кг/м ³
теплопроводность	0,71–0,82 Вт/(м · °С)
марки по прочности	75, 100, 125, 150, 175, 200, 300
водопоглощение	не менее 8 %
морозостойкость.	не менее 15 циклов

Керамические фасадные плитки изготовляют способом полусухого прессования. Основной размер фасадных плиток – 250×140×10 мм, цокольных – 150×75×7 мм, типа «кабанчик» – 125×60×7 мм. Водопоглощение фасадных плиток – 2–8 %, морозостойкость – не менее 35 циклов.

Ковровая керамика представляет собой мелкогабаритные плитки, наклеенные на бумагу. Размеры плиток – 48×48 и 22×22 мм при толщине 4 мм. Размеры ковров из них – 724×464 и 672×424 мм. Водопоглощение плиток должно быть менее 12 %, а морозостойкость – более 25 циклов.

Керамические плитки для внутренней облицовки выпускают различной формы – квадратные, прямоугольные и фасонные. Размер квадратных плиток – 150×150 мм, прямоугольных – 150×100 и 150×75 мм, а толщина – 4–6 мм. Водопоглощение плиток не должно превышать 16 %.

Керамические плитки для полов выпускают двух видов – керамические крупные и мозаичные плитки.

По форме крупные керамические плитки бывают квадратные, прямоугольные, шестигранные, восьмигранные и др. Длина граней составляет 50–150 мм, толщина плиток – 10–13 мм. Водопоглощение плиток не должно превышать 4 %, а истираемость должна быть не более 0,1–0,25 г/см².

Мозаичные плитки квадратные и прямоугольные со сторонами 23 и 48 мм изготовляют толщиной 6 и 8 мм.

Глиняная черепица – это кровельный материал. Она прочна, долговечна, огнестойка, однако имеет большую массу, а процесс возведения кровли – трудоемок. Применяют черепицу в малоэтажном строительстве.

Канализационные и дренажные трубы производят из огнеупорных или тугоплавких каолиновых глин.

Канализационные трубы изготовляют диаметром 150–600 мм и длиной 800–1200 мм. Трубы внутри и снаружи покрывают глазурью.

Дренажные трубы – керамические неглазурованные изделия диаметром 25–250 мм и длиной до 500 мм. Сырьем для их производства

служат легкоплавкие монтмориллонит-гидрослюдистые глины и су-глинки. Дренажные трубы используют для осушения заболоченных земель, а также для понижения уровня грунтовых вод.

Кислотоупорные изделия отличаются повышенной плотностью и прочностью керамического черепка. Изготавливают их в виде кислотоупорного кирпича, кислотоупорных и термокислотоупорных плиток.

Кислотоупорный кирпич имеет размеры 230×113×65 мм. Плитки имеют размер стороны от 50 до 200 мм и толщину от 10 до 50 мм.

Санитарно-технические изделия – это раковины, умывальники, унитазы и др. Их изготавливают из беложгущихся фаянсовых или полуфарфоровых масс, в состав которых входят каолиновые глины, кварцевый песок, шамот и плавни методом литья, затем сушат, глазуют и обжигают.

Керамические пористые заполнители – это заполнители для легких бетонов.

Керамзит – легкий, пористый гравий фракций 5–10, 10–20 и 20–40 мм. Зерна менее 5 мм относят к керамзитовому песку.

Получают керамзитовый гравий обжигом легкоплавких вспучивающихся гидрослюдисто-монтмориллонитовых глин во вращающихся печах длиной 12–40 м и диаметром 1,2–2,5 м. Время обжига во вращающейся печи – 25–45 мин. Температура обжига – 1050–1300 °С.

В зависимости от насыпной плотности керамзитовый гравий делится на марки: 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800. Водопоглощение керамзитового гравия – 15–25 %, предел прочности при сжатии – 0,3–5,5 МПа, морозостойкость – не менее 15 циклов.

Аглопорит – пористый кусковой материал, получаемый спеканием (агломерацией) глинистого сырья с углем. Насыпная плотность аглопорита – 300–1000 кг/м³, прочность – 0,3–3 МПа, содержание несгоревшего угля – до 3 %.

Огнеупорные материалы подразделяются:

- на огнеупорные ($t = 1580\text{--}1770\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- высокоогнеупорные ($t = 1770\text{--}2000\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- высшей огнеупорности ($t > 2000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Огнеупорные материалы изготавливают в виде кирпича, блоков, плит, различных фасонных элементов. В зависимости от минерального состава огнеупорные материалы подразделяются на кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезитовые, хромистые, углеродистые.

Кремнеземистые (динасовые) огнеупоры изготавливают из кварцитов или кварцевого песка с добавкой глины. Огнеупорность динасов –

1710–1750 °С, предел прочности при сжатии – 15–35 МПа. Динасовыми огнеупорами футеруют мартеновские и стекловаренные печи.

Алюмосиликатные огнеупоры (шамоты) выдерживают температуру 1710–1730 °С, предел прочности при сжатии изделий – не менее 10 МПа. Указанными материалами футеруют вагранки, коксовые печи, стеклоразливочные ковши и т.д.

Задания для самопроверки

1. Как образуются глины в природе? Из каких минералов состоят глины? Химический состав глин и влияние отдельных оксидов на их свойства.

2. Что такое пластичность глин? Как ее определяют и изменяют? Как делятся глины по огнеупорности?

3. Какие процессы происходят при сушке и обжиге глин? Какие добавки вводят в глину при производстве керамических изделий и как они влияют на их свойства? Приведите примеры керамических изделий с плотной и пористой структурой.

4. Опишите способы производства керамических изделий, укажите их преимущества и недостатки. Перспективы развития керамической промышленности.

5. Облицовочные керамические материалы для наружной и внутренней облицовки, особенности их свойств.

6. Какие существуют огнеупорные изделия? Где они применяются? Что такое огнеупорность?

7. В чем преимущества керамических труб по сравнению с металлическими? Для каких целей применяют керамические трубы?

8. Что такое керамзит? Для каких целей его применяют и как получают? Опишите технологию получения санитарно-технических изделий.

5. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ

Неорганическими, или минеральными, вяжущими называют искусственно получаемые порошкообразные тонкодисперсные материалы, которые при затворении водой или водными растворами образуют пластично-вязкую массу, способную в результате физико-химических процессов затвердевать и превращаться в камень (рис. 5.1). Это самая большая и наиболее распространенная группа строительных материалов, используемых для производства различных безобжиговых искусственных каменных материалов и изделий, таких, как бетоны, растворы и асбестоцементные изделия.

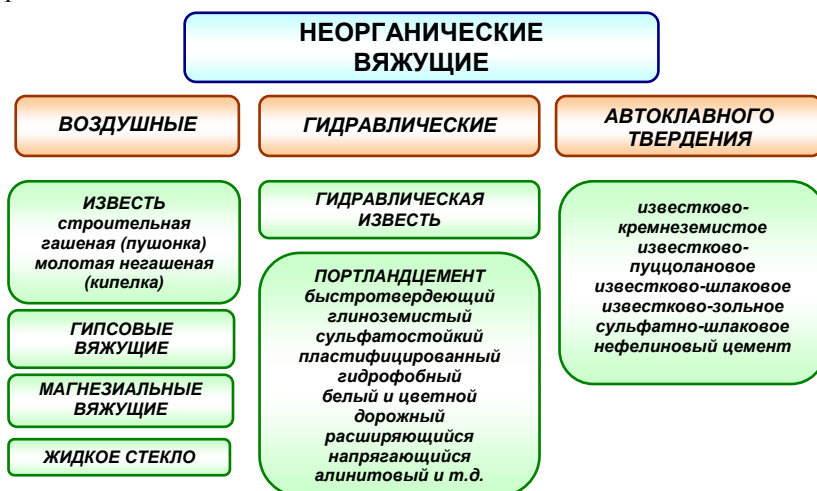


Рис. 5.1. Классификация неорганических вяжущих

Минеральные вяжущие разделяют на воздушные, гидравлические и автоклавного твердения.

Воздушные вяжущие способны твердеть, длительное время сохранять и повышать свою прочность только на воздухе. К ним относятся воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие, жидкое стекло.

Гидравлические вяжущие способны твердеть, длительное время сохранять и повышать свою прочность не только на воздухе, но и в воде.

Вяжущие автоклавного твердения представляют собой смесь строительной извести и тонкомолотого кварцевого песка или зол электростанций. Процесс их взаимодействия протекает в среде повышенной температуры и давления насыщенного пара.

5.1. Воздушные вяжущие

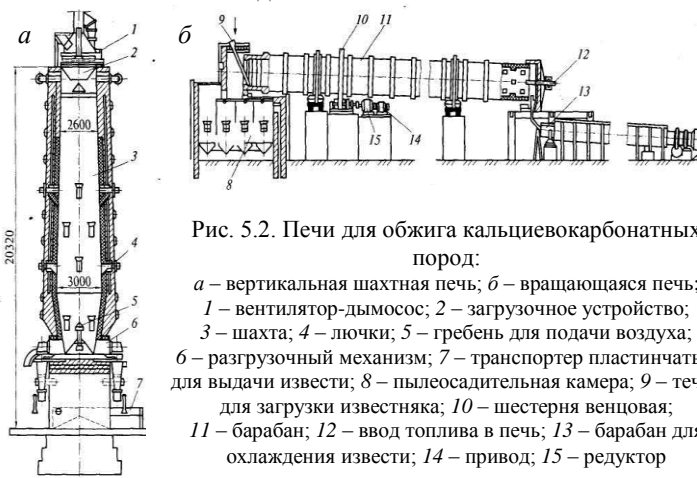
5.1.1. Строительная воздушная известь

Строительная воздушная известь представляет собой вяжущее, получаемое обжигом известняков или мела, содержащих не более 6 % глинистых примесей. В результате обжига образуется продукт в виде кусков белого цвета, называемый негашеной комовой известью (кипелкой). Из негашеной комовой извести можно получить негашеную молотую известь, гашеную гидратную известь (пушонку), известковое тесто, известковое молоко.

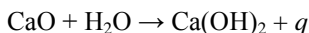
Сырьем служат, как уже было отмечено, карбонатные горные породы, известняк и мел, состоящие в основном из кальцита – CaCO_3 . Технологический процесс состоит из добычи породы в карьере, дробления, сортировки и последующего обжига в шахтных или вращающихся печах (рис. 5.2). Температура обжига – 1000–1200 °С. При этом происходит разложение кальцита:



Получаемая негашеная комовая известь представляет собой кусковой пористый материал плотностью 900–1100 кг/м³, которая затем измельчается или гасится водой.



Гашение извести производится добавкой воды в негашеную комовую известь, в результате чего CaO переходит в Ca(OH)_2 :



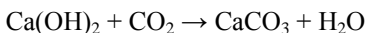
В зависимости от количества вводимой в негашеную комовую известь воды получают различные продукты.

В *гидратной извести* (пушонке) содержание вводимой воды колеблется от 60 до 70 %. При этом 32 % воды участвует в реакции, а остальная испаряется в процессе гашения. Объем извести увеличивается в 2–3 раза. Плотность извести-пушонки колеблется от 400 до 700 кг/м³.

Известковое тесто получают дополнительным добавлением воды в известь-пушонку (200–300 %). Плотность массы составляет около 1400 кг/м³.

Известковое молоко получают добавлением к извести еще большего количества воды.

Известь, как правило, используется в растворах вместе с песком или другими заполнителями, так как вследствие большой усадки известковое тесто при высыхании растрескивается. В известковом тесте содержится значительное количество воды, поэтому кристаллы Ca(OH)₂ разделены водными пленками. Известковый раствор на воздухе затвердевает в результате испарения воды и сближения мельчайших частичек Ca(OH)₂ с последующим срастанием в кристаллический сросток. Кроме того, на поверхности раствора с распространением на небольшую глубину происходит процесс карбонизации гидроксида кальция с образованием CaCO₃:



Образующийся карбонат кальция имеет высокую прочность, однако процесс карбонизации протекает медленно. Этим и объясняется медленное нарастание прочности известковых растворов. Для ускорения процессов схватывания и твердения изделия на основе известковых вяжущих подвергают автоклавной обработке при повышенных температуре и давлении.

Воздушную известь используют для приготовления известково-песчаных и смешанных строительных растворов, в производстве силикатных материалов автоклавного твердения, в качестве связующего вещества для малярных красочных составов и т.д. Растворы и изделия, изготовленные на воздушной извести, не следует применять во влажных помещениях и кладке фундаментов, так как они не водостойки.

Штукатурные растворы на молотой негашеной извести рекомендуются использовать как при положительной, так и при отрицательной температуре наружного воздуха, так как при приготовлении и нанесении раствора выделяется большое количество теплоты, излишки влаги испаряются, а сам раствор быстро твердеет.

5.1.2. Гипсовые вяжущие

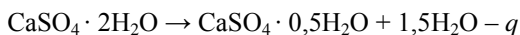
Гипсовыми вяжущими называют материалы, состоящие из полуводного или безводного (ангидрита) сульфата кальция и получаемые путем тепловой обработки гипсового сырья. Сырьем для производства гипсовых вяжущих служат природный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), называемый гипсовым камнем, природный ангидрит (CaSO_4) и некоторые отходы промышленности (фосфогипс, борогипс, цитрогипс и др.).

В зависимости от температуры тепловой обработки сырья гипсовые вяжущие делятся на низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают при температуре 110–180 °С. Они состоят в основном из полуводного сульфата кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) и характеризуются быстрым твердением. К ним относятся строительный гипс, формовочный и медицинский гипс.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают при температуре 600–1000 °С. Они состоят в основном из безводного сульфата кальция – ангидрита и характеризуются медленным твердением. К этим вяжущим относятся ангидритовое вяжущее (ангидритовый цемент) и высокообжиговый гипс (эстрихгипс).

Строительный гипс (гипсовое вяжущее β -модификации) получают в варочных котлах, сушильных барабанах, вращающихся печах. Наиболее распространено получение строительного гипса из измельченного гипсового камня в гипсоварочных котлах путем термической обработки при температуре 140–160 °С (до 65 % от общего объема производства). При этом происходит частичное удаление воды в парообразном состоянии:



Строительный гипс – порошок белого или серого цвета. Плотность в рыхлом состоянии – 800–1100 кг/м³ (в уплотненном – до 1400 кг/м³), истинная плотность – 2600–2750 кг/м³. Нормальная густота гипсового теста – 50–70 %. Марки гипсового вяжущего Г-2 – Г-7. Кристаллы β -полугидрата сульфата кальция приведены на рис. 5.3, а.

Высокопрочный гипс (гипсовое вяжущее α -модификации) получают тепловой обработкой сырья в закрытых аппаратах – автоклавах или кипячением в водных растворах некоторых солей. В результате этого образующиеся частицы вяжущего имеют более правильную форму, меньшую пористость и удельную поверхность, более высокий коэффициент упаковки, чем частицы строительного гипса. Это снижает водопотребность гипсовой смеси. Нормальная густота гипсового теста для высокопрочного гипса находится в пределах 35–45 % и поэтому

прочность его выше, чем у строительного. Марки высокопрочного гипса Г-10 – Г-25. Кристаллы α -полугидрата сульфата кальция приведены на рис. 5.3, б.

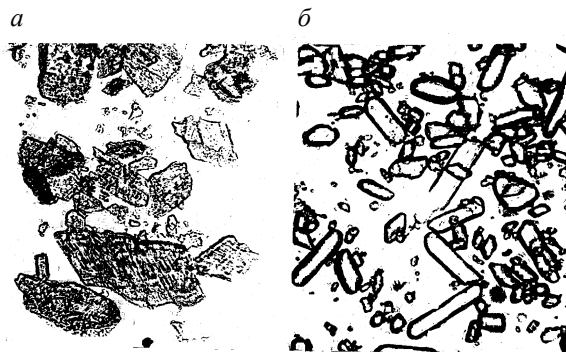


Рис. 5.3. Кристаллы полугидрата сульфата кальция:
а – β -модификации; б – α -модификации

Известны различные теории процесса гидратации гипсовых вяжущих веществ.

По теории Ле Шателье, полугидрат при смешивании с водой растворяется с образованием насыщенного водного раствора. В растворе он взаимодействует с водой и переходит в двугидрат. Учитывая, что растворимость полугидрата и двугидрата различная и составляет в пересчете на CaSO_4 8 г и 2,05 г в 1 л воды соответственно, раствор становится пересыщенным по отношению к двугидрату. В этом случае в жидкой фазе возникают условия для образования зародышей кристаллов гипса и выделения их из раствора, что вызывает снижение концентрации полугидрата в жидкой фазе, приводит к растворению нового количества этого вещества и образованию пересыщенного раствора двугидрата сульфата кальция. По мере выделения из раствора все новых и новых количеств гипса его кристаллики растут, переплетаются, срастаются и начинается процесс схватывания и твердения гипсовой смеси. Эта теория получила название кристаллизационной теории гидратации и твердения полугидрата сульфата кальция.

По мнению Михаэлиса, на механизм гидратации полуводного сульфата кальция решающее влияние оказывает процесс коллоидации, т.е. когда раствор становится насыщенным по отношению к полугидрату. Действие воды на него продолжается на поверхности (топохимически) вследствие их большого химического сродства. Образующийся при этом двугидрат не может переходить в пересыщенный по отноше-

нию к нему раствор. В результате этого он выделяется в коллоидно-дисперсном состоянии, которое обуславливает пластичность гипсового теста. Выделившийся в коллоидальном состоянии двуводный сульфат кальция в дальнейшем переходит в кристаллическую форму, причем потеря пластичности и начало схватывания гипсовой смеси вызываются образованием большого количества кристаллов двугидрата и трением, возникающим при их соприкосновении.

Предлагаемая Михаэлисом теория носит название коллоидальной теории гидратации и твердения гипсового вяжущего.

Академик А.А. Байков объясняет процессы твердения полугидрата сульфата кальция и других минеральных вяжущих веществ, образующих гидратные соединения, существованием и кристаллизационных, и коллоидальных процессов в системе «сульфат кальция–вода». Наличие этих физико-химических процессов и приводит к твердению гипсовых вяжущих веществ.

При этом весь процесс гидратации можно условно разделить на три периода: первый – растворение и образование насыщенного раствора; второй – образование коллоидальной массы в виде геля; третий – кристаллизация с переходом геля в кристаллизационный сродок. Следует подчеркнуть, что указанные периоды не следуют строго один за другим, а налагаются один на другой.

Гидратация основной массы полуводного сульфата кальция и кристаллизация двугидрата практически заканчиваются одновременно через 20–40 мин после затворения водой. К этому времени достигается максимальная прочность системы во влажном состоянии.

По мере удаления влаги (высыхания) прочность затвердевшего гипса значительно возрастает, что объясняется уже не процессами гидратации, которые завершились, а упрочнением контактов между кристаллическими сродками за счет удаления воды, смачивающей поверхность этих кристаллов, и устранения их взаимного скольжения. Это приводит также к резкому уменьшению деформаций ползучести под нагрузкой. При полном высыхании рост прочности прекращается. Происходящее при высыхании твердеющей массы нарастание прочности можно ускорить путем сушки гипса, при этом температура сушки не должна превышать 65 °С во избежание процесса его обратной гидратации.

Гидратация полуводного сульфата кальция сопровождается выделением 133 кДж тепла на 1 кг вяжущего. При этом повышается температура твердеющего материала, которая, однако, достигает 40–50 °С только при изготовлении крупных гипсовых изделий.

По срокам схватывания гипсовые вяжущие подразделяются на три группы: А – быстросхватывающиеся (начало схватывания – 2 мин, конец схватывания – 15 мин); Б – нормальносхватывающиеся (соответственно 6 и 30 мин); В – медленносхватывающиеся (начало схватывания – не ранее 20 мин).

По пределу прочности при сжатии гипсовые вяжущие делят на 12 марок – от Г-2 до Г-25. Марка гипса соответствует пределу прочности при сжатии образцов, полученных из гипсового теста нормальной густоты через 2 ч после изготовления. Размер изготавливаемых образцов-балочек 4×4×16 см.

По тонкости помола гипсовые вяжущие подразделяются на три группы: I – грубого помола (остаток на сите № 02 – до 23 %); II – среднего помола (остаток на сите № 02 – до 14 %); III – тонкого помола (остаток на сите № 02 – до 2 %).

Коэффициент размягчения гипсовых изделий находится в пределах 0,35–0,45, т.е. они относятся к неводостойким материалам. Ввиду низкого коэффициента размягчения изделий на основе гипсовых вяжущих использовать их можно в условиях с относительной влажностью до 60 %.

Гипсовые вяжущие применяют для производства перегородочных плит и панелей, гипсокартонных листов, вентиляционных коробов и т.п. Из гипса изготавливают гипсовые и известково-гипсовые штукатурные растворы, декоративные, теплоизоляционные и отделочные материалы, а также различные архитектурные детали.

Ангидритовый цемент получают обжигом природного гипсового камня при температуре 600–700 °С с последующим измельчением продукта обжига совместно с добавками-катализаторами. В качестве добавок применяют воздушную известь (1–5 %), смесь сульфата натрия с железным или медным купоросом (0,5–1,5 % каждого компонента), обожженный при 800–900 °С доломит (3–8 %), гранулированный доменный шлак (10–15 %). Ангидритовый цемент может быть получен также измельчением высушенного природного ангидрита CaSO_4 с добавками-катализаторами. Некоторые добавки-катализаторы, например сульфаты, вводятся с водой затворения.

Ангидритовый цемент – медленносхватывающееся вяжущее вещество. Водопотребность его меньше, чем строительного гипса, и поэтому, имея меньшую пористость, оно по прочности выше.

Эстрихгипс – это вяжущее вещество, полученное обжигом природного гипса при температуре 800–1000 °С с последующим тонким измельчением. Способность эстрихгипса схватываться и твердеть объ-

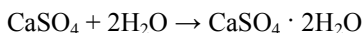
ясняется частичным разложением сульфата кальция при обжиге:



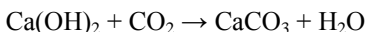
Образующийся при этом оксид кальция является катализатором, активизирующим безводный CaSO_4 .

Высокообжиговый гипс получают обжигом природного гипсового камня в шахтных или вращающихся печах с последующим измельчением продукта обжига в мельницах.

Твердение этого вяжущего основано на переходе безводного сульфата кальция в двухводный без промежуточного образования полугидрата:



Оксид кальция, входящий в состав вяжущего, переходит в гидроксид, а затем под действием CO_2 – в карбонат кальция:



Затвердевший эстрихгипс имеет прочность 15–30 МПа при малой теплопроводности и хорошей звукопоглощаемости.

5.1.3. Магнезиальные вяжущие

Эти вещества получают умеренным обжигом (при $t = 750\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$) магнезита (MgCO_3) и реже доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) до полного разложения MgCO_3 .

Обжиг доломита производится при температуре 750–800 °C (во вращающихся печах – до 1000 °C):



После помола MgO представляет собой воздушное вяжущее, называемое каустическим (каустический – жгучий, едкий) магнезитом, оно имеет предел прочности при сжатии 40–60 МПа, достигая иногда до 100 МПа (марки по прочности 400, 500 и 600).

Доломит производят умеренным обжигом при более низких температурах в интервале 650–750 °C, так как при более высокой температуре обжига он начинает разлагаться с образованием извести. Разложение происходит по схеме:



Смесь $\text{MgO} + \text{CaCO}_3$ называют каустическим доломитом, который из-за инертной примеси CaCO_3 не имеет высокой прочности – марка по прочности не превышает 100–300 (10–30 МПа).

Магнезиальные вещества чаще всего затворяют водным раствором хлористого или сернокислого магния. Соли MgCl_2 и MgSO_4 увеличивают растворимость MgO , что ускоряет твердение и значительно по-

вышает прочность. Наряду с гидратацией оксида магния (процесс протекает очень медленно), происходит образование гидрохлорида магния $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Каустический магнезит хорошо твердеет только при положительных температурах (более 12 °С). Он является очень гигроскопичным материалом – может гидратироваться за счет поглощения влаги из воздуха. Поэтому его доставляют на строительные объекты в герметичных металлических барабанах или особой бумажной таре.

Сроки схватывания магнезиальных вяжущих веществ: начало – не ранее 20 мин, а конец – не позднее 6 ч с момента затворения солевым раствором.

Магнезиальные вяжущие имеют хорошее сцепление с органическими заполнителями и применяются для производства изделий с древесными опилками (ксилолита) либо с древесной шерстью – узкой и длинной древесной стружкой (фибrolита). Ксилолит используется для изготовления бесшовных полов и облицовочной плитки, фибролит – для производства теплоизоляционных изделий и перегородок помещений в сельском строительстве.

5.1.4. Растворимое (жидкое) стекло

Для производства растворимого стекла сырьем служат в основном чистый кварцевый песок (SiO_2) и кальцинированная сода (Na_2CO_3) или сернокислый натрий (Na_2SO_4), значительно реже вторым компонентом является поташ (K_2CO_3).

Тщательно перемешанную смесь указанных компонентов расплавляют в стекловаренных печах при температуре 1300–1400 °С, а затем полученную стекломассу выгружают в вагонетки, где она быстро охлаждается и раскалывается на куски, именуемые силикат-глыбой. Полученную силикат-глыбу растворяют 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 – $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ и калиевого – $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, где n – модуль жидкого стекла, равный соответственно 2,6–3,5 и 3–4. Модуль показывает, во сколько раз в грамм-молекуле щелочного силиката больше кремнезема, чем оксида щелочного металла. В строительстве используют главным образом более дешевый силикат натрия – $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$.

Твердеет жидкое стекло только на воздухе. Под действием углекислого газа силикат натрия (калия) разлагается:



Выделяющийся в виде коллоидного раствора аморфный кремнезем обладает клеящей способностью; упрочнение клея связано с его высыханием.

Жидкое (растворимое) стекло применяют для производства кислотоупорных цемента, жароупорных бетонов, силикатных красок и обмазок, для пропитки (силикатизации) грунтовых оснований, предохранения естественных каменных материалов от выветривания и т.д.

5.2. Гидравлические вяжущие

5.2.1. Гидравлическая известь

Гидравлическую известь получают обжигом мергелистых известняков или мела при температуре 900–1100 °С, которые могут содержать в своем составе от 6 до 20 % глинистых минералов. При обжиге образуется не только свободная известь CaO, но и ее химические соединения с оксидами глины: силикаты $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (или Ca_2SiO_4), алюминаты $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (или $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_3$), ферриты $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (или $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$) кальция. После затворения извести водой происходит образование гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция, не растворимых в воде, что придает гидравлические свойства извести. Гидравлическая известь начинает твердеть на воздухе и продолжает набирать прочность, в отличие от воздушной, в воде. Предел прочности при сжатии гидравлической извести через 28 сут комбинированного хранения (первые 7 сут – на воздухе и последующие 21 сут – в воде) составляет 2–5 МПа и выше при испытании образцов-кубов из смеси состава 1 : 3 (известь–песок). Учитывая, что в гидравлической извести содержится значительное количество свободной извести CaO, она гасится, как и воздушная известь.

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

$$m = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot 100\%$$

Для гидравлической извести основной модуль может колебаться от 1,7 до 9,0, т.е. в очень широких пределах. От него зависят свойства извести. Различают слабогидравлическую ($m = 4,5\text{--}9,0$) и сильногидравлическую ($m = 1,7\text{--}4,5$) известь. При гидравлическом модуле менее 1,7 получают романцемент, а если он больше 9, – воздушную известь.

Сейчас гидравлическая известь имеет ограниченное применение – в основном для изготовления строительных растворов и бетонов низких марок.

5.2.2. Портландцемент

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее, получаемое тонким помолом портландцементного клинкера с гипсом, а иногда и со специальными добавками. Природный гипс добавляют при помоле клинкера в количестве 1,5–3,5 % (в пересчете на SO_3) для регулирования сроков схватывания портландцемента.

Портландцементный клинкер – продукт обжига до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка или мела и глины. Размер клинкера 10–20 мм, иногда до 50–60 мм, в зависимости от вида печи обжига. Сырьем для производства клинкера может служить также мергель – природная смесь глинистых минералов и кальцита. Сырьевая смесь обычно состоит из 75–78 % известняка или мела и 22–25 % глины.

В зависимости от свойств сырья и типа обжигательных печей сырье к производству готовят мокрым или сухим способом. При *мокроем* способе (рис. 5.4) компоненты измельчают и смешивают в присутствии воды и смесь в виде шлама влажностью 36–42 % обжигают. При *сухом* способе сырьевые компоненты измельчают, смешивают, гранулируют и обжигают в сухом виде. Существует и *комбинированный способ*, при котором подготовка сырья ведется по мокрому способу, а затем шлам обезвоживается и производится обжиг. Обжиг сырьевых материалов осуществляется в основном во вращающихся печах при температуре 1450 °С.

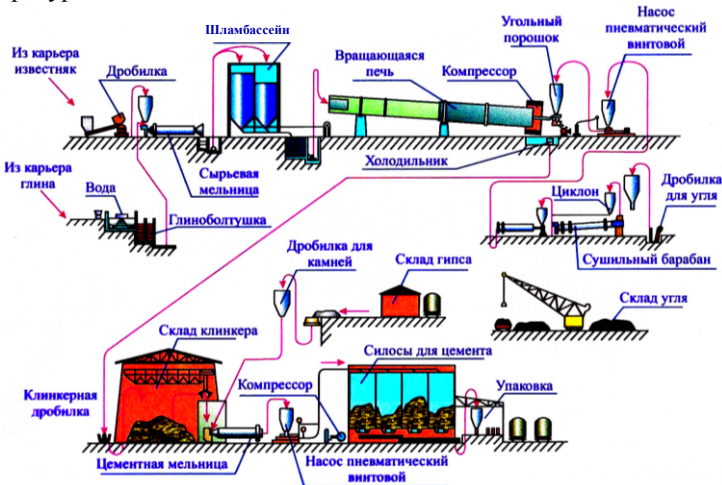


Рис. 5.4. Схема производства портландцементного клинкера мокрым способом

Минеральный и химический состав клинкера

Минеральный состав образующегося в результате обжига клинкера следующий:

- *трехкальциевый силикат* $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S), называемый алитом, – 40–65 %;
- *двухкальциевый силикат* $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_2S), называемый белитом, – 15–40 %;
- *трехкальциевый алюминат* $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – 2–15 %;
- *четырекальциевый алюмоферрит* $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF), называемый целлитом, – 10–20 %.

При изучении аншлифов при помощи микроскопа установлено, что клинкер состоит из нераскристаллизованной массы C_3A и C_4AF , на фоне которой выделяются кристаллы алита (C_3S) и белита (C_2S). Микроструктура протравленного шлифа портландцементного клинкера приведена на рис. 5.5.

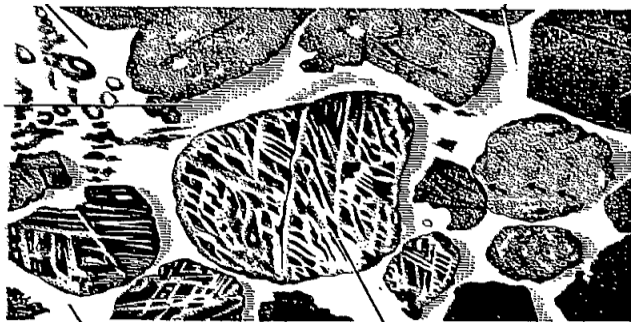
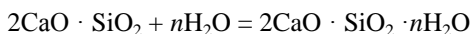


Рис. 5.5. Микроструктура протравленного шлифа портландцементного клинкера (по Ф. Трейер)

Трехкальциевый силикат – химически наиболее активный искусственный минерал, в значительной степени влияющий на скорость твердения и прочность цемента. Он быстро схватывается, твердеет и набирает высокую прочность:

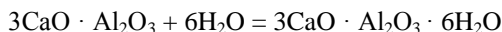


Двухкальциевый силикат при затворении водой в начальный период твердеет медленно и имеет невысокую прочность, но в дальнейшем, иногда через несколько месяцев или лет, его прочность достигает прочности алита:



Трехкальциевый алюминат твердеет быстро, но продукт гидрата-

ции имеет низкую прочность и малую стойкость против воздействия сернокислых соединений:



Четырехкальциевый алюмоферрит по свойствам занимает место между трехкальциевым и двухкальциевым силикатом:



Химический состав портландцементного клинкера представлен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Химический состав портландцементного клинкера

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O + + K ₂ O	TiO ₂ + + Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO _{своб}
63–66	21–24	4–8	2–4	0,5–5	0,3–1	0,4–1	0,2–0,5	0,1–0,3	0,5–1

К основным свойствам портландцемента относятся:

насыпная плотность в рыхлом состоянии 1000–1100 кг/м³

насыпная плотность в уплотненном состоянии . . . 1400–1700 кг/м³

истинная плотность 3050–3150 кг/м³

тонкость помола, остаток на сите № 008 не более 15 %

удельная поверхность 250– 300 м²/кг

нормальная густота цементного теста 22– 26 %

начало срока схватывания, не ранее 45 мин

конец срока схватывания, не позднее 10 ч

Прочность портландцемента характеризуется его маркой или классом. Марки портландцемента – 300; 400; 500; 600. Класс портландцемента – 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

Условное обозначение цементов

Условное обозначение цементов производится в соответствии с ГОСТ 31108–2003 «Цементы общестроительные. Технические условия». Условное обозначение цементов должно состоять:

- из наименования цемента;
- сокращенного обозначения цемента, включающего обозначения типа и подтипа цемента и вида добавки;
- класса прочности;
- обозначения подкласса;
- обозначения настоящего стандарта.

Примеры условных обозначений:

1. Портландцемент класса 42,5, быстротвердеющий:

Портландцемент ЦЕМ I 42,5 Б ГОСТ 31108–2003.

2. Портландцемент со шлаком (Ш) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

Портландцемент со шлаком ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108–2003.

3. Портландцемент с известняком (И) от 6 до 20 %, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

Портландцемент с известняком ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108–2003.

4. Композиционный портландцемент с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 6 до 20 %, класса прочности 32,5, быстротвердеющий:

Композиционный портландцемент ЦЕМ III/А-К(Ш-З-И) 32,5Б ГОСТ 31108–2003.

5. Шлакопортландцемент с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65 %, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

Шлакопортландцемент ЦЕМ III/А 32,5Н ГОСТ 31108–2003.

6. Пуццолановый цемент с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы-уноса (З) и микрокремнезема (МК) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/А (П-З-МК) 32,5Н ГОСТ 31108–2003.

7. Композиционный цемент с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 11 до 30 % и золы-уноса (З) от 11 до 30 %, класса прочности 32,5, нормальноотвердеющий:

Композиционный цемент ЦЕМ V/А(Ш-З) 32,5Н ГОСТ 31108–2003.

Разновидности портландцемента

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) характеризуется быстрым нарастанием прочности в первые 3 сут твердения. Это достигается за счет повышенного содержания в его составе C_3S и C_3A (до 60–65 %), а также за счет повышения тонкости помола до 400–450 м²/кг и более. Допускается введение до 15–20 % минеральных добавок.

Пластифицированный портландцемент (ППЦ) получают путем совместного помола клинкера, гипса и пластифицирующих добавок – ССБ, СДБ и других в количестве 0,15–0,25 % от массы цемента. Марки этого цемента – 400 и 500. Пластифицированный портландцемент придает растворным и бетонным смесям повышенную пластичность, морозостойкость и водонепроницаемость. Использование этого вида цемента позволяет сократить его расход в сравнении с обычным портландцементом на 5–8 % за счет снижения водопотребности. Используют пластифицированный цемент в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве.

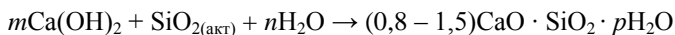
Гидрофобный портландцемент (ГПЦ) получают введением при

помоле клинкера гидрофобизирующей добавки в количестве 0,1–0,3 % массы цемента. В качестве добавки применяют мылонафт, асидол, представляющие собой наftenовые кислоты, получаемые при щелочной очистке масляных и соляровых дистиллятов при переработке нефти, а также синтетические жирные кислоты (СЖК) или их кубовые остатки и др. Эти вещества образуют на зернах цемента тончайшие водоотталкивающие пленки, препятствуя проникновению к ним влаги. Во время перемешивания с водой, при изготовлении растворных и бетонных смесей эти пленки легко разрушаются и обеспечивается нормальное схватывание и твердение цемента. Используется ГПЦ в дорожном, гидротехническом, аэродромном строительстве.

Сульфатостойкий портландцемент (СПЦ) получают тонким помолом из клинкера следующего минерального состава: C_3S – не более 50 %, C_3A – не более 5 %, $C_3A + C_4AF$ – не более 22 %, MgO – 5 %. Введение минеральных добавок не допускается. Сульфатостойкий портландцемент характеризуется повышенной сульфато-, морозо- и водостойкостью. Применяют этот вид цемента в гидротехническом строительстве и в условиях эксплуатации бетона в среде повышенного содержания сульфатов в водных растворах или газах.

Декоративный портландцемент изготавливают из сырьевых материалов с малым содержанием окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома), из чистых известняков или мелов и каолиновых глин. Для окрашивания при помоле добавляют сурик, охра, ультрамарин и другие красители. Белый и цветной цементы используют при архитектурно-отделочных работах для получения фактурного слоя стеновых панелей, а также для изготовления искусственного мрамора и облицовочных плиток.

Портландцементы с активными минеральными добавками получают совместным помолом портландцементного клинкера и активных минеральных добавок, состоящих в основном из опала ($SiO_2 \cdot nH_2O$) – аморфной разновидности кремнезема. Опал вступает в реакцию с гидроксидом кальция с образованием труднорастворимых гидросиликатов кальция:



(Коэффициент p находится в пределах 0,5–2,5.)

Полученные гидросиликаты имеют общую формулу: $CSH(B)$ – по Боггу или $C-S-H(I)$ – по Тейлору. Возможно также образование гидрогеленита – $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 8H_2O$.

К активным минеральным добавкам относятся трепел, опока, вулканические туф и пепел, пемза, шлаки.

Пуццолановый портландцемент содержит в своем составе от 20 до 40 % активных минеральных добавок. Его водопотребность 30–38 %, насыпная плотность в рыхлом состоянии – 800–1000 кг/м³.

Шлакопортландцемент содержит в своем составе от 20 до 60 % гранулированного доменного шлака, который измельчается совместно с портландцементным клинкером. Его насыпная плотность в рыхлом состоянии – 1000–1300 кг/м³, нормальная густота – 26–30 %.

Портландцемент с активными минеральными добавками применяют наряду с обычным портландцементом при изготовлении строительных растворов, бетонных и железобетонных изделий.

Глиноземистый цемент изготавливают из бокситов. Нормальная густота – 23–28 %, насыпная плотность в рыхлом состоянии – 1000–1300 кг/м³. Глиноземистый цемент характеризуется интенсивным набором прочности: через 24 ч он набирает 80–90 % марочной прочности. Используется глиноземистый цемент при срочных ремонтных и аварийных работах. Стоимость этого цемента в 2–3 раза выше, чем портландцемента.

5.2.3. Смешанные вяжущие вещества со специальными свойствами

К смешанным вяжущим веществам относятся безусадочные, расширяющиеся, напрягающиеся цементы, а также гипсоцементно-пуццолановые и гипсоизвестково-шлаковые вяжущие вещества. Расширяющиеся и безусадочные цементы отличаются способностью при твердении во влажных условиях несколько увеличиваться в объеме или не давать усадки.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) получают путем совместного помола портландцемента или глиноземистого цемента, гипсового вяжущего и высокоосновного гидроалюмината кальция. Цемент характеризуется быстрым схватыванием: начало – ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин с момента затворения водой. Линейное расширение образцов, твердеющих в воде в течение суток, должно быть в пределах 0,3–1 %. Расширение происходит за счет образования гидросульфалюмината кальция в результате взаимодействия алюминатов кальция и гипса. Применяют ВРЦ для заделки швов, раструбных соединений, трещин и стыков в железобетонных конструкциях. Нельзя применять указанный цемент в конструкциях, эксплуатируемых при температуре выше 80 °С.

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ) получают путем тщательного смешивания глиноземистого цемента, гипсового вяжущего и гашеной извести. Начало схватывания цемента – не ранее 1 мин, а

конец – не позднее 5 мин с момента затворения. Величина линейного расширения через 1 сут твердения в воде – 0,01–0,1 %.

Напрягающийся цемент (НЦ) получают путем совместного помола смеси природного гипса, высокоглиноземистого компонента (глиноземистый цемент, шлак) и портландцементного клинкера. В некоторых случаях для увеличения эффекта расширения в состав смеси вводят известь в количестве не более 2 %. Применяют НЦ в конструкциях подземных, подводных и различных напорных сооружений.

Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее вещество (ГЦПВ) получают смешиванием 50–75 % гипсового вяжущего, 15–25 % портландцемента и 10–25 % пуццолановой (гидравлической) добавки. Они характеризуются быстрым схватыванием и твердением (сроки схватывания близки к срокам схватывания гипсового вяжущего) и повышенной водостойкостью (коэффициент размягчения находится в пределах 0,6–0,8). Через 2–3 ч после изготовления прочность достигает 30–40 % марочной. Морозостойкость изделий на основе ГЦПВ – 25–50 циклов. Применяют эти вяжущие для изготовления санитарно-технических кабин, оснований полов, вентиляционных блоков и других изделий.

Гипсо-известково-шлаковые вяжущие (ГИШВ) получают путем совместного помола гипсового щебня фракции 20–60 мм, подвергнутого тепловой обработке в автоклаве (68–73 %), кислого доменного гранулированного шлака (23–30 %) и строительной негашеной комовой извести (2–3 %). Выпускают ГИШВ марок 100, 150, 200 и 300. Тонкость помола вяжущего должна быть не более 10 % остатка на сите № 02. Сроки схватывания: начало – не ранее 8 мин, конец – не позднее 20 мин. Коэффициент размягчения – 0,6. Гипсо-известково-шлаковые вяжущие используют для изготовления крупных блоков, ограждающих конструкций, перегородок, вентиляционных блоков, сборных элементов шахт лифтов.

Высокоэффективные композиционные вяжущие

Получение высокоэффективных вяжущих веществ нового поколения сегодня сопровождается использованием сложных составов компонентов с целью получения высококачественных бетонов разного функционального назначения с улучшенными, а иногда и с принципиально новыми свойствами и определенной заранее заданной структурой. В основу создания таких вяжущих положен принцип целенаправленного управления технологией на всех ее этапах: использование активных компонентов, разработка оптимальных составов, применение химических модификаторов и механохимической активации компонентов и некоторых других приемов.

По такому принципу было получено *вяжущее низкой водопотребности* (ВНВ) с повышенным содержанием суперпластификатора при использовании обычного портландцемента и активных наполнителей (золы, песка и др.).

ВНВ получают путем интенсивной механохимической обработки портландцемента с минеральной добавкой в присутствии порошкообразного суперпластификатора. По сравнению с обычным портландцементом ВНВ характеризуется высокой дисперсностью (удельная поверхность 400–500 м²/кг), низкой водопотребностью (нормальная плотность цементного теста в среднем равна 18,0–20,0 %, при том, что у портландцемента ЦЕМ I 32,5 Н и ЦЕМ I 42,5 Н нормальная плотность составляет 26,5 и 26,0 %); активность по показателю прочности до 100 МПа. По вещественному составу ВНВ подразделяют на чисто клинкерные (ВНВ-100) и многокомпонентные с различными активными и инертными минеральными добавками. В качестве активных минеральных добавок используют доменные шлаки и золы-унос; инертные добавки – это кварцевый песок, хвосты горно-обогажительных комбинатов. Характерной особенностью цементных систем на основе ВНВ является существенное замедление процессов структурообразования в первые 4–8 ч после затворения с последующей интенсивной кристаллизацией и твердением. Длительность индукционного периода сокращается с увеличением содержания клинкерного компонента в его составе. ВНВ характеризуется длительным сохранением активности и интенсивным набором прочности цементного камня и бетона в различные, в том числе и в ранние сроки твердения. ВНВ применяют для изготовления бетона и железобетона повышенной прочности при получении арболита с повышенными физико-техническими свойствами, а также в составе полимерцементных покрытий полов промышленных зданий и при зимнем беспрогревном бетонировании.

Использование дополнительного измельчения традиционного портландцемента позволило получить целую серию так называемых тонкомолотых цемента. *Тонкомолотый многокомпонентный цемент* (ТМЦ) применяют при изготовлении бетона и железобетона, в том числе монолитного, в целях экономии портландцемента или получения материалов с повышенными эксплуатационными свойствами, а также для получения неавтоклавного ячеистого бетона. ТМЦ получают повторным помолотом портландцементов с различными минеральными добавками природного и искусственного происхождения (кварцевыми песками, известняками, перлитами, вулканическими породами, золами

ТЭЦ, доменными шлаками). Их вводят в цемент взамен части клинкера в количествах до 50 %. ТМЦ изготавливают как на цементных заводах, так и непосредственно на предприятиях стройиндустрии с применением различного помольного оборудования, с использованием портландцементов различной минералогии и различных пластификаторов. Оптимальная дисперсность ТМЦ составляет $450 \text{ м}^2/\text{кг}$. Дальнейшее увеличение тонкости помола практически не повышает прочности бетона, но значительно увеличивает расход энергии на помол. Замена части клинкера наполнителем обусловила увеличение дозировок пластификаторов, при этом достигается снижение водосодержания бетонной смеси. Наиболее существенное снижение водопотребности имеет место при использовании ТМЦ с дисперсностью $450 \text{ м}^2/\text{кг}$. Редуцирующий эффект был выше, чем у обычных цементов с удельной поверхностью $300 \text{ м}^2/\text{кг}$. В случае применения в качестве наполнителя обычного кварцевого песка рациональным по вещественному составу является ТМЦ-70 с содержанием 70 % клинкера и 30 % песка. Использование такого вяжущего вещества совместно с пластификаторами (несмотря на увеличение его расхода до 30 %) позволяет сокращать расход клинкерного цемента. В бетонах без пластификаторов эффективность применения ТМЦ значительно снижается и экономия клинкера не превышает 10 %.

Важно отметить, что утилизация техногенных отходов при производстве бетона и железобетона будет способствовать решению актуальных экологических проблем в индустриально развитых регионах России (переработка самих отходов, сокращение объема отходов, высвобождение дополнительных площадей для сельскохозяйственных угодий и другие благоприятные факторы).

Активные минеральные добавки, вводимые непосредственно в бетонные смеси (активные наполнители), широко применяются для экономии цемента и их наиболее энергоемкого компонента – цементного клинкера.

Введение минеральных добавок в бетонную смесь имеет ряд известных преимуществ по сравнению с их введением в портландцемент. Оно широко реализуется в ряде развитых стран мира. Положительный опыт накоплен и в странах СНГ. Наиболее эффективно введение золы и других минеральных добавок в бетонные смеси на бездобавочном портландцементе. При этом представляется возможным более гибко управлять свойствами бетона, добиваться большей стабильности его качества.

Задания для самопроверки

1. Классификация гипсовых вяжущих веществ. Перспективы развития гипсовых вяжущих веществ, их преимущества перед другими неорганическими вяжущими веществами.

2. В чем отличие высокопрочного гипса от строительного? Почему высокопрочный гипс прочнее строительного в 4–5 раз? Особенности получения, свойств и применения в строительстве ангидритового цемента и эстрихгипса.

3. Различие между строительной известью воздушного и гидравлического твердения, особенности сырьевых материалов. Использование этого вида вяжущих веществ в строительстве.

4. Романцемент, сырье для его получения, особенность свойств и отличие от портландцемента. Применение романцемента в строительстве.

5. Из каких сырьевых материалов получают портландцемент? Опишите основные этапы производства портландцемента. Способы подготовки сырья для получения портландцемента, преимущества и недостатки. Перспективы развития цементной промышленности.

6. Минеральный состав портландцементного клинкера. Как изменяются свойства портландцемента с изменением его минерального состава? Свойства портландцемента. Опишите методику определения сроков схватывания портландцемента.

7. Что такое клинкер? Зачем при помоле клинкера добавляют гипс? Опишите механизм действия гипса. Опишите методику определения марки портландцемента.

8. Сущность обобщенной теории твердения портландцемента и других неорганических веществ, созданной А.А. Байковым.

9. Разновидности портландцемента, особенности их получения и применения в строительстве. Опишите подробно сульфатостойкий портландцемент.

10. Пластифицированный и гидрофобный портландцементы, особенности технологии их получения и применения в строительстве. Как определяют нормальную густоту цементного теста?

11. Коррозия цементного камня. Меры защиты от коррозии.

12. Глиноземистый цемент. Сырьевые материалы, особенности свойств и применения в строительстве.

13. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества, особенности применения в строительстве. Их преимущества и недостатки по сравнению с гипсовыми вяжущими веществами и портландцементом.

14. В чем особенности производства ВНВ и ТМЦ?

6. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Бетоны – искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей и добавок.

Вяжущее и вода являются активными составляющими бетона. В результате реакции между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна заполнителей. Их количество в бетоне – 10–15 %.

Заполнители (песок, гравий и щебень) образуют жесткий скелет бетона и уменьшают его усадку. В легких бетонах пористые заполнители уменьшают плотность и теплопроводность бетона. Количество заполнителей в бетоне – 85–90 %.

Добавки вводятся для улучшения свойств бетонной смеси и бетона: повышают подвижность бетонной смеси, регулируют сроки схватывания, ускоряют процесс твердения, повышают морозостойкость и т.д. Количество вводимых добавок – от сотых до десятых долей процента.

6.1. Классификация бетонов

Бетоны классифицируют по ряду признаков: средняя плотность, вид применяемого вяжущего, структура, назначение и т.д.

По *средней плотности* бетоны подразделяют следующим образом:

- особо тяжелый бетон со средней плотностью более 2600 кг/м^3 . В составе этих бетонов в качестве заполнителя используют стальные опилки или зерна (стальбетон), железные руды;

- тяжелый (обычный) бетон со средней плотностью $2100\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$. Бетон содержит в качестве заполнителя гравий или щебень из плотных пород, кварцевый песок;

- облегченный бетон со средней плотностью $1800\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$. В качестве заполнителя этот бетон содержит кирпичный бой или не имеет в своем составе мелкого заполнителя (песка);

- легкий бетон со средней плотностью $1200\text{--}1800 \text{ кг/м}^3$. В качестве заполнителя этого вида бетона используют пористые материалы (шлак, пемзу, керамзитовый или аглопоритовый гравий);

- особо легкий бетон со средней плотностью менее 1200 кг/м^3 (чаще $500\text{--}800 \text{ кг/м}^3$). К этому бетону относят пено- и газобетон, крупнопористый бетон с легкими заполнителями.

По *виду вяжущего* бетоны подразделяют:

- на цементные;
- силикатные;

- гипсовые;
- на шлакощелочном вяжущем.

По *виду заполнителей* различают:

- бетоны на плотных заполнителях ($W_{об.з} < 6 \%$);
- бетоны на пористых заполнителях ($W_{об.з} > 6 \%$);
- бетоны на специальных заполнителях (химически стойкие, жаростойкие).

По *крупности зерен заполнителя* бетоны подразделяют так:

- крупнозернистые – бетоны с крупным и мелким заполнителем;
- мелкозернистые – бетоны, не содержащие крупного заполнителя (щебня или гравия).

По *структуре* бетоны делят на *плотные, крупнопористые, поризованные и ячеистые*:

- плотными называют бетоны, в которых степень заполнения объема пустот между зернами заполнителей составляет не менее 94 %;
- крупнопористыми называют бетоны, у которых пространство между зернами крупного заполнителя только частично заполнено мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим;
- поризованными называют бетоны, у которых объем пустот между зернами заполнителей заполнен цементным камнем повышенной пористости вследствие введения в бетонную смесь пено- или газообразователей или воздухововлекающих добавок;
- ячеистыми называют высокопористые бетоны, не содержащие крупного заполнителя с равномерно распределенными порами в виде ячеек диаметром 1–2 мм.

По *условиям твердения* бетоны подразделяют следующим образом:

- бетоны естественного твердения;
- бетоны, подверженные термовлажностной обработке (ТВО) при атмосферном давлении;
- бетоны автоклавного твердения при повышенном давлении.

По *назначению* бетоны подразделяют:

- на конструкционные (фундаментные блоки, колонны, балки, плиты);
- конструкционно-теплоизоляционные (наружные ограждающие конструкции – стены гражданских и жилых зданий);
- теплоизоляционные (утеплительные плиты из пено- и газосиликата);
- гидротехнические (плотины, облицовочные плиты каналов);
- дорожные (дороги, аэродромы);

– специальные (жаростойкий, химически стойкий, декоративный бетоны, бетонополимер, фибробетон, полимербетон).

6.2. Материалы для бетона

Цемент

Выбор класса цемента зависит от проектного класса бетона при сжатии. На практике чаще всего используют портландцемент классов 32,5 и 42,5. Для изготовления морозостойких бетонов, а также бетонов, подвергающихся сульфатной коррозии, рекомендуется применять сульфатостойкий портландцемент.

Заполнители для бетона

Песок представляет собой рыхлую смесь зерен горных пород размером 0,14–5 мм, разрушенных естественным или искусственным путем. Чаще всего применяются кварцевые пески с примесями. Их используют для любых видов бетонов. Содержание в песке зерен, проходящих через сито с ячейкой 0,14 мм, не должно превышать 10 %, более 5 мм – не более 5 %. Содержание илистых и глинистых примесей не должно превышать 3 % по массе. Содержание органических примесей допускается в самых небольших количествах.

При определении пригодности песка для изготовления бетона пользуются графиком зернового состава песка, в котором указана область допустимых значений. Ниже этой области – область крупных песков, а выше – область мелких песков.

Гравий – рыхлая смесь зерен округлой формы размером 5–10 мм, *галька* – 10–70 мм, образовавшиеся в результате естественного разрушения (выветривания) твердых горных пород. Гравий может быть горным, речным и морским. Для улучшения сцепления с цементом гравий и гальку можно дробить на щебень. Получают гравий и искусственным путем – обжигом глины до спекания. Такой гравий носит название керамзитовый или аглопоритовый. Объем пустот в гравии – не более 45 %.

Щебень – рыхлая смесь, получаемая дроблением больших кусков различных твердых горных пород, а также кирпичного боя и шлаков. Размеры зерен щебня – от 5 до 70 мм. Частицы менее 5 мм используют в качестве песка.

Щебень отличается от гравия остроугольной формой и шероховатой поверхностью зерен, в связи с чем его сцепление с цементно-песчаным раствором лучше, чем гравия.

Щебень делится на фракции: 5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм и 40–70 мм. Объем пустот в щебне – не более 50 %.

Для тяжелых бетонов необходимо применять щебень, полученный из горных пород, имеющих прочность в 1,5–2 раза выше заданной марки бетона.

Важной характеристикой для щебня является дробимость. Существуют марки по дробимости: Др8, Др12, Др16 и Др24. Соответственно величины 8, 12, 16 и 24 показывают предельное количество массовых процентов мелких зерен размером менее 5 мм, образовавшихся при раздавливании пробы материала в специальном цилиндре.

Важной характеристикой для щебня является также его морозостойкость. По морозостойкости гравий и щебень подразделяют на марки от 15 до 300 (15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300).

Добавки

Получение бетонов нового поколения, а также обладающих специальными свойствами, невозможно без применения качественного, высокопрочного и однородного по свойствам вяжущего, без внедрения эффективных технологических решений, без использования специальных добавок для модификации портландцемента и бетонных смесей. Добавки (модификаторы химические, минеральные, искусственные и натуральные) вводят в исходный шлам при обжиге клинкера, добавляют при помоле обожженного клинкера, вводят в бетонные и растворные смеси. Добавки классифицируются по качеству, назначению, по величинам технологических эффектов.

Добавки для бетонов – это *органические и неорганические вещества* или их смеси (комплексы), за счет введения которых в состав бетонов и бетонных смесей направленно и контролируемо регулируются свойства этих бетонов и смесей. Применяются для снижения затрат на строительство (в том числе экономии цемента), модификации качественных и функциональных характеристик бетонов, сохранения его свойств при подготовке бетонной смеси, ее укладке, вибрировании, твердении.

Классификация добавок по функциональному назначению (в соответствии со стандартом) приведена в табл. 6.1. Помимо основного эффекта воздействия, по которому добавку относят к той или иной группе, для большинства групп добавок вообще и конкретных типов в частности характерны дополнительные эффекты (табл. 6.2), которые могут быть не менее сильны и не менее значимы, чем основной эф-

фект. Побочные эффекты могут быть как положительными, так и отрицательными. При расходах добавки в рамках установленных интервалов побочные эффекты, как правило, не приносят резко выраженных отрицательных свойств.

Таблица 6.1

Классификация добавок в соответствии с ГОСТ 24211-2003

Регулирующие реологические свойства бетонных смесей (увеличивающие подвижность или снижающие жесткость)	Суперпластификаторы (I группа); сильнопластифицирующие (II группа); среднепластифицирующие (III группа); вододерживающие (IV группа)
	Стабилизирующие (предупреждающие расслоение)
	Вододерживающие (уменьшающие водоотделение)
Регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетонов	Замедляющие схватывание
	Ускоряющие схватывание
	Ускоряющие твердение
	Обеспечивающие твердение при отрицательных температурах (противоморозные)
Регулирующие пористость бетонной смеси и бетона	Воздухововлекающие
	Газообразующие
	Пенообразующие
	Уплотняющие (воздухоудаляющие или кальматирующие поры)
Придающие бетону специальные свойства	Уменьшающие смачивание (гидрофобизирующие)
	Изменяющие электропроводность
	Повышающие противорадиационную защиту
	Повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства
	Красящие
	Повышающие стойкость в агрессивных средах
	Повышающие жаростойкость
	Повышающие защитные свойства бетона к стали (ингибиторы коррозии стали)
Минеральные порошки – заменители цемента	
Регулирующие одновременно различные свойства бетонных смесей и бетонов (полифункционального действия)	Пластифицирующие-воздухововлекающие
	Пластифицирующие, повышающие прочность
	Газообразующие-пластифицирующие

Минеральные порошки-заменители цемента (активные минеральные добавки и наполнители) составляют отдельную и достаточно автономную группу. Эти порошки вводят либо при помоле клинкера, либо непосредственно в бетонную смесь. Минеральные добавки снижают затраты на строительство, повышают прочность, морозостойкость, водонепроницаемость бетона, а также оказывают влияние на конечные свойства бетона за счет гидравлического или пуццоланового воздействия. Добавки, проявляющие пуццолановую активность, могут быть как естественного происхождения (вулканический пепел), так и побочными продуктами металлургической промышленности (кремнеземная пыль, микрокремнезема) или образующимися при сгорании топлива (зола-унос).

Таблица 6.2

Основной эффект действия добавки и возможные дополнительные эффекты

Вид добавки	Основной эффект	Возможные дополнительные эффекты
1	2	3
Регуляторы реологических свойств		
Пластификаторы, I группа	Увеличение подвижности бетонной смеси без снижения прочности бетона во все сроки испытания от П1 с обеспечением осадки конуса 2–4 см до П5	Повышение прочности бетона; расслаиваемость бетонной смеси; дополнительное воздухововлечение; увеличение деформаций усадки и ползучести
Пластификаторы, II группа	То же, до П4	Замедление схватывания бетонной смеси; расслаиваемость бетонной смеси; дополнительное воздухововлечение; увеличение деформаций усадки и ползучести
Пластификаторы, III группа	То же, до П3	Замедление схватывания бетонной смеси; замедление твердения бетона
Пластификаторы, IV группа	То же, до П2	Замедление схватывания бетонной смеси; замедление твердения бетона
Стабилизатор	Раствороотделение бетонной смеси с ОК = 20–22 см – не более 2,5 %	Повышение однородности бетона, снижение проницаемости бетона
Водоудерживающая	Водоотделение бетонной смеси с ОК = 20–22 см – не более 2,0 %	Увеличение подвижности бетонной смеси; повышение водонепроницаемости и однородности бетона, снижение прочности бетона
Улучшающая перекачиваемость	Снижение давления по показателям манометра на 20 %	Повышение однородности бетона, снижение водоотделения бетонной смеси; снижение прочности бетона

1	2	3
Замедлитель схватывания	Увеличение продолжительности стадии подвижности бетонной смеси (при исходном значении до 2 см) в 2 раза и более, замедление темпов схватывания в 2 раза и более при температуре окружающего воздуха 18–22 °С	Уменьшение скорости тепловыделения из бетона в массивных сооружениях; замедление твердения бетона на ранней стадии. Увеличение прочности бетона в поздние сроки твердения, уменьшение скорости тепловыделения, повышение плотности бетона, замедление набора прочности в ранние сроки твердения. Удлинение срока предварительной выдержки перед термообработкой
Ускоритель схватывания	Ускорение темпов схватывания на 25 % и более при температуре окружающего воздуха 18–22 °С	Ускорение твердения бетона, замедление нарастания прочности бетона в поздние сроки твердения; образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Ускоритель твердения	Повышение прочности бетона на 20 % и более в возрасте 1 сут нормального твердения	Повышение электропроводности бетонной смеси, замедление нарастания прочности в поздние сроки твердения, образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Замедлитель твердения	Снижение прочности бетона на 30 % и более в возрасте до 7 сут	Замедление схватывания бетонной смеси, увеличение прочности бетона при 28 сут и более, уменьшение скорости тепловыделения, снижение проницаемости бетона, удлинение срока предварительной выдержки перед термообработкой
Регуляторы структуры		
Водоредуцирующие, I группа	Снижение расхода воды на 20 % и более; повышение прочности бетона; повышение марки бетона по водонепроницаемости на 4 степени и более	Повышение интенсивности тепловыделения, морозостойкости, коррозионной стойкости бетона
Водоредуцирующие, II группа	Снижение расхода воды на 12–19 %; повышение прочности бетона; повышение марки бетона по водонепроницаемости на 1–2 степени	Повышение интенсивности тепловыделения, морозостойкости, коррозионной стойкости бетона
Водоредуцирующие, III группа	Снижение расхода воды на 6–11 %; повышение прочности бетона; повышение марки бетона по водонепроницаемости на 1–2 степени	Повышение интенсивности тепловыделения, коррозионной стойкости бетона

1	2	3
Водоредуцирующие, IV группа	Снижение расхода воды на 5 %; повышение прочности бетона; повышение марки бетона по водонепроницаемости на 1 ступень	Повышение интенсивности тепловыделения, коррозионной стойкости бетона
Воздухововлекающие (для легких бетонов)	Требуемый объем вовлеченного воздуха 6–15 % с получением слитной бетонов) структуры бетона. Потеря вовлеченного воздуха после 30 мин выдержки не более 25 %. Отсутствие снижения прочности при одинаковой средней плотности бетона	Повышение удобоукладываемости и снижение расслаиваемости бетонной смеси
Пенообразующие (для легких бетонов)	Объем воздуха, введенного в бетонную смесь с заранее приготовленной пеной, в пределах 10–25 % с получением поризованной структуры бетона. Потеря воздуха после 30 мин выдержки не более 25 %. Отсутствие снижения прочности при одинаковой средней плотности бетона	Повышение удобоукладываемости и снижение расслаиваемости бетонной смеси
Газообразующие (для легких бетонов)	Требуемый объем газа, образующийся в бетонной смеси за счет газообразования 15–25 %, период активного газовыделения 5–30 мин. Отсутствие снижения прочности при одинаковой средней плотности бетона	Повышение удобоукладываемости и снижение расслаиваемости бетонной смеси
Кольматирующие	Повышение марки бетона по водонепроницаемости на 2 ступени и более	Снижение прочности бетона, повышение коррозионной стойкости бетона
Газообразующие	Объем выделившегося газа в уплотненной бетонной смеси 1,5–3,0 %. Повышение морозостойкости бетона в 2 раза и более	Пластификация бетонной смеси, снижение расслаиваемости бетонной смеси, повышение марки бетона по водонепроницаемости, снижение водопоглощения, снижение прочности бетона
Воздухововлекающие	Воздухосодержание в уплотненной бетонной смеси 2–5 % по объему. Повышение морозостойкости бетона в 2 раза и более	Пластификация бетонной смеси, снижение расслаиваемости бетонной смеси, повышение марки бетона по водонепроницаемости, снижение водопоглощения, снижение прочности бетона

1	2	3
Добавки специального назначения		
Повышающие защитные свойства бетона по отношению к арматуре	Обеспечение значения тока пассивации стали не менее 10 A/cm^2 и потенциала пассивации стали не менее -450 мВ	Увеличение подвижности бетонной смеси, снижение диффузионной проницаемости бетона, обеспечение твердения бетона при отрицательных температурах, увеличение электропроводности бетона
Противоморозная	Обеспечение твердения бетона при температурах от -20°C до -10°C с набором прочности 30 % и более от прочности в возрасте 28 сут нормального твердения	Повышение электропроводности бетона, ускорение схватывания, образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Гидрофобизаторы I группы	Снижение водопоглощения бетона в 5 раз (через 28 сут испытания)	Повышение электропроводности бетона, ускорение схватывания, образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Гидрофобизаторы II группы	Снижение водопоглощения бетона в 2–4,9 раза (через 28 сут испытания)	Повышение электропроводности бетона, ускорение схватывания, образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Гидрофобизаторы III группы	Снижение водопоглощения бетона в 1,4–1,9 раза (через 28 сут испытания)	Повышение электропроводности бетона, ускорение схватывания, образование высолов на бетонных поверхностях, коррозия арматуры
Повышающие стойкость в агрессивных средах	Обеспечение стойкости бетона в средах с показателями агрессивности, превышающими норму в 1,5 раза и более; нормируется по СНиП 11-28-83	Уплотнение структуры, повышение гидрофобности, увеличение морозостойкости бетона
Повышающие жаростойкость	Обеспечение остаточной прочности после нагрева не менее 30 %	Изменение сроков схватывания бетона
Обеспечивающие замену цемента	Снижающие расход цемента на 5 % и более	Повышение подвижности смесей воздушовлечение

Комитет SBC RILEM предложил вариант классификации минеральных добавок техногенного происхождения. Эта классификация позволяет оценить материалы по их воздействию на цементные системы: по проявлению вяжущих свойств и пуццоланового эффекта, т. е. способности вступать в химическую реакцию с присутствующими и образующимися в бетонной смеси химическими соединениями (табл. 6.3).

Классификация минеральных добавок RILEM

Группа минеральной добавки	Химический и минералогический состав	Физические характеристики
Обладающие вяжущими свойствами. Быстро охлажденные шлаки	В основном силикатное стекло (аморфный кремнезем), содержащее оксиды кальция, магния, алюминия. Кристаллические компоненты могут присутствовать в небольшом количестве	Представляет собой гранулы и содержит 5–15 % влаги. Перед применением высушивается и измельчается до частиц размером менее 45 мкм. Частицы имеют шероховатую поверхность. Удельная поверхность 350–500 м ² /кг
Обладающие вяжущими и пуццолановыми свойствами. Высококальциевые золы-уноса (СаО более 10 %)	В основном силикатное стекло (аморфный кремнезем), содержащее оксиды кальция, магния, алюминия. Кристаллические компоненты в виде кварца и С ₃ А могут присутствовать в небольшом количестве. Могут присутствовать свободная известь и периклаз. Углерода – менее 2 %	Содержит от 10 до 15 % частиц размером более 45 мкм. Большая часть частиц имеет сферическую форму с диаметром менее 20 мкм. Поверхность частиц в основном гладкая, но не такая чистая, как у низкокальциевых зол-уноса. Удельная поверхность 300–400 м ² /кг
Обладающие высокой пуццолановой активностью. Микрокремнезем, золы рисовой шелухи	Состоят в основном из микрокремнезема некристаллической (аморфной) модификации	Микрокремнезем – порошок, состоящий из сферических частиц диаметром менее 0,5 мкм. Удельная поверхность порядка 20 000 м ² /кг. Золы рисовой шелухи – частицы менее 45 мкм, но имеющие пористую поверхность. Удельная поверхность порядка 60 000 м ² /кг
Обладающие нормальной пуццолановой активностью. Низкокальциевые золы-уноса (СаО менее 10 %)	В основном силикатное стекло (аморфный кремнезем), содержащее оксиды железа и алюминия. Кристаллические компоненты в основном в виде кварца, мулита и магнетита могут присутствовать в небольшом количестве. Углерода обычно менее 5 %, но иногда может быть до 10 %	Содержит от 10 до 15 % частиц размером более 45 мкм. Большая часть частиц имеет сферическую форму с диаметром около 200 мкм. Удельная поверхность 250–350 м ² /кг
Прочие медленно охлажденные шлаки. Золы гидроудаления, шлаки котелен	Содержат в основном кристаллические силикатные минералы и небольшое количество некристаллических компонентов	Дополнительно измельчаются для придания вяжущих или пуццолановых свойств. Измельченные частицы имеют шероховатую поверхность

Среди техногенных добавок, проявляющих пуццолановую активность и вяжущие свойства, особое внимание уделяется *аморфному*

кремнезему, названному первооткрывателями «Microsilica». «Microsilica» является высокоактивным пуццоланом и стала известной в результате научно-практической активности скандинавских ученых.

В физическом смысле микросилика (аморфный конденсированный микрокремнезем) является пылью, которую образуют микроскопические шарики микросферы размером 0,1–0,3 мкм. В бетонных смесях и строительных растворах этот порошок ведет себя двояко: сферическая форма частиц содействует усилению «подшипникового эффекта», а кремнезем проявляет «пуццолановую» активность. Наличие миллионов микросфер облегчает перемещение различных компонентов бетонной смеси по отношению друг к другу, способствуя повышению равномерности распределения компонентов, повышению удобоукладываемости смеси и ее перекачиваемости, что особенно важно в случае применения бетононасосов при высотном строительстве.

При затворении бетонной смеси водой и гидратации клинкерных минералов образуется ряд химически активных веществ, к которым, в первую очередь, следует отнести гидрат окиси кальция и гидрат силиката кальция, во многом определяющие прочность цементного камня и бетона. Добавление в бетонную смесь микрокремнезема создает условия для превращения нестабильной и растворимой гидроокиси кальция в кристаллический гидрат силиката кальция. В результате возрастают прочность и химическая стойкость бетона, а микросферы плотно заполняют пространство, освобождаемое химически связанной водой. Значительно растущая плотность структуры бетона повышает как его прочность, так и водонепроницаемость, а следовательно, и долговечность бетонного камня, его стойкость к факторам коррозии.

Отечественные ученые также исследовали и использовали свойства активного кремнезема при получении рецептур добавок – модификаторов бетона. Под руководством проф. А.Г. Батракова синтезирован модификатор на основе аморфного кремнезема и суперпластификатора, способствующий достижению высоких показателей по прочности, плотности и стойкости. Учеными НИИЖБ синтезированы добавки, содержащие как микросилику, так и ее смесь с золой-уносом, другими компонентами.

Разновидностью минеральных добавок являются *расширяющиеся добавки*, вводимые в портландцементный клинкер при его помоле. В качестве расширяющихся добавок используют алюминаты и сульфаты кальция, оксиды кальция и магния, специально приготовленные из глиноземистого цемента высококальциевые алюминаты, глиноземистый цемент, сталерафинировочные шлаки, обожженные алунитовые породы.

В качестве добавок могут рассматриваться следующие материалы для механического укрепления бетона: полипропиленовые волокна, металлическая фибра и стружки, которые не образуют единого арматурного каркаса, но способствуют повышению прочности бетона на изгиб и при срезающих нагрузках. Вводят волокна или фибру на стадии приготовления бетонных смесей.

Искусственные химические добавки-модификаторы представляют собой вязкие растворы или порошкообразные материалы, растворимые в воде с образованием слабощелочных или нейтральных растворов. Это могут быть чистые неорганические вещества, их смеси, органические соединения, органоминеральные комплексы. Модификаторы могут быть синтезированы специально (но необязательно для нужд строительства) или быть побочными продуктами (отходами) других производств.

Химические органические добавки являются продуктами органического синтеза целлюлозных соединений или переработки отходов лесохимии, целлюлозно-бумажной, химической и нефтехимической промышленности, агрохимии и др. Наиболее распространенные представители органических химических добавок (модификаторов) – это поверхностно-активные вещества (ПАВ), на их основе могут быть получены практически любые функциональные типы добавок. ПАВ поразному проявляют активность и направление действия. Вид и положение функциональных групп в молекуле обуславливает взаимодействие ПАВ с гидроксидом кальция на поверхности твердой фазы. Природа радикала и его строение, конформное состояние макромолекулы цепи характеризуют сплошность пленки продуктов взаимодействия в поверхностном слое гидратирующего цемента. Степень растворимости продуктов взаимодействия олигомеров с жидкой фазой цементного камня определяет эффективность модификатора. Классификация поверхностно-активных модификаторов по М.Ш. Шайнеру, в основу которой положены функциональные признаки и технико-экономический эффект, представлена в табл. 6.4.

Наиболее эффективным видом ПАВ являются суперпластификаторы. Воздействуя на процессы формирования структуры, особенно на начальной (коагуляционной) стадии, они изменяют реологические свойства цементной системы, способствуют сокращению ее водопотребности, что в дальнейшем отражается на параметрах кристаллизационной структуры.

**Классификация добавок по функциональному назначению,
технико-экономическому и социальному эффектам**

Группа добавок (экономический и социальный эффект)	Представители добавок
1	2
Снижающие расход материалов и энергетических ресурсов	
Снижающие расход вяжущего НДК	ЛСТ, УПБ, ННК+УПБ, ПФС, С-3, ПФМ-БС, «Дофен», ЛСТМ-2
Снижающие расход дефицитных компонентов добавок	ЛСТ, УПБ, НДК
Снижающие расход заполнителей	СНВ, СДО, ЩСПК
Снижающие расход энергоресурсов	СН, НК+УПБ, ПФС+НК, С-3+ННХК, СМФ
Обеспечивающие взаимозаменяемость компонентов бетона	
Возможность замены высокомарочных цементов на цементы низких марок	С-3, 10-03, ПФМ-БС, «Дофен», ЛСТМ-2
Возможность замены портландцемента на шлакопортландцемент и др. Снижение вложений в производство	СМФ, ПФМ-БС, НК+НФС, «Дофен»
Допускающие замену заполнителей (замена гранитного щебня на известковый, крупных песков на мелкие, снижение транспортных издержек)	С-3, 10-03, ПФМ-БС, ЛСТМ-2
Улучшающие условия труда	
Улучшающие удобоукладываемость бетонной смеси (повышение производительности труда, снижение шума, вибрации)	ПФМ-БС, С-3, 10-03, ЛСТ, М-2, ПФС+НК
Улучшающие однородность бетонной смеси	Кремнегель, бентонит, СНВ, СДО, ЩСПК, 10-03
Интенсифицирующие технологические процессы	
Повышающие оборачиваемость форм, оборудования, тепловых агрегатов. (Снижение металлоемкости)	СМФ, ПФМ-БС, С-3, 10-03, СН+ЛСТ, ПФС+НК
Повышающие производительность технологических линий (снижение затрат, лежащих на себестоимость)	С-3, 10-03, ПФМ-БС, «Дофен», ЛСТМ-2, ПФС
Уменьшающие износ технологического оборудования, форм (улучшение условий труда, снижение издержек производства)	С-3, 10-03, «Дофен», ПФМ-БС, ЛСТМ-2
Ускоряющие твердение (снижение расхода энергоресурсов, ускорение технологических процессов)	СН, ННХК

1	2
Улучшающие технические свойства бетона	
Повышающие коэффициент конструктивного качества (снижение материалоемкости)	С-3, 10-03, ПФМ-БС, СНВ, СДО
Повышающие стойкость бетона к атмосферным колебаниям при воздействии агрессивных сред	СДО, СНВ, ЩСПК, ПФС+СНВ, КЧНР, «Виксол», ЭСНК, МСНК
Улучшающие теплофизические свойства (снижение эксплуатационных расходов)	СДО, СНВ, ЩСПК
Улучшающие специальные свойства (повышение газонепроницаемости, кавитационной стойкости, температуро-стойкости, изменение цвета)	Каучуковые, эпоксидные и битумные латексы, АМСР-3
Консервирующие свойства бетонной смеси	
Противоморозные (снижение расхода энерго-ресурсов)	ННХК, «Нитродап», ФТП, ПФС+НН, НК+УПБ, НКМ
Замедляющие твердение бетона (улучшение товарного вида и долговечности бетона)	ЛСТ, УПБ, бура
Повышающие сохраняемость бетонной смеси	Меласса, бура, ЛСТ, УПБ

Суперпластификаторы классифицируют по одному из двух признаков: по составу материалов и по основному эффекту в механизме действия (электростатического или стерического). Они бывают на основе сульфированных нафталинформальдегидных поликонденсатов, на основе сульфированных меламинформальдегидных поликонденсатов, очищенных от сахаров лигносульфонатов, поликарбоксилатов и полиакрилатов. В механизме действия последних преобладает стерический эффект (с большим отталкиванием частиц), и эти суперпластификаторы считаются более эффективными, что предполагает их меньший расход. Поликарбоксилаты и полиакрилаты – наиболее дорогие, что приводит к совмещению их с другими пластификаторами.

Суперпластификаторы на основе поликарбоксилатов обеспечивают также высокую сохраняемость бетонных смесей, что делает их привлекательными для монолитного строительства и при продолжительном транспортировании бетонных смесей. В настоящее время Ассоциацией «Полимо́д» и НИИЖБ реализуется крупный международный проект «Карбоцепторные суперпластификаторы», основными задачами которого являются разработка, освоение и внедрение в практику строительства нового поколения высокоэффективных суперпластификаторов бетонных смесей.

Химические неорганические добавки в своем большинстве – электролитами. По механизму действия их подразделяют на добавки, изменяющие растворимость минеральных вяжущих материалов, вступающие с этими минералами в химические реакции, являющиеся центрами кристаллизации. Подобное деление достаточно условно: одно и то же вещество для алюминатных фаз вяжущего может изменять их растворимость, а для силикатных – вступать в реакции присоединения, ионообменные или с созданием комплексов, и наоборот. К этим группам относятся многие ускорители схватывания и твердения, противоморозные добавки, антифризы и пр.

Наиболее яркий представитель этой группы – хлорид кальция, являющийся в первую очередь добавкой – *ускорителем твердения*. Скорость гидратации трехкальциевого силиката в его присутствии возрастает в 1,5–2 раза. При дозировках хлорида кальция, не превышающих 2 %, в процессе гидратации кристаллизуется гидрохлоралюминат кальция, что не сопровождается деструктивными процессами. При больших концентрациях образуется гидроксихлоридкальция, разложение которого в цементном камне при положительных температурах является причиной нарушения структуры и снижения прочности цементного камня. В бетоне сохраняются свободные хлориды, именно они интенсифицируют коррозию стали в железобетоне. Хлорид натрия, являясь эффективным ускорителем твердения бетона, обуславливает снижение прочности камня при его увлажнении. Все это является серьезными аргументами разумного ограничения применения хлоридов в бетонных смесях.

При замерзании жидкой фазы бетона (цементного теста) его твердение останавливается и возобновляется после оттаивания. При температурах $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже гидратация цемента практически прекращается, останавливается процесс тепловыделения, отсутствует заметный набор прочности. Замерзание химически несвязанной воды затворения в бетоне приводит к резкому увеличению пористости цементного камня, а при высоких расходах воды – к разрушению бетона. Эти обстоятельства сильно затрудняют проведение бетонных работ в условиях пониженных температур, особенно при возведении монолитных конструкций. В соответствии со СНиП III-15-76 запрещается проведение бетонных работ без применения специальных методов выдерживания бетона при ожидаемой среднесуточной температуре воздуха ниже $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минимальной суточной температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Методы выдерживания бетона на морозе подразделяются на три основные группы: беспрогревные (термосное выдерживание и

использование противоморозных добавок); прогревные (использование либо топлива, либо электрической энергии) и комбинированные. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, которые определяют область их применения как с экономической, так и с технической точек зрения.

Прогревные методы выдерживания бетона могут применяться при возведении практически любых конструкций и в любых температурах среды, но предполагают значительные затраты энергоресурсов и являются технически более сложными. Наиболее экономичным считается метод термоса, но он обеспечивает поддержание в бетоне тепла и его твердение только в массивных конструкциях. Введение в бетонные смеси при их приготовлении противоморозных добавок может происходить при беспрогревном выдерживании бетона (термосном) или в сочетании с обогревом. Основными (и традиционными) соединениями, применяемыми в качестве противоморозных добавок в строительстве, являются: NaCl , CaCl_2 , NaNO_2 , NaNO_3 , NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4OH , K_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{K}_2\text{CO}_3$. Органические антифризы по разным причинам практически не применяются, однако разработанные на их основе добавки, включающие в себя также неорганические соли и пластификаторы, по существу, являются вторым поколением противоморозных добавок, в которых недостатки одних компонентов компенсируются достоинствами других.

Эффективность противоморозной добавки во многом зависит от величины снижения температуры замерзания жидкой фазы бетона. Однако наличие жидкой фазы при отрицательных температурах обеспечивает крайне медленное твердение. Очевидно, что противоморозная добавка должна работать как ускоритель твердения до технологически оправданных временных интервалов. Применение бетонов с противоморозными добавками ограничивается медленным твердением бетона (вследствие чего проектная прочность достигается через 2–3 мес); опасностью появления высолов и негативного влияния на структуру, свойства бетона и сохранность арматуры при введении добавки в больших количествах, превышающих 10 % по массе цемента. Добавки, позволяющие в определенной мере преодолеть негативные эффекты, описаны ниже.

Биоциды – модификаторы, применяемые для защиты бетона и других строительных материалов от биоповреждений, должны обладать высокой активностью, быть безопасными при обращении с ними, не оказывать пагубного влияния на окружающую среду, не ухудшать эксплуатационных свойств материалов и сохранять биоцидные свойства в течение длительного времени.

Положительные результаты получены при применении в штукатурных составах пентахлорфенолята натрия, цетазола, трилана. Для защиты цементных полов используется медный порошок и оксихлорид магния. Для защиты бетона от бактериального воздействия применяется формалин. Соли высших жирных аминов (средство «Дон-5»), хлоргидраты аминокпарафинов (средство АНП-2), алкитриметиламмонийхлорид (средства «Ниртан», «Роккал») сочетают биоцидные свойства со свойствами ингибиторов коррозии.

Из неорганических биоцидов применяются соли фтористой и кремнефтористой кислот, бура, борная кислота, нитрит натрия. Биоцидное действие некоторых модификаторов (типа «бура + борная кислота» или на основе неорганических солей) может утрачиваться в процессе тепловлажностной обработки. Высокая водная растворимость медных солей уксусно-мышьяковистой и мышьяковистой кислот обуславливает их быстрое выщелачивание из бетона.

К числу высокоэффективных препаратов, обладающих широким биоцидным спектром действия, относятся оловоорганические соединения, которые не изменяют свойств в процессе тепловлажностной обработки. В условиях воздействия бытовых и производственных сточных вод хорошо зарекомендовали себя бактерициды на основе катионных поверхностно-активных веществ: катамин — для всех значений водоцементного отношения; катапин — только для плотных бетонов. Бетоны и строительные растворы, модифицированные катапин-бактерицидом, применяют при строительстве животноводческих помещений, предприятий хлебопекарной, пивоваренной, мясоперерабатывающей промышленности, медицинских учреждений.

В качестве добавок-модификаторов широкое применение на местах находят различные отходы промышленности, ее побочные продукты (табл. 6.5). Эффективность подобных веществ ниже, чем специальных добавок, что компенсируется их увеличенными дозировками. Увеличение дозировки, в свою очередь, повышает вероятность отрицательных проявлений, начиная от «сопутствующих эффектов» и заканчивая «отравлением» вяжущего или увеличением содержания в бетоне органической фазы, т. е. возрастанием склонности к биологической коррозии.

Большинство добавок, улучшая одни характеристики бетонной смеси или бетона, не изменяют, а зачастую ухудшают другие характеристики. Для преодоления побочных эффектов используют комплексные добавки, состоящие из нескольких самостоятельных компонентов. О некоторых (например, суперпластификатор с микрокремнеземом) упоминалось выше.

Добавки – промышленные побочные продукты

Наименование модификатора	Краткая характеристика
1	2
Целлюлозно-бумажная промышленность	
Сульфидно-дрожжевая бражка	Широко применяют в качестве пластификатора в натуральном виде и после модифицирования
Талловое масло, талловый пек	Омыленный талловый пек (ОТП) применяют в качестве воздуховлекающей добавки
Нефть	Химическая промышленность
Атактический полипропилен (АП) Низкотемпературный полипропилен (НП). Окисленный парафиновый дистиллят (ОКП) Тяжелое жидкое топливо (ТЖТ)	Отходы пиролиза нефти применяются как слабые пластификаторы, оказывающие воздуховлекающее действие и уплотняющие бетон
Нейтрализованный черный контакт (НЧК)	Пластификатор и воздуховлекающая добавка, применяется для повышения морозостойкости
Скруберная паста	Применяется как воздуховлекающая добавка и слабый пластификатор
Пищевая (в том числе спиртовая и сахарная) промышленность	
Гидролизная кровь (ГК)	Пластификатор
Молочная сыворотка	Пластификатор
Упаренная последрожжевая барда (УПБ)	Пластификатор
Сахарная патока – меласса (СП)	Замедлитель схватывания, применяется в жарком климате и при транспортировке бетонных смесей на большие расстояния
Микробиологическая промышленность	
Бросовые воды тетрациклина (БВТ). Мицеллярная белковая масса (МБС). Отработанный раствор олеандомицина (ОНТО). Последрожжевые остатки (ПДО)	Пластификаторы различной степени эффективности. В основном применяются для экономии цемента
Химическая промышленность	
Кубовые остатки разных производств	Применяются в качестве пластификаторов и гидрофобизаторов самостоятельно (ПАЩ-1) или в качестве комплексных добавок
Нейтрализованные акрилатные отходы (20–03)	Применяются в качестве пластификатора
Отходы хлорвинилового производства. Солевые отходы производства дифениламина. Сульфатные стоки разных производств. Фтористый ангидрит – отход производства плавиковой кислоты	Применяются в местных условиях в качестве пластификаторов или ускорителей твердения невысокой эффективности

1	2
Легкая промышленность	
Гидролизат кожевенного производства	Применяется в качестве пластификатора
Отходы мыловаренного производства	Гидрофобизатор, пластификатор, применяется вместе с СДБ в добавках в качестве комплексных добавок

Комплексные добавки – многофункциональны и способны влиять сразу на несколько характеристик бетонной смеси и бетона. Состав можно «проектировать» таким образом, чтобы их компоненты усиливали эффекты, обеспечиваемые каждым в отдельности. Применение комплексных добавок позволяет добиваться универсальности их действия в бетонных смесях и бетонах разного состава, приготовленных на различных цементах.

Условно все комплексные добавки можно разделить на три группы: смеси электролитов, поверхностно-активных веществ, электролитов и поверхностно-активных веществ. При выборе добавки и определении дозировки необходимо четко представлять роль каждого компонента в полифункциональном модификаторе. Основное значение добавок первой группы – устранение коррозионного воздействия отдельных компонентов на арматуру и бетон, регулирование сроков схватывания и твердения в широких интервалах изменения вещественного и минерального состава цемента на свойства бетонных смесей и бетонов. Добавки второй группы в основном применяют для повышения морозостойкости бетона, приготовленного из пластичных и высокоподвижных бетонных смесей; удлинения срока схватывания бетонных смесей, особенно при транспортировании их на большие расстояния и при бетонировании в условиях сухого и жаркого климата.

Более эффективными модификаторами являются комплексные добавки третьей группы. Введением электролитов улучшаются структурно-механические характеристики бетонов и регулируется темп их твердения. Поверхностно-активные вещества позволяют регулировать подвижность бетонных смесей, их воздухосодержание, придают бетонам бактерицидность, гидрофобность и пр.

При использовании комплексных добавок периодически возникает проблема совместимости их компонентов. В этом случае отдельные компоненты вводят раздельно с перемешиванием бетонной смеси в несколько стадий. Комплексные добавки в виде готового товарного продукта, не изменяющего своих свойств при транспортировании и хранении, позволяют разрешить эту проблему.

6.3. Свойства бетонной смеси

Бетонной смесью называют рационально подобранную и тщательно перемешанную смесь вяжущего, заполнителей, воды и добавок до ее формирования и начала схватывания.

К основным свойствам бетонной смеси относятся удобоукладываемость и связность.

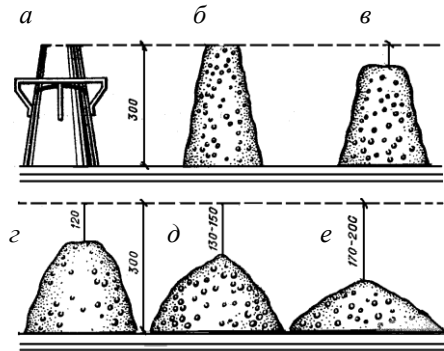


Рис. 6.1. Определение подвижности бетонной смеси при помощи конуса:
а – общий вид; б – жесткая смесь; в – малоподвижная; г – подвижная;
д – очень подвижная; е – литая

Удобоукладываемость характеризует способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться в ней под действием силы тяжести или внешних механических воздействий. Это свойство оценивают подвижностью или жесткостью. Подвижность характеризуется осадкой конуса (ОК) в см, (рис. 6.1), а жесткость – временем растекания бетонной смеси, с, при ее вибрации. Прибор для определения жесткости бетонной смеси приведен на рис. 6.2, а определение жесткости бетонной смеси упрощенным способом – на рис. 6.1–6.3.

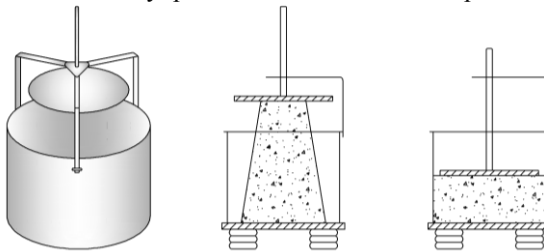


Рис. 6.2. Прибор для определения жесткости бетонной смеси
(схема испытаний)

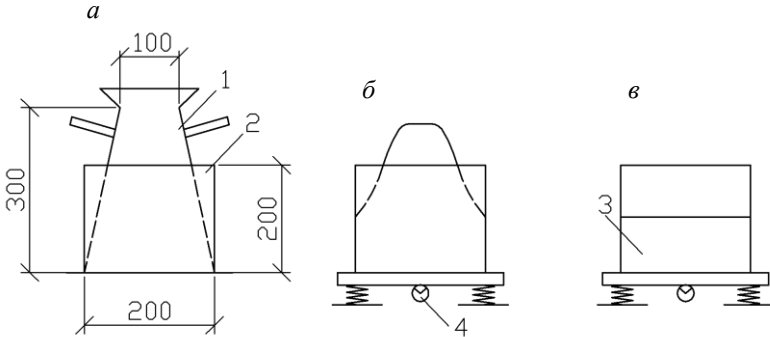


Рис. 6.3. Определение жесткости бетонной смеси упрощенным способом:
 а – общий вид прибора; б – бетонная смесь до вибрирования;
 в – то же, после вибрирования; 1 – конус; 2 – форма куба;
 3 – бетонная смесь; 4 – виброплощадка

Бетонные смеси делятся на особо жесткие – жесткость более 30 с; жесткие – жесткость 5–30 с; малоподвижные – ОК 1–4 см; подвижные – ОК 4–15 см; литые – ОК более 15 см.

Связность (нерасслаиваемость) – это свойство бетонной смеси, характеризующее ее способность не расслаиваться при транспортировании, выгрузке и укладке.

6.4. Основные свойства бетона

К основным свойствам бетона можно отнести прочность, плотность, водонепроницаемость, морозостойкость, усадку и расширение, стойкость против коррозии, огнестойкость.

Прочность при сжатии определяется на образцах-кубах размером 150×150×150 мм, изготовленных из заданной бетонной смеси и выдержанных до испытания в течение 28 сут в нормальных условиях. Для тяжелых бетонов установлены следующие марки (классы) по пределу прочности при сжатии: М100(В7,5), М150(В12,5), М200(В15), М250(В20), М300(В25), М350(В27,5), М400(В30), М450(В35), М500(В40), М600(В45), М700(В55), М800(В60).

При испытании на изгиб используют бетонные образцы-балки размером 150×150×1200 мм или 150×150×550 мм.

Для определения прочности бетона в любой срок применяют формулу

$$R_n = R_{28} (\lg_n / \lg_{28}). \quad (6.1)$$

Для ячеистых бетонов установлены следующие марки (классы) по

прочности при сжатии: М15 (В1), М25 (В1,5), М35 (В2,5), М50 (В3,5), М75 (В5), М100 (В7,5) и М150 (В10).

Плотность. Тяжелый бетон не является плотным материалом, так как в нем имеются поры, появляющиеся за счет испарения излишков воды. С возрастанием плотности бетона повышается его прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и другие свойства. Пористость ячеистых бетонов составляет 50–85 %.

Водонепроницаемость – это свойство бетона удерживать воду под определенным давлением без ее просачивания. Бетоны по этому показателю подразделяются на 12 классов: В2, В4, В6, В8, В10, В12, В14, В16, В18, В20, В25 и В30, где цифры показывают давление воды, кгс/см².

Морозостойкость. Тяжелый бетон делят на марки по морозостойкости: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800 и F1000.

Усадка и расширение. Величина усадки тяжелого бетона обычно 0,15 мм на 1 м длины бетонного сооружения.

Огнестойкость. Бетон является огнестойким материалом. Однако продолжительное воздействие температуры в интервале 160–200 °С снижает его прочность на 25–30 %. При нагревании бетона свыше 500 °С вследствие обезвоживания он разрушается.

6.5. Проектирование состава бетона

Существуют различные методы подбора составов бетонов. Рассмотрим метод абсолютных объемов для расчета состава тяжелого бетона.

Для проектирования состава бетона необходимые установленные заказчиком условия:

- заданная марка по прочности (R_6);
- подвижность или жесткость бетонной смеси (Ж, ОК);
- максимальная крупность зерен заполнителя (K_3);
- активность цемента ($R_{ц}$);
- вид заполнителя и его качество (A).

Вначале вычисляют водоцементное (В/Ц) или цементно-водное (Ц/В) отношение:

- для обычных бетонов

$$R_6 = A \cdot R_{ц} (Ц/В - 0,5); \quad (6.2)$$

- для высокопрочных бетонов М500–М800

$$R_6 = A \cdot R_{ц} (Ц/В + 0,5); \quad (6.3)$$

$$В/Ц = A \cdot R_{ц} / (R_6 \pm 0,5 A \cdot R_{ц}). \quad (6.4)$$

Расход воды определяют по таблицам в зависимости от заданной удобоукладываемости и крупности зерен заполнителя.

Расход цемента определяют по формуле

$$Ц = B/(B/C). \quad (6.5)$$

Расход щебня (гравия) определяют по формуле

$$Щ(Г) = \frac{1}{\Pi_{уст(щ,г)} \frac{\alpha}{\rho_{ср(щ,г)}} + \frac{1}{\rho_{ист(щ,г)}}}, \quad (6.6)$$

где $\Pi_{уст(щ, г)}$ – пустотность щебня (гравия); α – это коэффициент раздвижки зерен; $\rho_{ср(щ, г)}$ – средняя плотность щебня (гравия). Определяется по таблице в зависимости от расхода цемента и водоцементного отношения. Находится в пределах 1,25–1,6.

Расход песка определяют по формуле

$$П = [1 - (Ц/\rho_{ист(ц)} + B/\rho_{(в)} + Щ(Г)/\rho_{ист(щ, г)})] \rho_{ист(п)}. \quad (6.7)$$

Расчет состава бетона обязательно проверяется опытным путем и корректируется. При этом необходимо учитывать влажность заполнителей.

Пример расчета состава тяжелого бетона

Требуется подобрать состав тяжелого бетона марки $R_b = 30$ МПа для бетонирования монолитных балок и колонн среднего сечения и рассчитать расход материалов на замес в бетоносмесителе с полезным объемом барабана 1200 л; подвижность бетонной смеси ОК = 3 см.

Характеристика исходных материалов:

портландцемент активностью $R_{ц} = 47$ МПа;

насыпная плотность сухих составляющих $\rho_{н(ц)} = 1200$ кг/м³,

$\rho_{н(п)} = 1500$ кг/м³, $\rho_{н(щ)} = 1600$ кг/м³,

а их истинная плотность

$\rho_{ист(ц)} = 3100$ кг/м³,

$\rho_{ист(п)} = 2620$ кг/м³;

$\rho = 2800$ кг/м³;

пустотность гранитного фракционированного щебня $V_{ист(щ)} = 0,43$;

наибольшая крупность зерен щебня – 40 мм;

влажность крупного кварцевого песка $W_{п} = 3$ %;

влажность щебня $W_{щ} = 1$ %.

1. Водоцементное отношение определяют по формуле

$$R_b = A \cdot R_{ц} (Ц/B - 0,5).$$

После преобразования относительно В/Ц формула примет вид

$$В/Ц = A \cdot R_{\text{ц}} (R_{\text{б}} + 0,5 \cdot A \cdot R_{\text{ц}}) = 0,65 \cdot 47 (30 + 0,5 \cdot 0,65 \cdot 47) = 0,68.$$

Значение $A = 0,65$ выбрано по таблице как для высококачественных материалов.

2. Расход воды на 1 м^3 бетонной смеси определяют по таблице, учитывая заданную осадку конуса бетонной смеси для бетонирования балок и колонн $ОК = 3 \text{ см}$. Для получения бетонной смеси такой подвижности с применением в качестве крупного заполнителя щебня с наибольшей крупностью зерен 40 мм расход воды на 1 м^3 бетонной смеси должен составлять 175 кг .

3. Расход цемента на 1 м^3 бетона

$$Ц = В/(В/Ц) = 175/0,68 = 259 \text{ кг}.$$

4. Расход щебня в сухом состоянии на 1 м^3 бетона

$$Щ = 1/(V_{\text{п(щ)}} \cdot \alpha/\rho_{\text{н(щ)}} + 1/\rho_{\text{ист(щ)}}) = 1/(0,43 \cdot 1,3/1600 + 1/2800) = 1416 \text{ кг}.$$

Значение коэффициента раздвижки зерен $\alpha = 1,3$ выбрано по таблице.

5. Расход песка в сухом состоянии на 1 м^3 бетона

$$\begin{aligned} П &= [1 - (Ц/\rho_{\text{ист(ц)}} + В/1000 + Щ/\rho_{\text{ист(щ)}})] \rho_{\text{ист(п)}} = \\ &= [1 - (259/3100 + 175/1000 + 1416/2800)] 2620 = 617 \text{ кг}. \end{aligned}$$

В результате расчетов ориентировочный номинальный (лабораторный) состав бетона, кг/м^3 :

Цемент	259
Вода	175
Песок	617
Щебень	1416
Всего	2467

Полученное в итоге значение является расчетной средней плотностью бетонной смеси, т.е. $\rho_{\text{б,см}} = 2467 \text{ кг/м}^3$.

6. Коэффициент выхода бетона

$$\begin{aligned} \beta &= 1/(V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}) = 1/(Ц/\rho_{\text{н(ц)}} + П/\rho_{\text{н(п)}} + Щ/\rho_{\text{н(щ)}}) = \\ &= 1/(259/1200 + 617/1500 + 1416/1600) = 0,66. \end{aligned}$$

7. Расход материалов на $0,05 \text{ м}^3$ (50 л) бетонной смеси пробного замеса рассчитывают исходя из приведенного выше номинального состава бетона, кг :

цемент – $259 \cdot 0,05 = 12,95$;
 вода – $175 \cdot 0,05 = 8,75$;
 песок – $617 \cdot 0,05 = 30,85$;
 щебень – $1416 \cdot 0,05 = 70,80$.

Отвешивают расчетное количество материалов и готовят бетонную смесь, подвижность которой определяют с помощью стандартного конуса. Если осадка конуса 1 см, т.е. меньше заданной (как в нашем примере), то для увеличения подвижности бетонной смеси добавляют 10 % цемента и воды (цемента – $12,95 \cdot 0,1 = 1,295$ кг; воды – $8,75 \cdot 0,1 = 0,875$). Бетонную смесь с добавкой цемента и воды дополнительно хорошо перемешивают и проверяют подвижность. Если при проверке подвижности осадка конуса окажется 3 см, т.е. будет соответствовать заданной, опыт заканчивают и устанавливают действительный расход материалов с учетом добавления 10 % цемента и воды, определяя их абсолютный объем, м³:

цемент – $(12,95 + 1,295)/3100 = 0,0046$;

вода – $(8,75 + 0,875)/1000 = 0,0097$;

песок – $30,85/2620 = 0,117$;

щебень – $70,1/2800 = 0,0254$;

всего – 0,0513.

8. Зная объем бетонной смеси пробного откорректированного замеса V_3 и фактический расход материалов Π_3 , B_3 , P_3 и Π_3 , рассчитывают расход материалов на 1 м³ (1000 л) бетонной смеси, кг/м³:

$\Pi = \Pi_3 \cdot 1/V_3 = 14,25/0,0513 = 277$;

$B = B_3 \cdot 1/V_3 = 9,63/0,0513 = 187$;

$P = P_3 \cdot 1/V_3 = 30,85/0,0513 = 599$;

$\Pi = \Pi_3 \cdot 1/V_3 = 70,1/0,0513 = 1366$;

всего – 2429.

Фактическая плотность свежееуложенной бетонной смеси $\rho_{б,см} = 2429$ кг/м³, т.е. отличается от расчетной менее чем на 1 %.

9. Производственный (полевой) состав бетона вычисляют, принимая во внимание влажность заполнителей (в данном примере влажность песка – 3 % и щебня – 1 %), в связи с чем необходимое количество воды уменьшают:

$$188 - (3 \cdot 599/100 + 1 \cdot 1366/100) = 188 - (18 + 14) = 156 \text{ кг.}$$

При этом количество заполнителей соответственно увеличивают:

песок – $599(1 + 3/100) = 599 \cdot 1,03 = 617$ кг;

щебень – $1366(1 + 1/100) = 1366 \cdot 1,01 = 1380$ кг.

Для получения производственного состава в соотношениях по массе расход каждого компонента бетонной смеси, кг, делят на расход цемента:

$$\Pi/\Pi : P/\Pi : B/\Pi = 277/277 : 617/277 : 1380/277 = 1 : 2,2 : 5$$

$$\text{при } B/\Pi = 0,56.$$

10. Дозировку составляющих бетонной смеси на один замес бетоносмесителя с полезным объемом барабана $1,2 \text{ м}^3$ (1200 л) определяют по формулам

$$\begin{aligned} C_v &= \beta \cdot V \cdot C/1 = 0,66 \cdot 1,2 \cdot 277/1 = 219 \text{ кг}; \\ П_v &= \beta \cdot V \cdot П/1 = 0,66 \cdot 1,2 \cdot 617/1 = 489 \text{ кг}; \\ В_v &= \beta \cdot V \cdot В/1 = 0,66 \cdot 1,2 \cdot 156/1 = 124 \text{ кг}; \\ Щ_v &= \beta \cdot V \cdot Щ/1 = 0,66 \cdot 1,2 \cdot 1380/1 = 1093 \text{ кг}. \end{aligned}$$

11. В лаборатории из приготовленной бетонной смеси пробных замесов объемом по 50 л делают контрольные образцы-кубы размером $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$, которые после хранения в нормальных условиях испытывают в заданные сроки (обычно 7 и 28 сут) на гидравлическом прессе. По результатам испытаний строят график и уточняют водоцементное отношение, обеспечивающее получение бетона заданной марки.

6.6. Приготовление, транспортирование и укладка бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси осуществляется в смесителях гравитационного или принудительного действия. Бетоносмесители могут быть малой вместимости (100–250 л), средней вместимости (375–500 л) и большой вместимости (1200–4500 л). Выход бетонной смеси определяется по формуле

$$\beta = \frac{1}{C/\rho_{н(ц)} + П/\rho_{н(п)} + Щ/\rho_{н(ш)}}. \quad (6.8)$$

Выход бетонной смеси колеблется от 0,55 до 0,75. Продолжительность перемешивания от 1–2 до 2–5 мин в зависимости от объема смесителя и вида бетонной смеси.

Транспортирование бетонной смеси осуществляется автобетоносмесителями, автосамосвалами, бадьями, транспортерами и т.д.

Для механизированного уплотнения бетонной смеси применяют вибраторы различных типов: электромеханические, электромагнитные, пневматические. Вибраторы бывают глубинные, поверхностные, с гибким валом и др.

Из бетонной смеси изготовляют сборные и монолитные бетонные и железобетонные конструкции.

Монолитными называют конструкции, которые возводятся непосредственно на месте их расположения. Бетонирование включает установку опалубки, установку арматуры, бетонирование конструкции и уход за твердеющим бетоном. Так, например, поливка бетона водой

при температуре воздуха выше 15 °С должна осуществляться не менее 15 дней. При этом поливать бетон необходимо от 2 до 4 раз в день.

При монолитном бетонировании в зимнее время необходимо применять ряд специальных мер.

С целью ускорения твердения бетона при зимних бетонных работах используют быстротвердеющие цементы. Твердение бетона можно также ускорить введением в бетонную смесь некоторых химических добавок – ускорителей твердения, таких, как CaCl_2 и др.

Эффективным способом зимнего бетонирования является укрытие бетона хорошей изоляцией (минеральной ватой, опилками). Этот способ носит название «способ термоса». Выделяемое при гидратации цемента тепло сохраняется в конструкции.

Широкое распространение находят способы обогрева бетона горячим воздухом, паром или его электропрогрев. Обычная температура пара – 50–80 °С. Электропрогрев бетона производится низким напряжением (50–60 В) через электроды, установленные по всей площади конструкции. При этом электропрогрев необходимо проводить медленно поднимая температуру на 5 °С в час и доводить температуру бетона до 60 °С.

Существуют и «холодные» способы зимнего бетонирования, при которых материалы не подогреваются. В воду затворения вводятся химические добавки, которые снижают точку замерзания воды и обеспечивают твердение бетона на морозе. К таким добавкам относятся CaCl_2 , NaCl , NaNO_3 , K_2CO_3 , расход которых составляет 1,5–15 % массы цемента.

6.7. Специальная обработка бетонов

Твердение бетонных и железобетонных изделий, изготовленных на заводе при обычной температуре, нерационально, так как процесс длителен по времени. Ускорение твердения изделий производится за счет прогрева паром или электрическим током.

Паровлажностная обработка проводится при атмосферном давлении насыщенного пара (пропарочные камеры) или при повышенном давлении (автоклавы). Температура в пропарочных камерах составляет 80–90 °С – для бетона на обычном портландцементе и 90–95 °С – для бетона на шлакопортландцементе или пуццолановом портландцементе.

Параметры термовлажностной обработки в автоклаве составляют: давление насыщенного пара – 0,8–1,5 МПа, температура – 174–200 °С. После ТВО железобетонные изделия набирают прочность 70 % и более от марочной, что позволяет отправлять их на строительные площадки.

6.8. Высококачественный бетон

Последние десятилетия XX в. ознаменовались большими достижениями в теории и технологии бетона и изделий на его основе. Появились и получили широкое распространение эффективные химические модификаторы вяжущих веществ и бетонов, активные минеральные наполнители, новые технологические приемы. Обогатились наши представления о структуре и свойствах бетона, процессах структурообразования, появились возможности прогнозирования, свойств и управления структурообразованием, успешно развивается компьютерное проектирование бетона и изделий на его основе.

В строительстве все активнее применяются многокомпонентные бетоны, позволяющие более эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать бетоны различного назначения с заданным комплексом свойств. Расширяется область применения бетонов, существенно улучшаются их эксплуатационные свойства и надежность, увеличивается многообразие различных видов бетона. Это выводит бетон на одно из первых мест среди строительных материалов, особенно учитывая его возможности в использовании в качестве сырья вторичных техногенных продуктов, отходов и местных материалов. В XXI в. эта тенденция будет усиливаться в результате дальнейшего совершенствования теории и технологии бетона.

Бетоны нового поколения относятся к особому классу композиций – композитов гидратационного твердения (СКГТ), свойства которых, наряду с их составом определяются также технологией изготовления и последующего твердения. Управление сложными физико-химическими процессами, происходящими в изготовленном изделии, является необходимым элементом получения высококачественного материала и изделия.

Особенностью новых технологий является эффективное воздействие на структурообразование материала на всех этапах производства. Подготовка и выбор материалов, проектирование состава в соответствии с проектными требованиями, приготовление смеси и формование изделия, первоначальная выдержка и схватывание, последующее твердение – все эти этапы увязываются в единый комплекс. Важное значение приобретает выдержка материала до схватывания, так как на этом ключевом этапе происходит первоначальное структурообразование, во многом определяющее последующие свойства материала. Материал может выдерживать внутренние и внешние изменения структуры и формы без потери сплошности; он сохраняет способность к ограниченному деформированию, целенаправленному

изменению структуры твердой фазы и накоплению определенного объема новообразований, что существенно влияет на последующее протекание физико-химических процессов и кинетику твердения материала и в результате – на конечную структуру и свойства материалов.

Большое влияние на структурообразование бетонов, наряду с композиционным вяжущим, оказывает комплекс модификаторов и активных компонентов. В качестве таковых могут использоваться следующие вещества и материалы, влияющие на реологию смеси, структуру и свойства материала, кинетику физико-химических процессов, эксплуатационную надежность: комплексы химических модификаторов различного назначения; дисперсные наполнители-разбавители; ультрадисперсные наполнители-уплотнители и активизаторы; компоненты, управляющие объемными изменениями структуры; компоненты, позволяющие управлять физико-химическими процессами твердения и гарантирующие долговечность; компоненты, придающие бетону специальные свойства; компоненты, позволяющие совместно с химическими модификаторами управлять реологией бетонной смеси и процессами затвердевания; дисперсные волокнистые материалы; компоненты, регулирующие внутреннее тепловыделение материала.

С каждым годом многообразие модификаторов и активных компонентов возрастает, совершенствуется технология бетона. Многие из этих материалов по отдельности или в простых сочетаниях уже широко применяются в вяжущих веществах и бетонах. Однако необходим переход на более сложные многокомпонентные комплексы, что в сочетании с композиционными вяжущими позволяет получать высококачественные строительные бетоны и композиты самого различного назначения с ранее недостижимыми свойствами и разнообразной структурой – крупно-, мелко- и тонкозернистой, ячеистой, сотовой, волокнистой. Применение различных компонентов обеспечивает активное воздействие на структурообразование и свойства материала на разных стадиях технологии, позволяя добиваться оптимального сочетания свойств в соответствии с предназначением материала.

Повышению свойств и эксплуатационной надежности будет способствовать последующая обработка бетона по специальным технологиям, например, обработка свежесуложенного бетона для упрочнения поверхностного слоя, его окраски и придания антиадгезионных свойств, что позволяет штамповать на готовом бетоне декоративные рисунки.

Дальнейшая пропитка затвердевшего бетона специальными составами повышает его прочность, позволяет получать материалы с особыми свойствами, например, прочностью до 200 МПа, различными

модулями упругости и т. д. Происходит консервация структуры бетона, что существенно повышает его долговечность и стойкость в агрессивных средах. Для получения бетонов повышенной долговечности в сочетании с высокой прочностью требуется обеспечить высокую плотность и качество цементного камня или твердой фазы, получаемой за счет гидратации цемента совместно с модификаторами структуры и дополнительными компонентами, и сохранить резерв непрогидратированного цемента для заживления случайных дефектов, которые могут возникнуть при воздействии внешних факторов в период длительной эксплуатации.

Качество цементного камня и его способность сопротивляться внешним и внутренним воздействиям определяется при прочих равных условиях размером зерен и межзерновых пустот. Для получения высокопрочных бетонов повышенной долговечности целесообразно применять цементы с удельной поверхностью 4500–6000 см²/г в сочетании с модификаторами, препятствующими агрегации частиц в водной среде, и ультратонкими наполнителями, способствующими уплотнению структуры.

Такие составы содействуют более эффективному использованию суперпластификаторов и применению их повышенных дозировок, что позволяет получать бетонные смеси с предельно низкими В/Ц и наивысшей плотностью твердой фазы.

В этих условиях значительно уменьшается объем межзернового пространства, что обуславливает неполную гидратацию даже очень тонкомолотых цементов, так как не хватает свободного объема для роста новообразований. В бетоне сохраняется резерв непрореагировавшего цемента как гарантия самозалечивания дефектов, возникающих при воздействии внешних факторов в период эксплуатации.

На свойства материала серьезно воздействует крупность заполнителя. С уменьшением его крупности возрастает слитность и однородность структуры материала, но одновременно уменьшается подвижность смеси (при одинаковом расходе теста) и существенно возрастает усадка материала. Это может привести к появлению дефектов и снижению прочности и еще в большей степени долговечности. Реологические свойства мелкозернистых и тонкозернистых смесей резко улучшаются при применении суперпластификаторов и комплексов «суперпластификатор-ультрадисперсный наполнитель», а усадка может быть уменьшена или даже устранена за счет применения расширяющих добавок и комплексов «расширяющая добавка-ультрадисперсный наполнитель».

Мелко- и тонкозернистые бетоны позволяют изготавливать тонкостенные изделия и конструкции, новые виды слоистых конструкций, эффективные элементы и камни с тонкими стенками, высокой пустотностью, калиброванными размерами, легкие малоформатные изделия для индивидуального строительства, позволяющие возводить дома и другие постройки без применения грузоподъемных машин и оборудования.

Наиболее ярким примером возможностей современной технологии бетона явилось создание и освоение в строительстве высококачественных бетонов (ВКБ). Этот термин, принятый совместной рабочей группой ЕКБ/ФИП в 1993 г., означает, что *высококачественные бетоны* – это бетоны, изготовленные из смеси с ограниченным водосодержанием, высокими эксплуатационными свойствами, прочностью и долговечностью, адсорбционной способностью и коэффициентом диффузии, надежными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре, высокой химической стойкостью и стабильностью объема.

Высококачественные бетоны – это многокомпонентные бетоны, в которых используются композиционные вяжущие, химические модификаторы, активные минеральные компоненты, расширяющие добавки, в некоторых случаях особые технологические приемы. Выбор комплекса сырья и технологии определяется требованиями к бетону и технологии изделий.

В результате достигаются высокие показатели свойств бетона и многовариантность технологических решений. Прочность ВКБ в возрасте 28 сут достигает 150 МПа и более, в возрасте 2 сут составляет 30–35 МПа (относительно высокая прочность может достигаться уже через несколько часов твердения); морозостойкость составляет F600 и более, водонепроницаемость свыше – W12; водопоглощение – менее 1–2 мас. %; обеспечивается высокая газопроницаемость; истираемость – не более 0,3–0,4 г/см². Показатели деформаций регулируются. Например, достигается полная компенсация усадки в возрасте 14–28 сут естественного твердения.

Высокий эффект может быть достигнут при использовании «бетонного высококачественного черепка» при изготовлении ряда изделий с особой структурой новых ячеистых бетонов, изделий с эффективной пустотностью, фибробетонов и т.д.

Появление высококачественных бетонов открывает новую эру в возведении зданий и сооружений. Уже сегодня с использованием высококачественного бетона возводятся высотные здания с каркасом из монолитного бетона, большепролетные мосты, железобетонные

платформы для добычи нефти на океанических шельфах, подземные «мини-города», сооружения с применением архитектурно-декоративного бетона и железобетона, специальные сооружения.

На этой основе может существенно измениться домостроение. Дома будущего – это сложные комплексы, включающие конструктивную основу, системы теплозащиты и дизайна и инженерное оборудование. При правильном конструктивном решении и выборе материалов можно обеспечить долговечность основных конструкций зданий на период более 200 лет. Другие элементы зданий должны иметь высокую ремонтноспособность и заменяться по мере необходимости (технического или морального износа). Это позволит значительно сократить расходы на реставрацию и санацию зданий и увеличить объемы нового строительства. Резко возрастут потребительские качества новых зданий, что будет способствовать увеличению инвестиций в строительство, развитию индустрии домостроения.

6.9. Мелкозернистый бетон

Мелкозернистый (песчаный) бетон – бетон, получаемый из смеси мелкого заполнителя (песка), вяжущего материала (цемента) и воды.

Мелкозернистая структура материала обладает рядом достоинств, среди которых можно назвать следующие:

- возможность создания тонкодисперсной однородной высококачественной структуры без крупных включений крупных зерен иного строения;

- высокая тиксотропия и способность к трансформации бетонной смеси;

- высокая технологичность – возможность формирования конструкций и изделий методом литья, экструзии, прессования, штампования, набрызга и др.;

- легкая транспортируемость;

- возможность широкого применения сухих смесей с гарантией высокого качества;

- возможность получения материалов с различными комплексами свойств;

- получение специальных видов материала: фибробетона, армоцемента, декоративного, электропроводящего, гидроизоляционного и др.;

– возможность получить новые архитектурно-конструкционные решения: тонкостенные и слоистые конструкции, изделия переменной плотности, гибридные конструкции и т.д.;

– многофункциональность материала, т.е. возможность на определенном цементе и песке только за счет варьирования состава, комплексом добавок и технологическими приемами получить конструкционный, теплоизоляционный, гидроизоляционный, декоративный и другие виды бетона;

– возможность рационального и комплексного использования минеральных природных ресурсов, вовлечение в производство техногенных отходов и, как правило, более низкая себестоимость по сравнению с классическим крупнозернистым бетоном.

6.9.1. Сырье

Вяжущие вещества

Мелкозернистый бетон отличается повышенным расходом вяжущего, это связано с тем, что с уменьшением крупности заполнителя возрастает его удельная поверхность, что ведет к увеличению суммарного объема цементного теста для смазки, это, в свою очередь, требует существенного изменения водоцементного отношения. Поэтому при производстве изделий из мелкозернистого бетона в качестве вяжущего целесообразно применять композиционные вяжущие, суперпластификаторы и другие эффективные модификаторы структуры и свойств бетона, тонкодисперсные минеральные наполнители, новое эффективное оборудование.

Заполнитель

Для производства мелкозернистого бетона применяют заполнители с крупностью зерен 0,14–5 мм. В частности используют природный песок, который представляет собой образующуюся в результате выветривания горных пород рыхлую смесь зерен различных минералов, входящих в состав изверженных и осадочных горных пород. Заполнитель должен соответствовать ГОСТ 10268–80 и ГОСТ 8736–85. При отсутствии природного песка применяют техногенный песок.

Техногенные пески существенно отличаются от природного кварцевого по химическому и минералогическому составу, типоморфным признакам, гранулометрии, форме зерен и т.д.

Техногенные пески образуются в основном в результате механического разрушения горных пород различного состава и строения при

обогащении полезных ископаемых и получении щебня (отсев дробления).

Существенно отличие техногенных песков от природных по вещественному составу. Используемые в настоящее время при производстве строительных материалов пески имеют мономинеральный состав. Они состоят из наиболее устойчивого к выветриванию минерала – кварца. Большинство же техногенных песков – полиминеральны. В их состав входят минералы из класса оксидов, силикатов, карбонатов, реже из других классов.

Еще значительнее техногенные пески отличаются от традиционно применяемых природных по морфологии зерен и шероховатости поверхности. В зависимости от генезиса структуры, текстуры, минерального состава исходных горных пород зерна техногенных песков могут быть угловатыми, ячеистыми, ребристыми, округлыми или многогранными. Они могут быть изометричными или продолговатыми, длинными, пластинчатыми (рис. 6.4).



Рис. 6.4. Специфика техногенных песков

Использование такого сырья в строительном материаловедении имеет свою специфику как в процессе приготовления сырьевой смеси, так и при синтезе композитов.

Одним из важнейших факторов производства высококачественных искусственных конгломератов является стабильность сырья. Причем значение постоянства свойств исходных сырьевых материалов на

качество продукции все время возрастает. Решение вопросов комплексного использования сырьевых ресурсов особенно актуально в связи с изменившейся геополитической и экономической обстановкой. Если раньше были возможны директивные меры по утилизации отходов, то сейчас основе лежат экономические факторы. Таким образом, созрели объективные предпосылки пересмотра общей концепции выбора сырья стройиндустрии. В этой связи возникает потребность в переоценке качества существующего техногенного сырья, в то же время общих критериев оценки не существует.

Объемы как текущих отходов, так и техногенных месторождений несоизмеримо большие, чем потребности в сырье в каждой отдельной отрасли. Поэтому очень важно из всей массы выделить те, которые можно наиболее эффективно использовать для получения строительных материалов как при проектировании новых производств, так и на имеющихся в конкретных регионах промышленных мощностях.

Добавки

Мелкозернистые бетоны третьего тысячелетия – это модифицированные бетоны с использованием комплексных добавок. Основными модификаторами мелкозернистых бетонов служат добавки различной природы. Использование добавок определенного качества и в оптимальном количестве позволяет сознательно управлять процессами структурообразования и создавать высокофункциональные бетоны. Особенно актуально применение добавок при использовании техногенного сырья, которое зачастую является тонкодисперсным и полиминеральным.

Как показывает строительная практика, использование добавок позволяет получать ощутимый технико-экономический эффект и повышать долговечность.

Вводимые в небольших количествах – десятых и сотых долях процента от массы цемента, – они существенно влияют на химические процессы твердения цемента и бетона, обеспечивая повышение их технологических и улучшения комплекса физико-механических свойств.

Для получения необходимых свойств бетонной смеси и бетона и экономии цемента применяют различные добавки. Их подразделяют на два вида: *химические добавки*, вводимые в бетон в небольшом количестве (0,1–2 % от массы цемента) и *тонкомолотые добавки* (5–20 % и более), используемые для получения плотного бетона при пониженном расходе цемента и повышения стойкости бетона.

Химические добавки, вводимые в бетон в небольшом количестве, изменяют в нужном направлении свойства бетонной смеси и бетона. Применение химических добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона и регулирования его свойств. Если ранее наиболее широко в строительстве использовались в виде добавок отдельные химические продукты и модифицированные отходы промышленности, то в настоящее время преобладают добавки, специально приготовленные для бетона (суперпластификаторы, органо-минеральные и др.).

На строительном рынке в настоящее время представлены следующие виды пластифицирующих добавок, выпускаемые как отечественными, так и зарубежными производителями: С-3, дофен, агипласт, кормикс, ломар Д, мелмент, перамин, реобилд 2000, а также зика и аддимент различных модификаций и др.

Для снижения расхода цемента и улучшения его подвижности применяют химические добавки, эффективное уплотнение песчаных бетонных смесей и крупные пески с оптимальным зерновым составом. В цементно-песчаных смесях с высоким содержанием цемента накоплен опыт применения суперпластификаторов. Суперпластификаторы, в основном, являются синтетическими полимерными веществами, поэтому очень дороги. Но, несмотря на повышенную стоимость, бетоны, модифицированные такими ПАВ, эффективны, так как экономия цемента в них может достигать 50 кг/м^3 и более.

К суперпластификаторам добавляют хлорид, нитрат и глюконат кальция, тиосульфат и бикарбонат натрия, лингосульфаты, полиоксипропилен, синтетические микропенообразователи, соли винной кислоты, производные сахаров и другие вещества. Введение в суперпластификаторы дополнительных компонентов позволяет регулировать сроки схватывания и темп твердения бетона; увеличить период подвижности бетонной смеси; уменьшить водоотведение и расслоение бетонной смеси; регулировать воздухоудерживание бетонной смеси, пористость структуры бетона и ее проницаемость и тем самым обеспечить заданную морозостойкость; повысить плотность, водонепроницаемость и прочность бетона; улучшить качество поверхности бетона; уменьшить расход синтетического продукта и снизить стоимость добавки без ухудшения ее свойств. В зависимости от назначения комплексной добавки подбираются дополнительные компоненты к суперпластификатору.

В качестве ускорителей твердения при производстве изделий на основе мелкозернистого бетона применяют хлорид кальция, сульфат натрия, нитрит-нитрат-хлорид кальция и другие, в качестве

противоморозных – поташ, хлорид натрия, хлорид кальция и др.

В производстве высококачественных изделий с повышенными требованиями к их визуально-эстетическим свойствам и долговечности накоплен опыт использования композиционных мелкозернистых бетонов. Композиционные мелкозернистые бетоны – это высокоэффективные многокомпонентные бетоны, в которых применяются композиционные вяжущие, комплексы химических модификаторов, активные минеральные компоненты, в том числе супертонкие, расширяющие и другие специальные добавки. Многокомпонентность состава позволяет эффективно управлять структурообразованием материала на всех этапах технологии, обеспечивая высокое качество получаемых изделий и конструкций.

Тонкомолотые добавки вводят в мелкозернистые бетоны в количестве 5–20 % и более от массы цемента. Эти добавки предназначены для снижения расхода цемента и получения плотного бетона при малых расходах цемента. К тонкомолотым добавкам относят золы, шлаки, отходы, полученные в результате камнедробления, горелые породы, пески и другие материалы, позволяющие изменить свойства бетонных смесей и бетонов в нужном направлении.

Использование тонкомолотых добавок ведет не только к экономии вяжущих веществ, но и придает изделиям из мелкозернистых бетонов специальные свойства, повышающие прочность, теплопроводность, коррозионную и трещиностойкость, декоративность и т.д.

В литературе выделяют следующие положительные факторы влияния тонкомолотых добавок на физико-механические характеристики цементных композитов:

- упрочнение контактной зоны между цементным камнем и заполнителем в бетонах;
- ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем (наполнитель выполняет роль центров кристаллизации);
- снижение общей пористости цементного камня в бетоне при увеличении дисперсности и объемной концентрации наполнителя;
- связывание гидроксида кальция в кристаллогидратной связке аморфизированным кремнеземом пуццолановых наполнителей;
- образование кластеров «вяжущие–наполнитель» за счет высокой поверхностной энергии частиц наполнителя.

6.9.2. Способы формирования

Особенности составов и структуры мелкозернистых смесей и бетонов обуславливают особенности их формирования.

В зависимости от способа обработки смеси, характера формовочного оборудования различают вибрационный и безвибрационный способы формования изделий.

Из вибрационных методов формования изделий из мелкозернистого бетона наибольшее распространение получило объемное *вибропрессование*.

Распространение технологии *вибропрессования* обусловлено в основном следующими факторами:

- наличием серийно выпускаемого высокопроизводительного автоматизированного оборудования (вибропрессы различной модификации), способного к быстрой переналадке при переходе на производство другой номенклатуры;
- возможностью организовать производство на небольших площадях с минимальными капиталовложениями при их быстрой окупаемости (менее одного года);
- получением готовой продукции с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными характеристиками (прочность, морозостойкость, водопоглощение и т.д.), с точными геометрическими параметрами и высокой архитектурной выразительностью.

Не смотря на исключительно высокие физико-механические свойства вибропрессованного бетона, необходимо признать, что вибрация при вибропрессовании изделий выполняет не только позитивную роль. Отрицательное воздействие вибраций и шума, вызванного работой вибраторов на организм человека, не подвергается сомнению, кроме того, из-за вибраций в процессе производства происходит быстрый износ оборудования, что требует огромных капитальных затрат на его ремонт и обновление.

Из безвибрационных способов формования изделий из мелкозернистого бетона наибольшее распространение получило прессование.

Прессование служит для обеспечения более высоких показателей прочности и плотности бетона в затвердевшем состоянии по сравнению с аналогичными параметрами вибрированного бетона при одинаковом водосодержании бетонных смесей. Наиболее целесообразно прессование жестких бетонных смесей, уменьшающее объем защемленного воздуха. Уплотнение можно производить статическим прессованием и прессованием с циклическим наложением давления. Для жестких бетонных смесей обычно применяется статическое прессование под давлением 3–10 МПа. Прессующая установка представляет собой гидравлический пресс. Статическое прессование используют для формования изделий небольших размеров.

Разновидностью прессования является *гиперпрессование* – это технология формования изделий с использованием высоких давлений пресса (выше 40 МПа). Прикладываемое внешнее высокое прессующее давление увеличивает сырьевую прочность, значительно ускоряет процесс формирования структуры цементного камня. Данный способ формования изделий из мелкозернистого бетона является сравнительно новым, однако незначительный опыт применения гиперпрессования в производстве показал его существенные преимущества по сравнению с перечисленными выше способами формования. В частности, данная технология позволяет улучшить физико-механические и гидрофизические характеристики бетона, снизить энергетические затраты вследствие исключения тепловой обработки, повысить сырьевую прочность, ускорить процессы формирования структуры цементного камня в нормальных условиях, предоставляет возможность использования некондиционных и техногенных продуктов.

6.10. Фибробетон

Фибробетон – разновидность цементного бетона, в котором достаточно равномерно распределены обрезки «фибры». Под этим собирательным названием подразумеваются волокна из металла, отрезки тонкой стальной проволоки, отходы гвоздевого производства, а также стекла, полимеров (главным образом пропилена) и т. п. Фибра выполняет функции армирующего компонента, что способствует улучшению качества бетона, повышает его трещиностойкость и деформативность.

В настоящее время существует три основные категории армирующих фибр – стальные, стеклянные и синтетические. Наиболее широко применяются стальные и стеклянные волокна. Расширяется применение синтетических волокон. В незначительных объемах применяются базальтовые, углеродные и другие волокна. Наибольшая эффективность фибробетона достигается при правильном сочетании свойств составляющих его компонентов.

Фибробетон выгодно отличается от традиционного бетона, имея в несколько раз более высокие по сравнению с ним:

- прочность на растяжение и срез;
- ударную и усталостную прочность;
- трещиностойкость и вязкость разрушения;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- сопротивление кавитации;
- сопротивление истиранию.

Сферы применения фибробетона:

- возведение объектов гражданского строительства;
- реконструкция хранилищ и банковских сейфов;
- сооружение мостов, гидротехнических сооружений (береговых дамб и плотин, шлюзов и каналов рек);
- изготовление реакторных отделений атомных электростанций, контейнеров для захоронения радиоактивных отходов;
- укрепление и ремонт сводов шахт и тоннелей;
- создание различных видов дорожных покрытий, сборных и монолитных плит, бордюров, разделительных полос и тротуарной плитки;
- строительство взлетно-посадочных полос аэродромов;
- изготовление деталей объемного промышленного оборудования: прокатных станков, молотов, гидравлических прессов и др.

По показателю работы разрушения фибробетон может в 15–20 раз превосходить бетон. Это обеспечивает ему высокую технико-экономическую эффективность при применении в строительных конструкциях и при их ремонте.

Важнейшей особенностью фибробетона является его прочность на растяжение, которая отражает его сопротивление другим воздействиям, а также долговечность.

При этом могут изготавливаться конструкции как чисто фибробетонные (только с фибровым армированием), так и с комбинированным армированием, т.е. фиброй и стержневой или проволоочной арматурой.

6.10.1. Виды фибры

Стальная фибра

Многолетние исследования разновидностей фибры и поведения фибробетонов в различных условиях их использования показывают, что никакие другие типы фибры не дают таких показателей, как стальная фибра.

Такие свойства стальной фибры, как высокая прочность на разрыв, пластичность и одновременно жесткость, способность к механической деформации, обеспечивают ей прекрасное внутреннее механическое сцепление с матрицей бетона и, как результат, возможность применения в областях, требующих высокой ударостойкости и низких усталостных характеристик. Кроме того, простота ее использования (в отличие от обычных арматурных работ) и стоимостные характеристики (соотношение количества фибры арматуры на куб. метр) делают

стальную фибру более эффективным средством армирования. В настоящее время существует целый набор разновидностей стальной фибры – фрезерованная и фибра из стальной ленты, волновая и фибра с загнутыми концами (рис. 6.5).

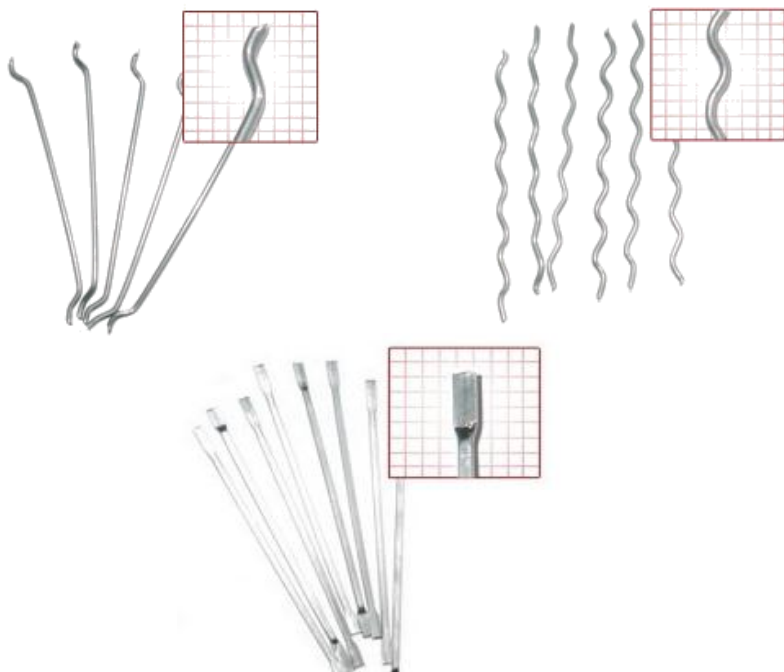


Рис. 6.5. Разновидности стальной фибры

Наиболее предпочтительной является волновая стальная фибра (рис. 6.6). Это объясняется поведением различных типов стальной фибры при образовании трещины в матрице бетона. По мере появления трещины ее ширина увеличивается. Фибра, проходящая через такую трещину, сдерживает ее дальнейшее развитие. Достигается это за счет двух факторов:

- силы сцепления поверхности фибры с бетонной смесью;
- механизмов механического анкерирования фибры в бетоне благодаря ее геометрической форме.

Второй фактор усиливает свойства первого, а также служит в качестве вспомогательного, когда напряжение на поверхностное сцепление превышает уровень допустимого – около 3 МПа.

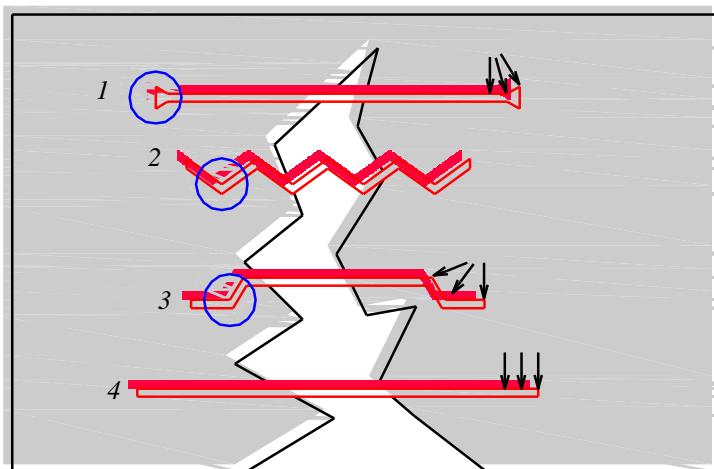


Рис. 6.6. Механизм сцепления фибры с бетоном:
 1 – фибра с конусовидными концами; 2 – волновая фибра;
 3 – фибра с загнутыми концами; 4 – прямая фибра
 (кружки – механизмы анкеровки фибры;
 стрелки – поверхности сцепления)

В прямой фибре единственным анкерирующим механизмом является сила сцепления самой поверхности фибры с бетонной смесью. Но для того чтобы эта поверхность была достаточной для обеспечения нормального уровня анкерирования, фибра должна быть достаточно длинной. Это приводит к комкованию фибры при ее введении в бетонную смесь (образованию так называемых «ежей»), что практически сводит на нет эффект армирования, а также вызывает значительные проблемы при работе с готовой бетонной смесью при ее заливке, выравнивании, уплотнении и т.п. Для разрешения этой проблемы предлагаются два варианта – фибра с загнутыми концами и волновая фибра.

Фибра с загнутыми концами удерживает развитие трещины вначале за счет поверхностного сцепления, а когда сцепление утрачивается, в действие вступает анкеровка загнутых концов фибры. При этом трещина может расширяться практически без помех вокруг центрального участка фибры, пока не достигнет ее концов. После этого происходит «выдергивание» фибры из матрицы бетона за счет либо перегрузки концов фибры, либо крошения бетона в местах его сцепления с этими концами.

В свою очередь, волновая фибра имеет больше элементов механического анкерирования, а также большую поверхность сцепления с

бетоном, но при этом ее длина не вызывает тех проблем, что связаны с использованием прямой фибры. Это дает возможность уже в начальной стадии образования трещины контролировать ее сдерживание за счет более эффективного распределения напряжений в окружающей матрице и соответственно увеличить продолжительность службы бетона.

При сравнении свойств стальной проволоочной фибры и фибры из стальной ленты предпочтительным является большая эластичность проволоочной фибры.

Кроме того, при производстве фибры проволока подвергается дополнительной обработке, что придает конечному продукту улучшенные механические свойства.

Преимущества стальной фибры перед традиционным армированием.

- уменьшается время на монтаж арматуры, так как фибра может быть добавлена на бетонном заводе или непосредственно в миксер (время перемешивания 5–15 минут);

- увеличивается вибрационная стойкость бетона, так как вибрация, распространяясь по арматурной сетке, способствует разрушению бетона;

- она не препятствует образованию микротрещин, но хорошо удерживает трещины от расширения и перерастания микротрещин в макротрещины;

- при замене арматурной сетки на стальную фибру возможно существенно уменьшить толщину стяжки при сохранении несущей способности бетонной плиты;

- повышается коррозионная стойкость. При коррозии арматуры в бетоне происходит значительное увеличение ее объема, что приводит к разрушению защитного слоя;

- существует возможность получения монолитных бесшовных бетонных конструкций. При внесении стальной фибры массой 40 кг на 1 м³ бетона и толщине плиты 150 мм швы нарезаются с шагом 30×30 м.

Полипропиленовая фибра

Фибра полипропиленовая представляет собой синтетические волокна, добавляемые в бетон, пенобетон, раствор, штукатурный состав и т.д. При перемешивании фибра равномерно распределяется по всему объему смеси и армирует ее. Фиброволокно является эффективной армирующей добавкой для пенобетона и просто бетона. Используется во всех типах цементных растворов, когда необходимо предотвратить образование деформационных трещин, возникающих вследствие

механического воздействия или усадки (например, при заливке полов, стяжке или при заливке в опалубку). Применение фиброволокон позволяет избежать трудоемких операций по армированию бетона. Полипропиленовая фибра разработана как альтернатива обычной стальной фибры. Ее основное назначение – повышение сопротивления усадочному трещинообразованию материалов на цементной основе. Фибра добавляется в процессе приготовления растворной или бетонной смеси. Она легко и равномерно распределяется по всему объему, создавая пространственное армирование, препятствующее образованию и развитию усадочных трещин. Особенности полипропиленовой фибры:

- повышает сопротивление механическим воздействиям;
- в отличие от металлической сетки армирует раствор по всем направлениям;
- обладает высокой адгезией к раствору и образует однородную массу.

Добавляется в раствор на стадии замешивания или в готовый раствор.

Базальтовая фибра (ровинг базальтовый рубленый)

В настоящее время сдерживающими факторами в процессе внедрения армирования бетона, железобетонных, гипсовых и других видов изделий иными волокнами (стеклянными, полимерными, металлическими) являются низкая химическая стойкость стеклянного волокна в среде твердеющего цементного теста, относительно высокая стоимость синтетических волокон, дефицит и высокие нормы расхода стальной фибры. Необходимо отметить, что стеклофиброволокно по своим характеристикам существенно уступает базальтовой фибре. К его основным недостаткам относятся:

- деформируемость даже при небольших нагрузках растяжения;
- быстрое старение, т. е. утрата свойств с течением времени;
- подверженность горению при воздействии открытого пламени.

Все перечисленные недостатки полностью отсутствуют у базальтовой фибры. С появлением базальтового волокна (ровинга) недоверие к дисперсному армированию постепенно исчезает. Показано, что небольшая добавка данного волокна значительно увеличивает сопротивление цементного камня изгибающим нагрузкам. При этом повышается долговечность материала, понижается усадочная деформация, значительно возрастает трещиностойкость, ударная вязкость. Все это открывает перед дисперсно-армированными материалами новые области применения, а также позволяет значительно сократить общий вес

строительных конструкций за счет уменьшения сечения при неизменных прочностных показателях. Это может явиться дополнительным аргументом в пользу дисперсного армирования цементов, бетонов, бетонных и железобетонных конструкций, тем более, что попутно будут решаться проблемы строительства на слабых грунтах, а также вопросы экономии сырьевых, энергетических и трудовых ресурсов.

На армирующих свойствах волокна основано и его применение при изготовлении строительных смесей, как сухих, так и готовых к применению. Одной из основных проблем при производстве различных строительных работ (гидроизоляционных, отделочных) является низкое сцепление строительных растворов с основанием и их растрескивание при высыхании и твердении. Ввод армирующих добавок с высокой армирующей способностью, которыми и являются базальтовые волокна, может разрешить эту проблему строителей.

Производство сухих штукатурок в России представлено только гипсокартоном, имеющим достаточно много ограничений по применению: низкая огнестойкость и низкая прочность не позволяют выполнять из гипсокартона подавляющее большинство перегородок в зданиях, а низкая влагостойкость также ограничивает применение материала во влажных помещениях. Дисперсное или каркасное армирование базальтовой фиброй (ровингом) гипсокартона позволит использовать его в малонагруженных несущих конструкциях, а освоение производства сухой штукатурки на основе цементного вяжущего позволит еще больше облегчить строительные конструкции при сохранении высоких водо- и огнестойкости.

Свойства и технические характеристики базальтовой фибры (ровинга):

- высокая прочность и долговечность;
- высокая термостойкость, абсолютная негорючесть;
- стойкость к агрессивным средам;
- экологическая чистота.

Базальтовый ровинг широко применяется в строительстве для армирования бетонов, пенобетонов, газобетонов, гипсовой штукатурки, любых декоративных изделий, в качестве наполнителя при изготовлении различных пластиков, а также для производства прессматериалов и т.д.

6.10.2. Сравнительные характеристики различных типов фибр

Интегральные свойства фибробетона, как и любого композита, обуславливаются свойствами его компонентов (фибры и бетона-

матрицы), а также наличием и степенью их совместной работы. В фибробетоне такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в бетоне (табл. 6.6).

Таблица 6.6

Основные характеристики волокон для армирования композитов

Тип волокна	Плотность ρ , кг/см ³	Прочность на растяжение R_t , МПа	Удельная прочность R/ρ , 106 см	Модуль упругости при растяжении E , МПа	Удельный модуль упругости E/ρ , 108 см
Металлы					
Алюминий	0,00269	63,3	2,36	74 520	2,733
Титан	0,00471	196,8	4,18	117 400	2,493
Сталь	0,00781	421,8	5,4	210 000	2,689
Бериллий	0,00186	175,8	9,47	309 300	16,666
Неорганические вещества					
Стекло Е	0,00255	3515	13,8	73 820	2,897
Стекло S	0,00249	4920	19,74	87 890	3,525
Углерод	0,00175	250–350	14,3–20	200 000– 250 000	11,4–14,3
Высоко-прочный углерод	0,00195	200–250	10,3–13	350 000– 380 000	17,9–19,5
Бор	0,00258	351,5	13,65	421 800	16,374
Органические вещества					
Квевра (PRD49)	0,002	170–225	8,5–11,3	13 300	6,65

6.10.3. Принципы создания высококачественных фибробетонов

В основу перспективных разработок следует положить принципы создания фибробетонов нового поколения.

Для получения фибробетона с высокими эксплуатационными характеристиками и долговечностью необходимо выполнить следующее:

- достигнуть технологической совместимости фибры и бетон-матрицы (высокая однородность распределения фибры по объему композита);

- иметь необходимое количество растворной части бетона для размещения в ней фибры и обеспечения ее анкеровки, а также достаточную удобоукладываемость фибробетонной смеси из условий технологии производства изделий, конструкций или возведения сооружений);

- обеспечить коррозионную стойкость фибры в среде бетона-матрицы и требуемую долговечность получаемого фибробетона;
- создать максимальное заанкеривание фибры в бетоне-матрице с целью наиболее эффективного использования ее прочностных свойств;
- выбрать оптимальное сочетание агрегатного состояния (вида), прочности и деформативности фибры и бетона-матрицы для получения наиболее эффективного по эксплуатационным свойствам композита (фибробетона) на их основе.

С учетом выполнения этих условий наиболее перспективно для создания высокоэффективных фибробетонов нового поколения применение высокопрочных модифицированных бетонов на основе комплексных органоминеральных модификаторов типа МБ-01 и эффективной стальной фибры (типа «Харекс», «Драмикс»), базальтовой фибры оптимального агрегатного состояния.

В настоящее время имеются практически все возможности для создания высокопрочных фибробетонов нового поколения на основе отечественных материалов. Наличие современных эффективных видов фибры позволяет упростить ее введение и перемешивание в бетонной смеси, что, в свою очередь, дает возможность в большей степени использовать технологическое оборудование, применяемое для обычных бетонов. При этом могут быть получены и использованы фибробетонные смеси высокой подвижности.

Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны, обладая сверхнизкой проницаемостью (W20), обеспечивают высокую коррозионную стойкость фибры и долговечность фибробетона, а также ускоренное нарастание прочности. Последнее особенно важно для монолитного строительства.

Учитывая сложившиеся условия и мировой опыт, целесообразно ускорить разработки в области технологии и расчета фибробетонов, более широко применять фибробетонные конструкции при проектировании объектов строительства.

6.10.4. Применение фибробетона

Уже в 1981 г. Япония применяла около 3 тыс. т стальной фибры, из которых 2,4 тыс. т были изготовлены из обычной углеродистой стали и около 500 т – из нержавеющей. За последнее десятилетие в Японии производство, применение и поставка стальной фибры за рубеж в несколько раз увеличились.

При высокоорганизованном производстве стальную фибру упаковывают в прочные картонные коробки, где она располагается

аккуратными рядами или слоями. Такая упаковка позволяет сравнительно просто утилизировать фибру, и для ее сохранения требуются относительно меньшие площади. Так, например, фибра из проволоки «Драмикс» (Бельгия) изготавливается в виде блок-пластин, состоящих из десяти фибр, склеенных водорастворимым клеем. Такая фибра не комкуется при транспортировке и подаче в смеситель, хорошо распределяется в объеме бетонной смеси после растворения клея водой затворения.

В г. Судогда (Владимирская обл.) освоен массовый выпуск ровинга из базальтового волокна. Однако фибра из него недостаточно изучена (по работе в бетоне).

В ряде типовых железобетонных конструкций, таких, как блоки фундаментов, подвалов, пригрузов, дорожные плиты, стальная арматура может быть с успехом заменена на базальтовую фибру – более химически стойкую и относительно дешевую.

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что фибробетон является в большой мере универсальным строительным материалом, находящим все более широкое применение в различных областях строительства.

В начале 90-х гг. в Российской Федерации произошел резкий рост банковской деятельности, сопровождавшийся бурным строительством новых зданий и сооружений государственных и коммерческих банков. По условиям страхования этих банков необходимо было обеспечить требуемую степень защищенности ценностей, хранящихся в них в соответствии с требованиями мировых норм.

Следует отметить, что тогда отечественной нормативной базы в этой области практически не было и приходилось опираться на зарубежный опыт. Первый нормативный документ с участием НИИЖБ ВВП-001–95 Банка России был разработан в 1995 г.

Были разработаны и применялись сталефибробетоны классов В30–В50 по прочности на сжатие и W12 – по водонепроницаемости. С участием НИИЖБ было возведено более десятка различных банковских сооружений в Москве, Рязани, Кургане, Калуге и др. Испытания конструкций на взломоустойчивость проводились при участии НИИЖБ, а их сертификация – в АНО «ОС и МЗ» Москвы. Опытные сталефибробетонные фрагменты конструкций для испытаний изготавливались в НИИЖБ.

Наиболее интересным объектом с применением сталефибробетонных защитных конструкций X класса взломоустойчивости является здание ГРКЦ ГУ Центрального Банка России в Москве.

В конструкциях пола, стен, колонн и перекрытий применялся сталефибробетон класса В45 с подвижностью СФБ – смесей ПЗ-П4. Использовалась фибра отечественного производства, рубленая из листа и строганная из слябов. Общий объем уложенного сталефибробетона составил около 5 тыс. м³. Это был первый опыт такого широкого применения сталефибробетона на одном объекте. При этом он зарекомендовал себя с наилучшей стороны как по техническим, так и технологическим свойствам. С учетом накопленного опыта по заданию Центрального Банка России при участии НИИЖБ были разработаны более совершенные нормативные документы по банковскому строительству ВСП 103–97 и основополагающий, ВНП 001-01 (2001 г.) Банка России, позволяющие широко применять сталефибробетонные конструкции в этой области строительства. За участие в строительстве и разработку нормативных документов НИИЖБу объявлялись благодарности руководством Центробанка России.

Следует сказать, что в настоящее время строительство банковских и подобных защитных сооружений полностью обеспечено как отечественными материалами, в том числе фиброй и высокопрочным бетоном, так и нормативной и другой технической документацией, что позволяет выполнять его на уровне мировых стандартов. Технология производства и возведения сталефибробетонных конструкций и сооружений достаточно отработана и не вызывает серьезных затруднений при использовании серийного оборудования, применяемого для железобетона.

Фибробетонные конструкции имеют широкое применение за рубежом. Так, в настоящее время в ряде стран существуют специальные программы по его применению. В Великобритании Дорожным Агентством Соединенного Королевства разработана и применяется программа по использованию фиброармированных композитов для укрепления бетонных конструкций дорог, и для их более фундаментального использования в строительстве. Дорожное Агентство взялось за некоторое количество проектов по использованию композитов для упрочнения существующих конструкций. В ходе осуществления проекта было два главных применения – колонны и укрепление покрытий, главным образом для динамических нагрузок и прогибов. Первое испытание композитов, проведенное Агентством на практике, состоялось в 1997 г. на А30 Библийский Христианский Мост в г. Корнуолле. Это включило в себя использование стеклянных, углеродных и арамидных фиброматериалов, примененных для трех отдельных мостовых колонн с использованием мокрых послойных технических приемов.

Испытания были весьма успешными, и доказали относительную легкость использования материала, несмотря на требования по безопасности и контроль влияния окружающей среды во время сооружения. Также проектами Агентства стали: М60 Мост Барнс (Barnes Bridge) в Манчестере был укреплен в 1999/2000 гг. с использованием фиброуглеродных плит, применяемых для облицовки нижней поверхности настила; М45 мост Саутхем Данчерч (Southam Dunchurch Bridge), на котором было проведено незначительное укрепление на рандбалках настила с использованием фиброуглеродных плит и др.

6.11. Ячеистые бетоны

Широко используемая разновидность бетонов и растворов имеет своеобразную ячеистую структуру макропор, равномерно распределенных в объеме бетона и отделенных друг от друга тонкими и достаточно прочными перегородками (мембранами). Средняя плотность таких бетонов в высушенном состоянии колеблется в широких пределах: от 1200 и ниже 500 кг/м^3 . При средней плотности не более 500 кг/м^3 их используют как теплоизоляцию, от 500 до 900 кг/м^3 в качестве конструктивно-теплоизоляционного и от 900 до 1200 кг/м^3 – конструкционных материалов, обычно армированные металлической арматурой.

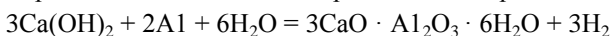
Другие свойства характеризуются следующими показателями: прочность – 3–15 МПа, морозостойкость – более 25 циклов, теплопроводность – $0,08\text{--}0,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$, усадка – $0,2\text{--}0,6 \text{ мм/м}$. Стены из ячеистых блоков являются наиболее экономически эффективными по сравнению с другими ограждающими конструкциями – железобетонными трехслойными панелями с минеральным утеплителем, панелями из керамзитобетона, кирпичными стенами и др. Эти стены – однослойные без дополнительного утеплителя, экологически чистые и достаточно комфортные для проживания, особенно после облицовки их, например, силикатным кирпичом. У ячеистых, как и у поризованных, бетонов цементный камень в результате добавления в свежеприготовляемую массу добавки – порообразователя оказывается насыщенным порами, в основном замкнутыми, ячеистыми. В отличие от поризованных производство ячеистых бетонов сопровождается более выраженным эффектом вспучивания исходной смеси.

Вспучивание любого вяжущего вещества как неорганического, так и органического, чаще всего достигается под влиянием вводимых в смесь добавочных реагентов. В результате взаимодействия реагирующих веществ в смеси выделяется газ, например, водород или

кислород. Кроме химических методов поризация со вспучиванием может проходить механическим путем за счет образования в смеси устойчивой пены. В связи с этим ячеистые бетоны разделяют на газобетоны и пенобетоны.

Вместо портландцемента в ячеистом бетоне нередко используют известь, и тогда бетон именуют газосиликатом. При применении шлаковых вяжущих веществ получают газослакобетон, гипса – газогипс, смешанных вяжущих типа ГЦПВ, ГШЦПВ и других – соответствующие им бетоны.

Газобетон и газосиликат. Преимущественное распространение в строительстве получили газобетоны. В качестве газообразователя используют тонкоизмельченный алюминиевый порошок (алюминиевую пудру ПАК-31). Вступая в химическую реакцию с гидроксидом кальция, он способствует выделению молекул водорода и соответствующей энергии химической связи образования из простых веществ:



Выделяемый водород частично теряется при перемешивании компонентов газобетона (вяжущего, заполнителей), но большая его часть (до 70–85%), расширяясь, вспучивает цементное тесто. Ячеистое цементное тесто затвердевает, образуя высокопористую матричную часть этого конгломератного материала. Крупный заполнитель в нем отсутствует. Чтобы процесс вспучивания протекал интенсивнее, к портландцементу добавляют некоторое количество извести-пушонки, примерно 10% его массы. Быстрая укладка смеси в металлические формы приводит к тому, что процесс газообразования происходит в основном в период нахождения смеси в этих формах и продолжается примерно 15–20 мин. Важно, чтобы к моменту завершения процесса выделения водорода бетонная смесь загустела и смогла зафиксировать ячеистую структуру матричной части бетона.

Другим газообразователем вместо алюминиевой пудры может служить пергидроль, т. е. техническая перекись водорода. В щелочной среде цементного теста или цементного раствора пергидроль разлагается с выделением молекул кислорода и соответствующей энергии химической связи: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$.

Молекулы кислорода вспучивают цементное тесто или строительный раствор в течение 7–10 мин, что позволяет получить газобетон средней плотностью до 1200 кг/м^3 . Исследования показали положительное влияние на образование макроструктуры ячеистых бетонов совместного применения пергидроля и хлорной извести. Повышению однородности распределения пористости способствует

кратковременная (до 20 с) обработка компонентов ячеистобетонных смесей в электромагнитном поле, особенно в присутствии магнитоактивных добавок, например пиритных огарков, ферросилиция.

Изделия из ячеистого бетона изготавливают по автоклавному и неавтоклавному способам производства. Технология может быть литевой при высоких значениях фазового отношения ($V/T = 0,45-0,60$) или вибрационной, при которой применяют смеси с пониженным фазовым отношением ($V/T = 0,30-0,40$).

Формы могут быть горизонтальными разборными с запариванием изделий в автоклавах в вертикальном положении, вертикальными в виде кассетных установок. На большинстве заводов в нашей стране нашел распространение литевой способ технологии с резательной и виброрезательной операций. Для резательного способа производства характерно формование массива объемом $5-18 \text{ м}^3$ с последующим его разрезанием в двух или трех плоскостях, автоклавной обработкой изделий.

Изготавливают газобетон в такой последовательности. Вяжущее, в качестве которого обычно применяют портландцемент, отвешивается на автоматических дозаторах и поступает в смеситель непрерывного действия. Сюда же загружают кремнеземистый компонент — молотый кварцевый песок, в котором содержится не менее 80–85 % кремнезема, тонкостью помола более $2000 \text{ см}^2/\text{г}$, что в 10 раз и более выше удельной поверхности немолотого песка. На некоторых заводах по производству ячеистого бетона вместо молотого песка применяют маршалит, каракумские барханные пески, золу-унос ТЭС, молотые шлаки и др. При повышенной средней плотности газобетона (свыше 1000 кг/м^3) допускается заменять часть молотого песка немолотым. Для регулирования срока схватывания цемента иногда в смеситель добавляют двуводный гипс.

Сухие компоненты перемешивают с водой в течение 2–3 мин, в процессе перемешивания вводят водную суспензию алюминиевой пудры или другого газообразователя, например пергидроль (водный 80 %-й раствор перекиси водорода). Готовую, хорошо перемешанную смесь выгружают из газобетоносмесителя в стальные формы, в которых происходит ее вспучивание при температуре $20-40 \text{ }^\circ\text{C}$. Формование изделий (плит, блоков и др.) может производиться на виброплощадках. Преимущественное распространение при перемешивании и формовании изделий получил способ вибрации (вибровспучивание), улучшающий ячеистую структуру газобетона и ее однородность. Вибрация позволяет снизить количество воды затворения, ускорить вспучивание и упрочнение по сравнению с безвибрационной, или литевой, технологией, осуществляемой в неподвижных формах. Особенно

эффективна вибрация при введении суперпластификатора или поверхностно-активных веществ, снижают реологическое сопротивление смеси. Отечественный способ вибрационного перемешивания прогрессивнее зарубежного литьевого, так как кроме снижения В/Т позволяет вспучивать сырец за 5–10 мин (вместо 1–2 ч), набирать прочность сырца за 30–60 мин (вместо 120–360 мин); прочность получаемых изделий и их морозостойкость на 20–40 % выше; уменьшены остаточная влажность и, следовательно, усадка изделий (на 20–30 %).

Наибольшее распространение получил способ производства газобетона в вертикальных кассетных формах. Кассета имеет ряд разделительных вертикальных металлических стенок, установленных друг от друга на расстояниях, определяемых толщиной формируемых панелей. Между каждым двумя формовочными отсеками размещается тепловой отсек. Для повышения качества и совершенствования технологии изделий из ячеистых бетонов, особенно с невысокой средней плотностью, осуществляют герметизацию формовочного пространства. В результате повышенного давления газа создаются условия для получения более плотных межпоровых перегородок, увеличения прочности газобетона. Кроме того, исключается срезка «горбушки» и увеличивается оборачиваемость кассетных установок, что повышает эффективность производства газобетона.

На завершающей стадии технологического процесса кассетные формы поступают на предавтоклавную выдержку, затем удаляется неровная верхняя часть («горбушка») и массив разрезается на изделия заданных размеров с помощью резательной машины. Ножом в ней является натянутая металлическая струна, совершающая возвратно-поступательные и вращательные движения, что позволяет разрезать массив в вертикальном и горизонтальном направлениях. Через 30–40 мин, а при вибрационном вспучивании несколько быстрее, изделия направляют в автоклавы для тепловлажностной обработки. Если вяжущим является портландцемент, то дальнейшее твердение изделий возможно и без автоклавов. По физико-химической сущности отверждения изделий автоклавирование относится к процессам сложным. Оно производится при постепенном подъеме, изотермической выдержке и снижении давления пара и температуры среды. Изотермический период при наивысшей температуре 175–200 °С составляет примерно 6–8 ч. При этом в основном образуются гидросиликаты кальция, другие соединения, упрочняющие структуру.

После автоклавной обработки изделия транспортируют к складскому помещению, производят проверку размеров и при необходимости –

фрезерование, отделку поверхности и т. п. Если вяжущим является известь с кремнеземистым компонентом, а получаемый конгломератный материал – газосиликат, то автоклавная обработка изделий строго обязательна. Она может начинаться через 20–30 мин после формования (вместо 30–40 мин при газобетоне). Следует отметить, что наибольший объем (около 2/3) производства теплоизоляционных ячеистых бетонов приходится на долю газосиликата.

Расход извести в ячеистых бетонах несколько ниже, чем портландцемента (например, 150–180 вместо 270–300 кг/м³). При применении известково-цементного песчаного вяжущего общий расход его возрастает, но расход каждого компонента составляет около 125 кг/м³.

Пенобетон и *пеносиликат* получают с применением пенообразователей – смолосапонинового, клееканифольного, ГК, алюмосульфонафтенного и др. Чтобы техническая пена до затвердевания ее стенок («мембран») не распадалась, в смесь вводят стабилизаторы – вязкие вещества типа жидкого стекла, животного клея. Основным компонентом смеси, как и в газобетонах и газосиликатах, остаются цементное тесто, цементно-песчаная или известково-песчаная растворные смеси. Песок подвергают частичному или полному помолу, иногда с вяжущим. Пену готовят отдельно в пеновзбивателе и затем перепускают ее в пенобетонсмесительный аппарат; туда же подают растворную смесь. Через 2–3 мин перемешивания готовая пенобетонная смесь поступает в бункер, из которого она разливается в стальные формы. Далее повторяется технологический цикл автоклавирования. Так как вспучивание смеси с пеной завершается в основном в смесителе, то форма заполняется полностью, тогда как при газообразователях наполнение форм бетоном было возможным не более чем на половину их высоты.

При проектировании составов газо- и пенобетонов, газо- и пеносиликатов исходят из необходимости получения заданных пределов средней плотности и прочности с соблюдением наименьшего расхода вяжущего и порообразующего веществ. Учитывают также требования в отношении морозостойкости бетона и технологичности бетонной смеси. Рекомендуются различные методы подбора состава ячеистых бетонов, которые позволяют получать необходимые числовые показатели основных свойств, однако, более целесообразно и в данном случае пользоваться общим методом проектирования оптимальных составов ИСК. Он позволяет получать не только наиболее экономичные бетоны по своему рациональному составу, но и с комплексом наилучших показателей строительно-технологических и эксплуатационных свойств (закон створа). Физико-механические свойства ячеистых бетонов характеризуются

следующими показателями: маркой по пределу прочности при сжатии образцов-кубов с ребром 150 мм при влажности их 10 ± 2 мас. % и 28-суточном твердении в нормальных температурно-влажностных условиях хранения. По этому показателю ячеистые бетоны разделяются на марки М15, 25, 35, 50, 75, 100, 150 или, согласно ГОСТ 25485–82, на классы: В1; В 1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; по морозостойкости: F15, 25, 50, 75, 100. Для разных целей притеняют бетоны с различной прочностью и морозостойкостью. Так, например, конструкционные ячеистые бетоны должны иметь марку по прочности не менее 75 (класс не ниже В5,0), а по морозостойкости – не менее 50.

При изготовлении армированных изделий из газо- и пенобетона, газо- и пеносиликата рекомендуется предварительно подвергать антикоррозионной обработке стальную арматуру. Важны теплотехнические свойства ячеистых бетонов, особенно при использовании их в качестве стеновых и других ограждающих конструкций. Так, например, коэффициент теплопроводности их равен обычно 0,11–0,15 Вт/(м · °С), а при уменьшении средней плотности до 250–200 кг/м³ он равен 0,08–0,07 Вт/(м · °С), что соответствует хорошим теплозащитным материалам. Эти бетоны имеют также высокую звукопоглощающую и звукоизолирующую способность. Так, при средней плотности 350 кг/м³ коэффициент звукопоглощения составляет 0,7 при частоте волн в среднем интервале 375–500 Гц. По огнестойкости многие ячеистые бетоны превосходят тяжелые цементные бетоны вследствие пониженного содержания в них гидратных соединений, которые являются наиболее уязвимыми к воздействию высоких (экстремальных) температур.

Следует отметить, что прочность, как и другие свойства ячеистых бетонов, обусловлена структурой, ее пористостью и поэтому находится в прямой зависимости от величины средней плотности. Если же средняя плотность остается постоянной, то тогда важнейшими факторами выступают активность вяжущего вещества и оптимальное содержание компонентов в смеси, так что оптимальной структуре ячеистого бетона всегда соответствует комплекс наиболее благоприятных показателей свойств (закон створа).

6.12. Сборные железобетонные изделия и конструкции

Сборные бетонные и железобетонные изделия и конструкции широко применяют в жилищном, гражданском, промышленном, транспортном и других видах строительства.

Железобетоном называют искусственный строительный материал, в котором соединены воедино стальная арматура и бетон.

Совместная работа стали и бетона возможна по следующим условиям:

- бетон хорошо работает при сжатии, но плохо – при растяжении, а сталь хорошо работает при растяжении;

- между бетоном и стальной арматурой возникают значительные силы сцепления, препятствующие скольжению арматуры в бетоне. Это сцепление определяется клеящей способностью цементного раствора и трением стержня о бетон, возникающим при деформациях стержня под нагрузкой. Усадка бетона и неровности поверхности стержней увеличивают трение между бетоном и арматурой;

- у стали и бетона в интервале температур от 0 до 80 °С почти одинаковые температурные коэффициенты линейного расширения, и поэтому при изменении температуры не нарушается монолитность железобетона, т.е. возникающие при изменении температуры усилия, стремящиеся сдвинуть арматуру по отношению к бетону, меньше сил сцепления между ними;

- бетон надежно защищает арматурную сталь от коррозии;

- рН поровой жидкости бетона в начальный период твердения около 12–13, что соответствует сильной щелочной среде, а сталь хорошо сохраняется в среде с рН = 9 и выше.

По виду армирования различают изделия с обычным армированием и предварительно напряженным, когда арматурная сталь предварительно растягивается, а после затвердения бетона в изделии напряжение передается на это изделие. Арматурная сталь бывает стержневая и проволоочная (рис. 6.7). Стержневая в свою очередь делится на гладкую и рифленую периодического профиля диаметром 6–40 мм. Гладкая арматура класса А–I используется в качестве монтажной арматуры – для монтажных петель. Рабочая (рифленая) арматура бывает класса А–II, А–III, А–IV. Арматурная проволока выпускается диаметром 3–8 мм и бывает класса В–I, В–II, Вр–I, Вр–II. Буква «р» обозначает наличие периодического профиля (табл. 6.7).

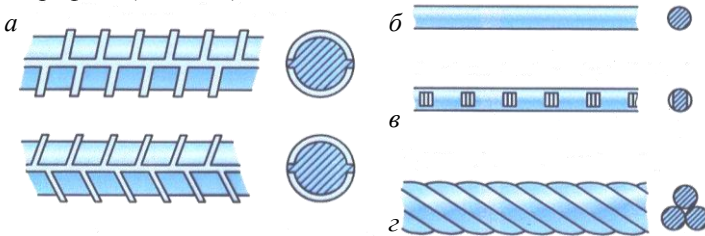


Рис. 6.7. Виды арматурной стали:

а – стержневая периодического профиля; б – проволока; в – упрочненная проволока;
 з – трехпроволочная прядь

**Номенклатура и марки стали стержневой арматуры
(по В.А. Клевцову)**

Класс арматурной стали	Диаметр стержня, мм	Марка стали
А – I	6–40 6–18	Ст3кп3, Ст3пс3, Ст3сп3, ВСт3кп2, ВСт3пс3, ВСт3пс2, ВСт3Гпс2
А – II	8–40 40–80	ВСт5сп2, ВСт5пс2 18Г2С
Ас – II	10–32	10ГТ
А – III	6–40 6–22	35ГС, 25Г2С 32Г2пс, 32Г2Рпс
Ат – IIIС	10–40	БСт5сп, ВСт5пс
А – IV	10–18 10–32	80С 20ХГ2Ц
Ат – IVС	10–28	25Г2С
Ат – IVК	10–28	10ГС2, 20ХГС2, 08Г2С
А – V	10–32	23ХГ2Т
Ат – V	10–28	20Гс, 10ГС2, 20ГС2, 08Г2С
Ат – VСК	10–28	20ХГС2
А – VI	10–22	22ХГ2АЮ, 22ХГ2Р, 20ХГ2СР
Ат – VI	10–28	20ГС, 20ГС2
Ат – VIК	10–28	20ХГС2

Помимо стержневой арматуры существуют также арматурные элементы (рис. 6.8).

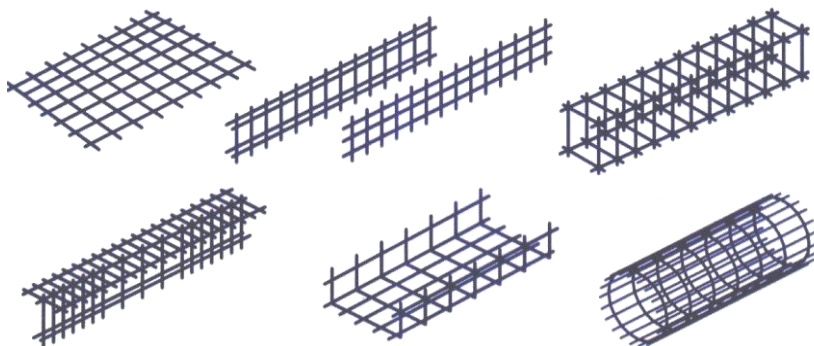


Рис. 6.8. Арматурные элементы:

а – сетка плоская; *б* – плоские каркасы; *в* – пространственный каркас;
г – каркас таврового сечения; *д* – гнутый каркас; *е* – цилиндрический каркас

По назначению сборные ЖБИ разделяют на четыре основные группы (рис. 6.9):

– для жилых и гражданских зданий (фундаментные блоки, стеновые блоки, плиты покрытия и перекрытия, лестничные марши, площадки);

– изделия для промышленных зданий (фундаментные стаканы, фермы, колонны, фундаментные балки и др.);

– изделия для инженерных сооружений (сборные железобетонные строения мостов, трубы больших диаметров, опоры контактной сети железных дорог, шпалы, бордюрные камни, дорожные плиты);

– изделия различного назначения (напорные и безнапорные трубы, сборные колодцы, стойки под светильники, сборные ограды).

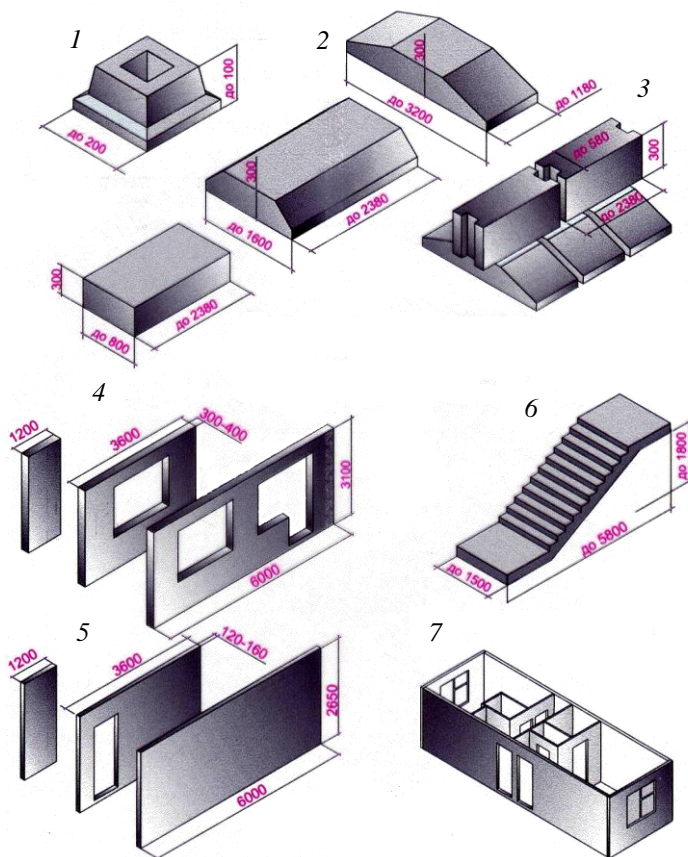


Рис. 6.9. Изделия из бетона и железобетона:

1 – блок лестничного фундамента; 2 – фундаментные блоки стен подвалов; 3 – фундамент под колонны; 4 – панели наружных стен жилых зданий; 5 – панели внутренних стен жилых зданий; 6 – лестничный марш; 7 – объемный элемент (кухня, комната)

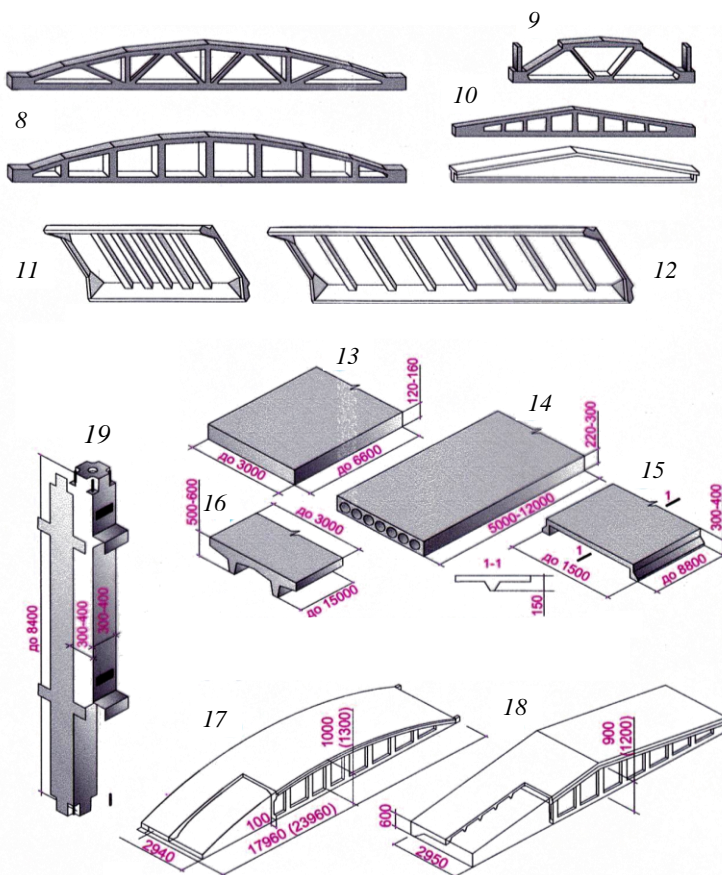


Рис. 6.9. Изделия из бетона и железобетона (Окончание):

8 – стропильные фермы; 9 – подстропильная ферма; 10 – балки; 11 – ребристые плиты покрытия длиной 6 м; 12 – ребристые плиты покрытия длиной 12 м; 13 – плита покрытия многоэтажных зданий сплошного сечения; 14 – плита покрытия многоэтажных зданий многопустотная; 15 – плита покрытия многоэтажных зданий ребристая; 16 – плита покрытия многоэтажных зданий типа 2Т; 17 – предварительно напряженная плита «на пролет» типа КЖС; 18 – предварительно напряженная плита «на пролет» типа П; 19 – колонна каркаса многоэтажных зданий

6.13. Изготовление сборных ЖБИ

Производство железобетонных изделий для сборного строительства развивается по двум принципиально различным направлениям:

формование в стационарных, перемещаемых формах – *стендовая и кассетная технологии*; формование в перемещаемых формах – *поточно-агрегатный способ* и на поддонах вагонетках – *конвейерная технология*.

6.13.1. Стендовая технология

Стенд представляет собой железобетонную площадку с гладкой поверхностью, разделенную полосами на отдельные технологические участки. На площадке устанавливают опалубки определенной конфигурации, соответствующей форме будущего изделия. Изделие, находясь в стационарной форме в течение всего производственного цикла (до момента затвердевания бетона), остается на месте. В то же время технологическое оборудование для выполнения отдельных операций по укладке арматуры, бетонной смеси и уплотнению перемещается последовательно от одной формы к другой.

Стеновый способ дает высокий экономический эффект при изготовлении железобетонных изделий значительных размеров: плит перекрытий, ферм и балок для промышленного и транспортного строительства.

Особое значение стеновый способ производства приобрел при массовом изготовлении изделий в кассетах (рис. 6.10). При таком способе производства изделия изготавливают в вертикальных формах-кассетах, представляющих собой ряд отсеков, образованных стальными, прочно укрепленными стенками-перегородками. На кассетной установке осуществляется полностью весь цикл производства тонкостенных изделий, т. е. укладка арматуры, укладка и уплотнение бетонной смеси и твердение. Для этой цели кассетная установка имеет вибрирующие устройства и устройства для парового или электрообогрева изделий в процессе твердения.

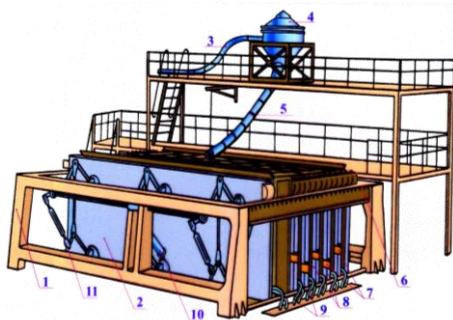


Рис. 6.10. Кассетно-формовочная машина:

- 1 – рама; 2 – упоры для обжатия кассеты;
- 3 – бетонопровод; 4 – гаситель (циклон) для бетонной смеси; 5 – гибкий шланг для загрузки смеси в формы; 6 – роликовые опоры разделительных стенок; 7 – навесные вибраторы;
- 8 – вертикальные разделительные стенки кассеты; 9 – подводка пара в тепловые отсеки;
- 10 – гидроцилиндр; 11 – рычажная система для сборки и разборки кассет

6.13.2. Поточно-агрегатный способ

Поточно-агрегатный способ производства состоит в том, что все операции по изготовлению изделия, очистке и смазке форм, укладке арматуры и бетонной смеси, твердению и распалубке выполняют на специальных постах, образующих определенную поточную технологическую линию.

Изделие вместе с формой последовательно перемещается (с помощью крана или тельфера) от поста к посту с различными интервалами времени, зависящими от продолжительности той или иной операции: от нескольких минут (смазка форм) до нескольких часов (твердение в пропарочных камерах).

Основное преимущество поточно-агрегатного способа производства заключается в универсальности основного технологического оборудования. Так, например, при незначительной затрате средств на изготовление новых форм можно быстро переходить на выпуск другого вида изделий. Этот способ производства железобетона получил в нашей стране наибольшее распространение.

Он экономически целесообразен для заводов с широкой номенклатурой изделий и средней годовой производительностью до 100 тыс. м³.

6.13.3. Конвейерный способ

Конвейерный способ производства представляет собой более совершенную поточную технологию и позволяет максимально механизировать и автоматизировать основные операции. Технологическая линия работает по принципу замкнутого пульсирующего конвейера. Изделие перемещается от поста к посту с интервалом времени, необходимым для выполнения наиболее продолжительной операции. Вагонетки-поддоны, на которых собирают форму изделия, с помощью специального толкателя перемещаются по конвейерной линии для производственных операций: очистки и смазки форм, укладки арматуры и бетонной смеси, уплотнения смеси, тепловлажностной обработки и распалубки.

Конвейерный способ производства экономически целесообразен при выпуске однотипных изделий на заводах большой мощности. Дальнейшим совершенствованием конвейерной технологии является изготовление железобетонных изделий для сборного строительства на специальных прокатных станах.

6.14. Технология монолитного железобетона

Изготовление монолитных бетонных и железобетонных конструк-

ций экономически целесообразно при использовании индустриальных методов строительного производства и широком применении инвентарной металлической или деревянной опалубки.

Отличительная особенность изготовления монолитного железобетона заключается в том, что основные технологические операции – монтаж опалубки, укладка арматуры и бетонной смеси в опалубку, уплотнение бетонной смеси, твердение отформованных изделий и уход за бетоном – производят на месте строительных работ.

В зависимости от конфигурации бетонируемой конструкции используют различные виды опалубки: стационарную, разборно-переставную, скользящую, перемещаемую в горизонтальном направлении и др.

Арматуру заготавливают в арматурно-сварочных цехах железобетонных заводов и доставляют на место установки в опалубку. Бетонную смесь готовят на механизированных (автоматизированных) бетонных заводах и в виде «товарного бетона» (бетонной смеси) доставляют на место ее укладки. Для большинства монолитных железобетонных изделий и конструкций удобоукладываемость бетонной смеси, характеризуемая осадкой стандартного конуса, находится в пределах от 1–3 см (фундаменты, подпорные стенки, блоки массивов и т. п.) до 6–8 см (конструкции, насыщенные арматурой, тонкие стенки, плиты, колонны малого сечения и др.).

Транспортируют бетонную смесь на место работ автосамосвалами, а при значительных расстояниях – автобетоносмесителями. В автобетоносмесителях готовые бетонные смеси не загрязняются, не расслаиваются и сохраняют однородность, так как могут перемешиваться во время транспортирования. Бетонную смесь часто готовят непосредственно в барабане автобетоносмесителя. Сухие составляющие в заданных количествах загружают в барабан на центральном дозировочном узле бетонного завода и в пути за 5–8 мин до прибытия на место работ готовят бетонную смесь.

На строительной площадке для транспортирования и укладки бетонной смеси используют краны, транспортеры, пневмонасосы и пневмонагнетатели. Пневматический способ подачи бетонной смеси к месту укладки отличается простотой и позволяет транспортировать ее сжатым воздухом по трубам на расстояние до 150 м.

Уплотняют бетонную смесь в опалубке с помощью навесных и переносных поверхностных или глубинных вибраторов.

Монолитные бетонные и железобетонные конструкции бетонируют непрерывно или участками, блоками. Непрерывную укладку бе-

тонной смеси производят в том случае, когда необходимо получить повышенную монолитность и однородность бетона в конструкции или изделия. При бетонировании конструкций большой площади (железобетонные перекрытия) работы ведут участками, предусматривая устройство рабочих швов в местах минимальных напряжений.

Качество бетонируемой конструкции в значительной степени зависит от благоприятных температурно-влажностных условий гидратации цемента и формирования структуры железобетона. Поэтому сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси начинают уход за бетоном. В летний период бетонирования поверхность свежесложенной бетонной смеси предохраняют от высыхания, а в первые часы твердения – и от дождя. Для этого открытые горизонтальные поверхности конструкции покрывают слоем влажного песка, опилок или увлажненной тканью грубого переплетения (мешковина). В жаркую погоду предохраняющее покрытие поддерживают во влажном состоянии до приобретения бетоном не менее 70 % проектной прочности. Вертикальные поверхности бетонируемой конструкции после снятия опалубки увлажняют водой.

При бетонировании конструкций с большой поверхностью и протяженностью (аэродромные и дорожные бетонные покрытия) для сохранения влаги применяют различные пленкообразующие составы, отражающие лучи солнца. Уложенные бетонные смеси часто покрывают полимерными пленками (полиэтиленовые, поливинилхлоридные и др.), которые хорошо сохраняют влагу и предотвращают образование температурно-усадочных деформаций. После достижения бетоном проектной прочности производят распалубку железобетонной конструкции и передачу на нее реально действующей (заданной) нагрузки.

6.15. Специальные виды бетонов

Жаростойкий бетон. Под действием высоких температур на застывший портландцемент происходит разложение гидроксида кальция, находящегося в цементном камне, и образование свободного оксида кальция. Он опасен тем, что при действии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят материалы, содержащие активный кремнезем (пемзу, доменный гранулированный шлак, шамот), который реагирует с CaO при температуре 700–900 °С, и в результате реакций, протекающих в твердом состоянии, связывает оксид кальция в устойчивые силикаты.

Глиноземистый цемент можно применять без тонкомолотой добавки,

поскольку при его твердении не образуется гидроксид кальция. Бетон на этом цементе с заполнителем из высокоглиноземистого кирпича, корунда можно применять при температуре 1800 °С и выше.

Заполнителем для жаростойкого бетона служит бой глиняного кирпича, такие горные породы, как диорит, диабаз, габбро, пемза, вулканический туф, а также кусковой шамот и т.п.

Жаростойкий бетон используют для облицовки котлов, футеровки печей, изготовления строительных конструкций, подверженных нагреванию, например дымовых труб.

Бетон для защиты для радиоактивных излучений предназначается для конструкций биологической защиты, атомных электростанций, предприятий по производству и переработке изотопов. Защитные свойства этого бетона определяются в основном его средней плотностью и содержанием связанной воды, являющейся замедлителем нейтронов.

В качестве вяжущего вещества при производстве этих бетонов используют портландцемент и шлакопортландцемент, а в качестве заполнителей – железные руды (магнетит (Fe_3O_4) и гематит (Fe_2O_3), бурый железняк (лимонит) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), барит (BaSO_4), стальная стружка, чугунная дробь и др. Средняя плотность бетона на металлических заполнителях достигает 6000 кг/м³.

Гидротехнический бетон предназначается для конструкций, находящихся в воде или периодически соприкасающихся с водой. В связи с этим его подразделяют на бетон подводный, находящийся постоянно в воде переменного уровня, и надводный, находящийся выше уровня воды.

В зоне переменного уровня воды влажный бетон многократно замерзает и оттаивает, поэтому от бетона требуется высокая плотность (марки по водонепроницаемости В6–В12) и морозостойкость (марки F150–500).

В качестве вяжущего для этих бетонов применяют сульфатостойкие портландцементы с пластифицирующими и гидрофобизирующими добавками.

Дорожный бетон и бетонные покрытия полов. Цементно-бетонные покрытия дорог и аэродромов находятся в специфических условиях, подвергаясь истиранию, многократному замораживанию при одновременном действии солей, применяемых для предотвращения обледенения и облегчения очистки дорог от льда. Морозостойкость бетона должна быть в пределах F100–200. В качестве вяжущего желателен применять гидрофобный и пластифицированный портландцемент с содержанием трехкальциевого алюмината не более 10 %.

Бетонные покрытия полов промышленных зданий могут быть мо-

нолитными и сборными. Бетон для этих целей должен хорошо сопротивляться истиранию. Твердые заполнители изготавливают из гранитов, диоритов и других изверженных горных пород. Искусственные заполнители повышенной вязкости и износостойкости получают путем переплавки некоторых горных пород, а также из металлургических шлаков. Для увеличения твердости и износостойкости верхнего слоя цементно-бетонного покрытия втрамбовывают в свежееуложенный бетон порошок, приготовленный из твердых материалов, например корунда. Износостойкость бетонного пола значительно возрастает при покрытии его эпоксидными полимерами, которые одновременно защищают бетон от химической коррозии.

Бетон, упрочненный полимером (бетонополимер), представляет собой композиционный материал, в котором силикатная матрица совмещена с органическим полимером. Бетонополимер получают пропитыванием раствором мономера (метилметакрилата, стирола), который полимеризуют в порах бетона. Механические, физические и химические свойства бетонополимера коренным образом отличаются от свойств исходного бетона, подвергнутого пропитке.

На основе бетонов прочностью 30–50 МПа получают пропитанные бетоны прочностью до 300 МПа; прочность бетонополимера достигает 10–20 МПа, в 3–4 раза возрастает сопротивление истиранию. Обращает внимание значительное снижение водопроницаемости (примерно в 7 раз) и увеличение морозостойкости (до 7000 циклов попеременного замораживания и оттаивания).

Полимербетон изготавливают преимущественно на основе термореактивных полимеров: полиэфирных, эпоксидных, фенолоформальдегидных, фурановых. Заполнители выбирают с учетом агрессивности среды. Для кислых сред изготавливают полимербетон на кислотостойких заполнителях – кварцевом песке и щебне из кварцита, базальта или гранита. Используют также дробленый бой кислотоупорного кирпича. Применение углеродсодержащих порошкообразных заполнителей (кокса, антрацита, графита) позволяет получать плотные и стойкие составы.

Полимербетоны отличаются от обычного цементного бетона не только химической стойкостью, но и высокими показателями прочности, в особенности при растяжении (7–20 МПа) и изгибе (15–40 МПа). Прочность при сжатии достигает 60–120 МПа.

Полимербетоны применяют с учетом их теплостойкости, составляющей 100–200 °С. Тепловое расширение и ползучесть полимербетонов удается снизить путем максимального насыщения заполнителем и введения порошкообразного и волокнистого наполнителей.

Задания для самопроверки

1. Классификация бетонов по их средней плотности, виду вяжущего, назначению.
2. Какие требования предъявляются к качеству мелкого и крупного заполнителя для бетона? Требования к воде.
3. Как определяют модуль крупности песка? В чем преимущество крупных песков по сравнению с мелкими?
4. Какие есть виды легких бетонов? Какие требования предъявляются к легким пористым заполнителям? Назовите легкие пористые заполнители для бетонов.
5. Напишите формулы прочности цементного бетона и объясните их. Что такое марка (класс) бетона?
6. Свойства бетонной смеси. Как определяются подвижность и жесткость бетонной смеси?
7. Проектирование состава тяжелого бетона по методу абсолютных объемов.
8. Как уплотняют бетонные смеси? Как ускоряют твердение бетонных и железобетонных изделий на производстве?
9. Особенности зимнего бетонирования. Особенности бетонирования в жарких климатических условиях.
10. Из каких материалов изготавливают пенобетон, пеносиликат, газобетон и газосиликат? Основные этапы технологии этих бетонов. Применение их в строительстве.
11. Как осуществить экономию цемента в бетоне при проектировании его состава и при приготовлении? Как определить коэффициент выхода бетонной смеси?
12. Что такое высококачественный бетон?
13. Перечислить основные преимущества мелкозернистого бетона.
14. Что такое фибробетон? Перечислить основные виды фибры?
15. Достоинства и недостатки железобетона. Виды и классы арматурной стали.
16. Что такое предварительно напряженный железобетон? Какие существуют способы натяжения арматуры? Преимущества и недостатки.
17. Какие существуют технологические схемы производства сборного железобетона? Опишите их преимущества и недостатки.

7. АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Асбестоцемент – искусственный материал, получаемый в результате затвердевания цемента, 10–20 % асбеста (от массы цемента) и воды. Асбест в виде волокон является заполнителем, выполняющим функции армирующего компонента. Благодаря этому асбестоцементные изделия имеют гораздо большую прочность при растяжении и изгибе, чем цементный камень или цементный бетон. Асбестоцемент обладает высокой прочностью на сжатие, имеет малую водопроницаемость, огнестоек, долговечен, у него сравнительно небольшая теплопроводность и электропроводность. Асбестоцементные изделия могут быть цветными либо покрытыми с поверхности различными красками и эмалями, поэтому они широко применяются в современном строительстве.

7.1. Материалы для асбестоцементных изделий

Для производства асбестоцементных изделий (АЦИ) применяют следующие материалы: асбест, цемент, воду и краски.

Асбест

Асбест – тонковолокнистый минерал. Волокна асбеста состоят из параллельно расположенных тончайших элементарных кристаллов – волоконцев (фибрилл). В производстве асбестоцементных изделий асбест расщепляют (распушивают) до среднего диаметра волокон примерно 0,02 мм. В природе из существующих разновидностей асбеста добывают в основном хризотил-асбест. Его извлекают из серпентиновых пород, в которых асбест присутствует в виде жил. По химическому составу хризотил-асбест является водным силикатом магния $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который в основном применяют в асбестоцементной промышленности. В асбесте почти всегда присутствуют примеси: закисное железо, карбонаты, сульфаты и др. Хризотил-асбест имеет высокую прочность на растяжение вдоль волокон – до 3000 МПа, что гораздо выше прочности стали; он достаточно эластичен, но при распушке часть волокон разрушается и реальная прочность такого волокна при растяжении составляет 600–800 МПа.

Волокна асбеста обладают большой адсорбционной способностью, при смешивании с водой легко образуется суспензия, а при смешивании с водой и с цементом волокна асбеста адсорбируют $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и другие продукты гидратации портландцемента. Длина волокон распушенного асбеста – от долей миллиметра до 40 мм. В зависимости от длины волокна и по содержанию пыли асбест разделяют на восемь

сортов. Самая большая длина волокон в асбесте нулевого сорта: чем больше средняя длина волокон, тем выше сорт. При производстве асбестоцементных изделий обычно применяют асбест 3, 4, 5, 6-го сорта с длиной волокон 0,3–10 мм. Для повышения прочности асбестоцементных изделий на растяжение и на удар 10–15 % асбестовых волокон заменяют на волокна базальтовые, стеклянные, из шлаковой ваты, синтетические, небеленые целлюлозные и другие волокна.

Асбест подразделяют еще и на марки (всего 42 марки). Каждый сорт подразделяется на марки по текстуре (полужесткая и мягкая – в зависимости от степени распушенности или обогащения), по количеству остатка в процентах на верхнем сите специального контрольного аппарата. Чем длиннее и жестче волокна асбеста, тем лучше его качество и, следовательно, качество асбестоцементных изделий.

Цемент

Для производства асбестоцементных изделий применяют специальный портландцемент класса 32,5 и 42,5, получаемый из клинкера с содержанием C_3S более 52 %, C_3A – 3–8 %, $CaO_{св}$ – менее 1 %, а MgO – менее 5 %. Удельная поверхность цемента – 220–320 м²/кг. Начало схватывания – не ранее 1 ч 30 мин, а конец – не позднее 10 ч с момента затворения водой. При автоклавном твердении изделий применяют песчаный портландцемент с добавкой до 45 % молотого песка. Используют также белый и цветной цементы.

Большая удельная поверхность асбестового волокна (150–300 см²/г) обуславливает его высокую адсорбционную способность. Таким образом, адсорбируя выделяющиеся при твердении цемента продукты гидратации, асбест уменьшает их концентрацию в растворе, что приводит к ускорению схватывания и твердения цемента. Цементный камень при этом прочно связывается с волокнами асбеста. Прочность этой связи со временем нарастает.

Вода

Вода, используемая для распушки асбеста, приготовления формовочной смеси и других работ при изготовлении асбестоцементных изделий не должна содержать глинистых примесей, органических веществ, иногда используют рекуперационную воду, если она соответствует предъявляемым требованиям по содержанию в ней взвешенных веществ, показателю pH и др. Количество минеральных примесей и растворимых солей в воде не должно превышать нормы, допустимые для питьевой воды.

Для окраски изделий применяют цветные цементы или минеральные щелочестойкие пигменты, обладающие свето- и атмосфероустойчивостью: сурик железный, охра, окись хрома, ультрамарин.

Листы для облицовки санитарных узлов и кухонь покрывают водонепроницаемыми эмалями и лаками.

7.2. Производство асбестоцементных изделий

Производство АСИ осуществляется тремя способами: *мокрым*, *сухим* и *полусухим*. Чаще всего применяют мокрый способ, сухой способ применяют при изготовлении плоских листов и плиток из увлажненной асбестоцементной смеси, содержащей 12–16 % воды. При полусухом способе изделия изготавливают из сметанообразной массы, содержащей 20–40 % воды. Основными технологическими операциями при всех способах являются:

- приготовление шихты асбеста;
- распушка асбеста;
- приготовление смеси из асбеста, цемента, воды и добавок;
- формование изделий;
- тепловлажностная обработка для ускорения твердения отформованных изделий;
- механическая обработка (обрезка кромок, пробивка отверстий).

В целях обеспечения хорошей фильтрующей способности и получения высокой плотности асбестовая шихта составляется из нескольких сортов асбеста. Это позволяет также улучшить водоудержание в смесях.

Распушка асбеста осуществляется в две стадии: сначала асбестовая шихта обминается на бегунах или валковых машинах, при этом ослабевает связь между волокнами асбеста, затем на второй стадии размятые куски расщепляются на отдельные волокна в голлендерах или гидропушителях при мокром способе, а в дезинтеграторах – при мокром, полусухом и сухом способах производства. При мокром способе распушка асбеста осуществляется в голлендерах в присутствии воды, которая ослабляет связи между волокнами.

Голлендеры бывают периодического и непрерывного действия (рис. 7.1). Внутри голлендера имеется вращающийся барабан, снабженный ножами, а под барабаном – ножевая планка. Куски асбеста, обмятого бегунами, с помощью ножей и вихревых движений струй воды распушивают на тончайшие волокна. Далее в голлендер

периодического действия загружают цемент, добавляют воду из рекуператора – сборника отработанной воды – и добавки из расчета получения полностью готовой асбестоцементной суспензии, содержащей 8–10 % сухих компонентов (асбеста и цемента) и 90–92 % воды. На других листоформовочных машинах используют суспензию более высокой концентрации, например до 45 % сухого вещества, содержащего, в свою очередь, до 15 % асбеста и до 85 % цемента, а также 60–55 % воды. За 8–10 мин перемешивания в голлендере суспензия приобретает достаточную однородность. При применении песчанистого цемента время перемешивания составляет 12–13 мин, при этом на волокнах асбеста осаждаются частицы цемента, продукты его гидратации и частицы молотого песка. Далее асбестоцементная масса поступает в ковшовую мешалку, в которой создается запас для обеспечения бесперебойной работы формовочной машины. Потом из мешалки эта суспензия по желобу выливается в металлическую ванну листоформовочной или трубоформовочной машины. Для обеспечения необходимой концентрации смеси в желоб подается рекуперационная вода.

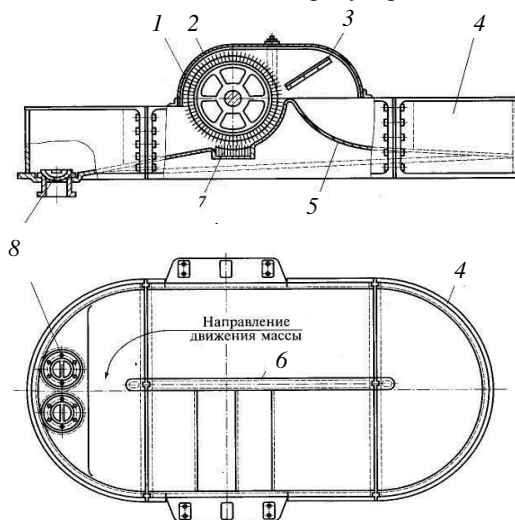


Рис. 7.1. Голлендер периодического действия:

- 1 – барабан со стальными ножами; 2 – кожух; 3 – отражатель; 4 – ванна; 5 – горка;
6 – перегородка; 7 – ножевая планка; 8 – выпускные отверстия

При мокром способе формование листов и других асбестоцементных изделий осуществляется на круглосетчатой формовочной машине

(рис. 7.2). В металлической ванне 7 находится сетчатый барабан 10, обтянутый металлической сеткой, при вращении которого на сетке осаждается тонким слоем асбестоцементная масса за счет фильтрации воды сквозь сетку. С поверхности барабана слой этой массы снимается бесконечной суконной лентой 3. Пройдя на ленте над вакуум-коробкой 6, обезвоженная асбестоцементная масса подходит в форматному барабану 7, который снимает массу с ленты сукна и навивает ее на свою поверхность тонкими концентрическими слоями 5. По достижении необходимой толщины слоя его разрезают по образующей форматного барабана 7 и сырой лист снимают. При работе трехцилиндровой листоформовочной машины давление прессовой части машины составляет обычно 0,2–0,4 МПа, для второго подпрессовочного вала – 10–12 МПа, для пресс-вала – до 40 МПа, в результате чего содержание влаги в отформованном листе снижается до 25 %. Вода из сетчатого барабана отводится сначала в сгустители (рекуператоры) и после отделения из нее частиц асбеста и возвращения их в производство используется для промывки сетки, сукна и разжижения асбестоцементной массы.

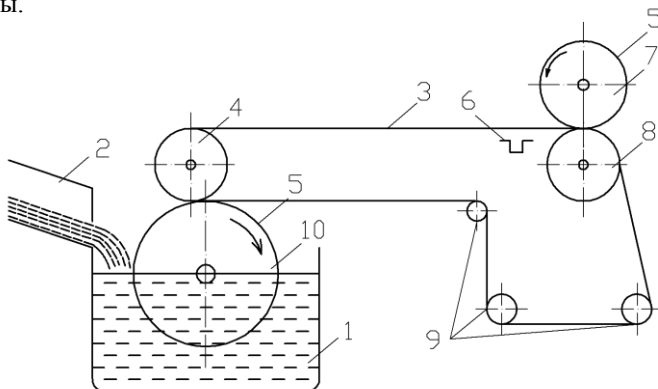


Рис. 7.2. Схема формовочной машины для производства асбестоцементных изделий:

1 – металлическая ванна; 2 – желоб для подачи асбестоцементной массы; 3 – лента конвейера; 4 – прижимной вал; 5 – слой асбестоцементной массы; 6 – вакуум-коробка; 7 – форматный барабан; 8 – ведущий вал; 9 – натяжные валики; 10 – барабан, обтянутый металлической сеткой

При изготовлении волнистых листов снятый с форматного барабана лист проходит стадию волнирования на специальных станках скальчатого типа периодического действия. На автоматизированных линиях по производству волнистых листов установлены станки непрерывного действия.

Для производства труб применяют трубоформовочные машины со съемными форматными барабанами (скалками). Эти машины работают по тому же принципу, что и листоформовочные машины. После навивки асбестоцементной массы требуемой толщины на скалку, последнюю снимают и устанавливают новую. Чтобы вынуть скалку, диаметр отформованной трубы увеличивают, растягивая сетку у концов металлическими клиньями, и развальцовывают трубу на специальном устройстве.

Асбестоцементные плоские изделия небольших размеров изготавливают, разрезая большие листы на плитки с последующим их пресованием под давлением до 40 МПа. Отформованные изделия проходят тепловлажностную обработку в пропарочных камерах при температуре 50–60 °С и относительной влажности 90–95 °С за 10–16 ч, трубы твердеют 3–8 сут в бассейнах с водой. Окончательное твердение изделий проходит за 5–7 сут в утепленном складе. При изготовлении асбестоцементных изделий на песчанистом цементе их твердение происходит в автоклавах под давлением пара 0,8 МПа и температуре 172–174 °С за 12–16 ч, после чего выдержка на складе не обязательна.

При сухом и полусухом способах производства сначала перемешивают в смесителях сухие компоненты, а потом в бетоносмесителях циклического действия с добавлением воды. Уплотнение массы осуществляется на конвейерной ленте катками или под прессом. Изготовленные изделия (плитки) твердеют в автоклавах. Сухой способ позволяет использовать коротковолокнистый асбест.

7.3. Свойства асбестоцемента

Механические свойства асбестоцемента зависят от содержания асбестового волокна и его качества (длины и диаметра волокон), активности цемента, плотности асбестоцемента, условий твердения.

Ввиду армирующего действия асбеста (прочность на растяжение волокна распушенного асбеста около 700 МПа), при введении его в состав цементного камня в количестве около 15 %, предел прочности асбестоцемента выше предела прочности цементного камня: при растяжении – в 3–5 раз, а при изгибе – в 2–3 раза.

Долговечность АЦИ зависит главным образом от их плотности. Морозостойкость таких изделий составляет: плотностью 1,57 г/см³ – 25 циклов; плотностью 1,65 г/см³ – 50 циклов; плотностью 1,8 г/см³ – 100 циклов замораживания и оттаивания (при снижении прочности на 10 %).

Теплопроводность асбестоцемента плотностью 1,9 г/см³ естественной влажности составляет 0,35 Вт/(м·°С).

Предельная температура применения асбестоцементных изделий на портландцементе – 250 °С, значительное снижение прочности наступает при температуре 400–500 °С. При использовании вяжущих с кремнеземистыми добавками можно получать изделия, выдерживающие температуру до 1000 °С.

К недостаткам асбестоцемента относятся хрупкость, расслаиваемость и склонность к короблению при изменении влажности. При производстве АЦИ образуется большое количество отходов в виде асбестита, обрезков труб и боя изделий.

7.4. Виды асбестоцементных изделий

Асбестоцементные изделия подразделяются на листы, панели, плиты, трубы и фасонные детали к ним, короба, подоконные доски, изделия специального назначения, малые архитектурные формы (цветочницы, вазы) и др. (рис. 7.3)



Рис. 7.3. Разновидности изделий из асбестоцемента производимые на заводе ОАО «БелАЦИ» (Белгород)

Профилированные листы изготавливают из асбестоцемента волнистыми унифицированного, среднего и обыкновенного профиля. Волнистые листы унифицированного профиля УВ имеют шестиволновый профиль. Обозначение УВ-7,5-1750 указывает на толщину и длину листа в миллиметрах. Высота волны перекрываемой – 45 мм, а

перекрывающей – 54 мм. Предел прочности при изгибе листов УВ должен быть более 18 МПа, водопоглощение – не выше 28 %, морозостойкость – не менее 25 циклов. Листы среднего профиля имеют семи-волновый и восьмиволновый профиль. Листы обыкновенного профиля имеют шестиволновый профиль.

Профилированные листы производят серого цвета или окрашенные и применяют для устройства кровель жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий, а также стеновых ограждений производственных зданий и сооружений.

Асбестоцементные *плоские листы* изготавливают окрашенными или с лицевой поверхности покрытыми эмалью. Предел прочности при изгибе их должен быть не менее 25 МПа.

Панели и плиты из асбестоцемента подразделяют на кровельные, стеновые и перегородки. Производят их сборными, а иногда цельноформованными. По конструкции они подразделяются на неутепленные, утепленные и акустические.

Асбестоцементные трубы выпускают следующего назначения: водопроводные (напорные и безнапорные), газопроводные, канализационные, вентиляционные. Напорные водопроводные трубы используют при давлении от 0,6 до 1,8 МПа.

Асбестоцементные водопроводные трубы имеют длину 2950–3950 мм, внутренний диаметр – 50–500 мм, толщину стенок – 9–43,5 мм. Длина канализационных труб – 2500–4000 мм, внутренний диаметр – 50–600 мм, толщина стенок – 7–18 мм.

Газопроводные трубы применяют при рабочем давлении до 0,3 МПа. Асбестоцементные трубы применяют также для устройства нефтепроводов, прокладки телефонных кабелей, мусоропроводов и т.д. Для соединения асбестоцементных труб применяют соединительные асбестоцементные муфты.

По сравнению с металлическими, асбестоцементные трубы в 3–4 раза легче и в 2–4 раза дешевле. На них не действуют разрушающие блуждающие токи, быстро выводящие из строя металл.

Вентиляционные короба изготавливают круглого или прямоугольного сечения безраструбные или с раструбом на одном конце.

Задания для самопроверки

1. Характеристика сырья для производства асбестоцемента.
2. Назовите важнейшие асбестоцементные материалы и изделия, охарактеризуйте их свойства.
3. Как изготавливают асбестоцементные трубы?

8. СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ

Сухая строительная смесь (ССС) – это приготовленный в заводских условиях, строго дозированный в соответствии с рецептом, набор ингредиентов, который составлен для возможности выполнения определенного вида строительных и ремонтных работ.

В соответствии с ГОСТ 31189–2000 Смеси сухие строительные. Сухие строительные смеси классифицируют по следующим признакам:

По *основному назначению*:

- выравнивающие;
- облицовочные;
- напольные;
- ремонтные;
- защитные;
- кладочные;
- монтажные;
- декоративные;
- гидроизоляционные;
- теплоизоляционные;
- грунтовочные.

В свою очередь выравнивающие смеси по способу нанесения подразделяют на *штукатурные* и *шпаклевочные*. Облицовочные смеси – на *клеевые* и *шовные*. Напольные смеси в зависимости от назначения в конструкции пола подразделяют на *выравнивающие* и *несущие*, а в зависимости от технологии устройства напольных конструкций – на *уплотняемые, самоуплотняющиеся, затирочные*.

Ремонтные смеси выпускают *поверхностные* и *инъекционные*.

Защитные смеси делят:

- на ингибирующие;
- санирующие;
- биоцидные;
- огнезащитные;
- коррозионно-защитные;
- морозозащитные;
- радиационно-защитные.

Гидроизоляционные смеси могут быть *поверхностные* и *проникающие*. Проникающие смеси делят на *инъекционные* и *капиллярные*.

В зависимости от используемых для производства смесей *вяжущих веществ* ССС подразделяют:

- на цементные,
- гипсовые,
- известковые,
- полимерные,
- сложные.

По наибольшей крупности зерен заполнителей смеси подразделяют на бетонные, растворные, дисперсные.

8.1. Области применения сухих строительных смесей

Использование сухих строительных смесей позволяет готовить рабочие растворы порциями в расчете на необходимый объем работ. Применение сухих смесей повышает уровень механизации работ, благодаря чему снижается численность рабочих и повышается культура производства. Уменьшаются факторы, отрицательно влияющие на окружающую среду. Первое место по потреблению строительных смесей на душу населения стабильно занимает Германия – около 80 кг/чел., второе – Финляндия и Швеция – 60 кг/чел., третье – Франция.

Сухие строительные смеси применяются в растворах для различных кладок: кирпичных, бетонных, ячеистых и древесинных, при приклеивании керамической плитки, при штукатурных работах. Могут использоваться для гидроизоляционных растворов, растворов для зимних работ – способность твердеть при отрицательной температуре.

Наибольшее применение находят строительные смеси для монтажных, штукатурных, облицовочных работ, для отделки фасадов и интерьеров (штукатурные и шпаклевочные смеси), для устройства полов, для специальных работ. В зависимости от вида монтажных работ сухие смеси используют для производства каменных работ, для заделки стыков при монтаже наружных и внутренних стен из панелей и крупных блоков, замоноличивания стыков при производстве монтажных работ, связанных с установкой колонн, ригелей, балок и других железобетонных конструкций.

Растворы на основе цемента применяют при отделке наружных стен и помещений с повышенной влажностью. Жилые помещения с нормальной влажностью штукатурят сложным раствором на основе смешанных сухих строительных смесей.

Для выравнивания поверхностей применяются штукатурные смеси. Новым материалом для таких работ является сухая штукатурная смесь

для обрызга, которая применяется в качестве первого слоя штукатурного намета перед нанесением второго слоя – грунта.

Часто при выравнивании полов толщина выравниваемого слоя достигает десятков сантиметров, в таких случаях используют сухую смесь на основе специального цемента и пенополистирольных гранул в качестве заполнителя. Она может так же применяться при выравнивании поверхности несущего перекрытия при наличии на нем положенных кабелей, труб и т. п.

Растворы из сухих строительных смесей применяют для теплоизоляции, звукоизоляции и акустической безопасности, экранизации электромагнитных излучений высоких и сверхвысоких частот.

Также применяется для финишной отделки стен и потолков. Для таких работ используются ССС, которые легко наносятся, и быстрое время высыхания. Использование декоративных сухих смесей позволяет добиться различной фактуры стен с элементами живописи и вкрапления сусального золота. В России производство сухих строительных смесей началось позже, чем в других странах, но в настоящее время интенсивно расширяется.

8.2. Технология получения сухих строительных смесей

Технология при производстве сухих строительных смесей заключается в правильном подборе и дозировании составляющих материалов. Если компоненты смеси отдозированы не в соответствии с составом, то смесь не пригодна и бракуется, так как она не отвечает поставленным требованиям.

На предприятии по производству сухих строительных смесей для хранения основного сырья используют специально подготовленные склады. Материалы на склад доставляются как автотранспортом так и железнодорожным транспортом. Большое количество материала для производства сухой смеси на завод доставляется в мешка, его хранение осуществляется не посредственно на поддонах из дерева в специально подготовленном складе, а некоторые материалы хранятся прямо в цехе, где происходит производство смесей.

Такие материалы, как портландцемент, известняковая мука, гашеная известь хранятся в специально подготовленных силосных складах, которые изготавливаются из бетона или железа.

Выгрузка прибывших материалов производится в бункерные приемные устройства, из которых системой горизонтальных ленточных конвейеров или насосами пневмокамерными материал направляется в склад.

Эффективный способ хранения материалов, обеспечивает надежную защиту материалов от неравномерного увлажнения атмосферными осадками и загрязнения.

Приготовление сухой строительной смеси основано на перемешивании всех компонентов в смесителе. На предприятии используют лопастной бетоносмеситель периодического действия.

Для получения качественной сухой смеси и обеспечения максимальной производительности выбранного смесительного оборудования требуется обоснованное назначение режима перемешивания: продолжительность перемешивания, скорость вращения барабана или лопастных валов смесительной машины, степени заполнения барабана компонентами. Оборудование располагается в цехе по одноступенчатой схеме, т.е. подъем исходных материалов в расходные бункера, расположенные в верхней части здания цеха, производят один раз. Дальнейшее движение компонентов смеси согласно технологии производства происходит под действием их собственной массы.

Первой стадией при производстве сухих смесей является складирование и хранение сырья. Каждое сырье имеет назначение разного типа, а также и хранится в различных условиях.

Вторая стадия – тщательная подготовка сырья и накопление его в расходные бункера.

Третья стадия – дозирование необходимого количества сырья в смеситель.

Четвертая стадия – перемешивание компонентов до получения необходимого качества.

Заключаящая стадия – затаривание смеси в мешки и его складирование.

Все материалы на завод доставляются либо автотранспортом, либо железнодорожным транспортом.

Песок доставляется автотранспортом из местного карьера и выгружается в крытый склад. Песок подается со склада с помощью вибропитателя на мельницу тонкого помола, где происходит измельчение до нужной фракции. Мельница, которую используют для измельчения песка, характеризуется помолом нужной фракции и хорошей производительностью.

После того как песок прошел через мельницу, т. е. получили ту фракцию, которая необходима, при помощи выгрузного отверстия из мельницы песок попадает в приемную воронку электрической печи с влажностью 6–8 %. Электрическая печь представляет собой барабан с электрическим нагревателем, песок при выходе из этой печи имеет температуру 100 °С и влажность около 2 %, что является необходимым при

использовании песка. Эта печь рассчитана на такое количество сушки песка, чтобы обеспечить производство трех сухих строительных смесей. Когда песок проходит две обработки: измельчение и сушку, он при помощи вибропитателя транспортируется на вибросито, где происходит разделение фракций. Нужная фракция направляется в расходный бункер, а та фракция, которая не прошла через сито отправляется на повторную обработку измельчения.

После вибросита при помощи насоса пневмокамерного песок попадает в расходный бункер, который рассчитан с запасом на 3 ч накопления материала. На крышке бункера установлен фильтр и циклон, которые предотвращают запыление производственного цеха. Песок, проходя через циклон и фильтр, распределяется в нужном количестве по расходным бункерам при помощи специального клапанного устройства, работающего по сигналу. Его принцип работы основывается, когда насос подал по сигналу нужное количество цемента в один расходный бункер, по сигналу происходит закрывание клапана и открывания другого клапана – дает путь в расходный бункер, который необходимо заполнить, т. е. следующий бункер, из которых затем будет происходить дозирование в смесителя, в которых происходит перемешивание.

Цемент на завод доставляется автоцементовозами. Хранение его осуществляется в силосных складах. Разгрузка цемента осуществляется специальными устройствами (насосами) и хранится в течение 6 сут. Цемент в расходный бункер подается при помощи насоса пневмокамерного по трубопроводам. Бункер оснащен фильтром и циклоном, а также устройством, которое осуществляет распределение необходимого количества по бункерам. Его принцип работы основывается, когда насос подал по сигналу нужное количество цемента в один расходный бункер, по сигналу происходит закрывание клапана и открывания другого клапана – дает путь в расходный бункер, который необходимо заполнить. При помощи дозатора, который установлен на выходе из расходного бункера, происходит дозирование цемента в смесители, в которых происходит перемешивание.

Гашенная известь на завод доставляется автотранспортом – навалом. Разгрузка осуществляется при помощи насосов по трубопроводам. Хранение непосредственно в силосах, которые смонтированы из бетона и оснащены фильтром для предотвращения запыления производственной площади. Гашенная известь в силосах хранится с запасом 6–7 сут, затем привозится еще. При помощи трубопроводов и насоса пневмокамерного компонент (гашенная известь) транспортируется в расходные бункера, на которые установлены специальные приспособления для очистки

запыления производственной площади – фильтр и циклон, в смесители, в которых происходит перемешивание. Клапанный переключатель между бункерами, предназначен для правильного направления гашенной извести по бункерам. Затем как бункера наполнились, они заполняются с запасом на 3–4 часа, при помощи дозатора известь дозируется в нужном количестве в смесители, в которых происходит перемешивание.

Известняковая мука на завод доставляется автотранспортом, так – как сырье местное. Доставляется навалом, и, следовательно, хранится в силосах, которые изготовлены из бетона и оснащены фильтрами, которые предотвращают запыление производственной площади при ее транспортировке, т. е. перемещении ее по трубам за счет насоса необходимой производительности. Насос пневмокамерный, который установлен при выходе из силосного бункера предназначен для подачи известняковой муки к расходным бункерам. На крышке расходных бункеров установлен фильтр и циклон, которые предотвращают запыление воздуха.

Устройство распределения по бункерам материала установлено также на верхней части бункеров. Работа их основана на сигнале, который закрывает и открывает клапан для загрузки того или иного бункера. Заполнив бункер материалом, транспортировка смеси к расходным бункерам прекращается, до нового сигнала, по которому начинается новое заполнение бункеров. Дозирование известняковой муки осуществляется при помощи дозатора сыпучих материалов, при давлении воздуха $0,5 \pm 0,1$ МПа. Класс точности дозирования 0,25. Дозатор отдозировав известняковую муку направляет его в смесители, в которых происходит перемешивание материала.

Добавки на завод привозятся в мешках, для них устанавливают дополнительное оборудование для распаривания и загрузки в бункера.

Добавка МГЭЦ (модифицирующий гидрофобно-эластичный цитрат) предназначен для повышения прочности, непроницаемости, снижения водопоглощения. Данная добавка на производство сухих строительных смесей, упакованная в мешки, доставляется железнодорожным транспортом. Складируют эти мешки на специальные деревянные поддоны, на которые вмещается 44 мешка по 50 кг. На территории завода поддоны перемещают на специально оборудованной электрокаре. При использовании на производстве компонентов в мешках, необходимо устанавливать дополнительное оборудование для загрузки в расходные бункеры исходных компонентов из мешков. Для растаривания применяют устройство распаковки мешков. Это устройство оснащено встроенным вытяжным рукавным фильтром с импульсной регенерацией рукавов. Активатор истечения пневмомолоток предназначен для побуждения истечения

компонентов. Вентилятор ВР 300–45–2,5, который установлен на устройстве распаковки мешков, служит для удаления запыленного воздуха от устройства загрузочного с фильтром. После того как мешок распакован его содержимое отправляется в бункер накопитель, откуда при помощи насоса пневмокамерного транспортируется в расходный бункер распределяясь в нужном количестве за счет устройства клапанного по сигналу, который подается автоматически за счет программы на компьютере. Когда расходные бункера заполнены, дозатор дозирует необходимое количество смеси, где и происходит непосредственно перемешивание всех компонентов.

Гипсовые мешки хранятся в специально подготовленных помещениях, нессырых, на деревянных поддонах. Эти поддоны транспортируют по территории цеха при помощи электрокары. Мешки распаковываются при помощи специального устройства распаковки мешков. Это устройство оснащено встроенным вытяжным фильтром с импульсной регенерацией рукавов. Активатор истечения пневмомолоток ПМ2 предназначен для побуждения истечения компонентов. Когда мешки распаковались, их содержимое загружается в бункер накопитель, затем при помощи насоса пневмокамерного из бункера накопления полугидратный гипс загружается в расходный бункер. Насос оснащен сигнализатором уровня ВС341 для переключения насоса пневмокамерного в фазу выгрузки при его заполнении. Сигнализатор уровня располагается в верхней части насоса. Из расходного бункера при помощи дозатора полугидратный гипс дозируется в смеситель, где происходит перемешивание. При помощи мачтового подъемника, компоненты (суперразжижитель, волокна целлюлозы, регулятор схватывания и твердения, антивспениватель, редиспергируемый порошок) поднимаются на верхнюю площадку обслуживания. Эти материалы распаковываются на этой площадке и в расходные бункера засыпаются при помощи лебедок, т.е. в бадью загружают из мешков вещество, подцепляют крюк, который управляется с пульта управления, транспортируют к загрузочному отверстию расходного бункера и открывают заслонку на бадье – содержимое попадает в бункер. Такая операция продлевается со всеми пятью компонентами. Из расходного бункера дозируется при помощи правильно подобранного дозатора в смеситель, где происходит перемешивание.

Для каждой смеси установлены свои дозаторы, которые перемешивают компоненты именно своей смеси (смешивать нельзя).

Когда все компоненты загрузили в смеситель, он их перемешивает, готовая смесь направляется в бункер устройства затаривания мешков. Устройство пакетирует смесь по мешкам из бумаги весом 50 кг.

Ленточный конвейер, который стоит на выходе из устройства пакетирования готовой продукции транспортирует мешки на поддоны. Поддоны изготовлены из дерева. Электрокар обслуживает цех по производству сухих строительных смесей. Его задача перемещать поддоны с готовой продукцией, с компонентами сухих смесей, т.е. электрокар обслуживает склады готовой продукции и склады сырья, которые размещены непосредственно в цехе, где осуществляется производство.

Задания для самопроверки

1. Что такое сухие строительные смеси?
2. Привести классификацию сухих строительных смесей по назначению.
3. Каковы основные области применения сухих строительных смесей?
4. Назвать основные технологические переделы при производстве сухих строительных смесей.

9. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Строительным раствором называют искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания правильно подобранной смеси вяжущего, воды, мелкого заполнителя (песка) и добавок. По своей структуре строительный раствор является мелкозернистым бетоном. Строительные растворы классифицируются по плотности, виду вяжущего и назначению.

По *плотности в сухом состоянии* растворы делятся:

- а) *на тяжелые* – плотностью 1500 кг/м^3 и более (заполнителями в них являются кварцевые или другие пески);
- б) *легкие* – плотностью менее 1500 кг/м^3 (для их изготовления применяют пористые пески из пемзы, туфа, шлака, керамзита).

По *виду вяжущего* строительные растворы делят:

- на цементные;
- известковые;
- гипсовые;
- смешанные.

Растворы, приготовленные на одном вяжущем, называются *простыми*, а на нескольких вяжущих – *смешанными* или *сложными*, например, цементно-известковый, известково-гипсовый, цементно-глиняный раствор.

Вяжущие выбирают в зависимости от назначения раствора, условий эксплуатации зданий и сооружений.

По назначению различают строительные растворы: кладочные, применяемые для каменных кладок; отделочные, используемые для штукатурки и нанесения декоративных составов на стены; специальные, обладающие особыми свойствами (гидроизоляционные, акустические), а также монтажные растворы, используемые для заполнения швов между крупными элементами (панелями, блоками) при монтаже зданий из готовых сборных ЖБИ.

9.1. Свойства растворяемых смесей

Удобоукладываемость – способность смеси укладываться на поверхности тонким однородным слоем. Зависит от подвижности и водоудерживающей способности.

Подвижность растворяемой смеси – это способность легко растекаться по поверхности камня и заполнять все неровности основания. Определяется подвижность на специальном приборе – конусе СтройЦНИЛ и измеряется в сантиметрах по величине погружения конуса прибора

(рис. 9.1). Подвижность увеличивается при увеличении расхода воды, а также при использовании различных химических добавок.

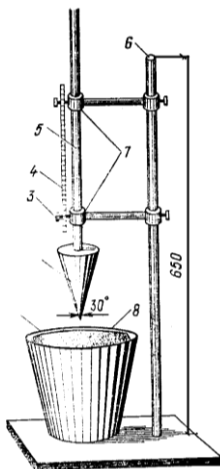


Рис. 9.1. Стандартный металлический конус для оценки подвижности строительного раствора:

1 – сосуд для растворной смеси; 2 – конус; 3 – зажимной винт; 4 – шкала с делениями; 5 – скользящий стержень; 6 – стойка; 7 – кронштейн-держатель; 8 – растворная смесь

Водоудерживающей способностью называют свойство растворной смеси удерживать воду при укладке на пористое основание и не расслаиваться в процессе транспортирования. Водоудерживающая способность повышается при увеличении расхода цемента, замене части цемента известью, введении высокодисперсных добавок (зол, глины и т.д.), а также некоторых ПАВ.

9.2. Свойства растворов

Прочность строительного раствора характеризуется маркой, которую устанавливают по пределу прочности при сжатии образцов-кубов размером $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см или образцов-балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из растворной смеси после 28-суточного твердения.

Для строительных растворов предусмотрены следующие марки по прочности: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 и 300. Растворы марок 4 и 10 изготавливают на основе воздушной или гидравлической извести.

Прочность раствора в возрасте 7 сут составляет 40–50 % марочной, в возрасте 14 сут – 60–75 %; 60 сут – 120 %; 90 сут – 130 %.

Морозостойкость затвердевшего раствора характеризуется следующими марками: F10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и 300.

9.3. Разновидности растворов

Растворы для каменной кладки наружных стен зданий

Для каменной кладки применяют, как правило, цементные, цементно-известковые и цементно-глиняные растворы марок 10, 25 и 50.

При монтаже стен из бетонных панелей горизонтальные швы заполняют раствором марок не ниже 100 – для панелей из тяжелого бетона и не ниже 50 – для панелей из легкого бетона. Для замоноличивания швов между панелями применяют цементные растворы марки 200.

Подвижность кладочных растворов принимают следующей: для кладки стен из сплошного кирпича, бетонных камней и камней из легких горных пород – 9–13 см; для кладки стен из пустотелого кирпича или керамических камней – 7–8 см; для заполнения горизонтальных швов между панелями и замоноличивания вертикальных швов – 5–7 см; для бутовой кладки – 4–6 см, а заливки пустот в ней – 13–15 см.

Отделочные растворы

Отделочные растворы разделяют на два основных вида: штукатурные и декоративные.

Штукатурные растворы должны обладать необходимой степенью подвижности, иметь хорошее сцепление с основанием и не вызывать образования трещин штукатурки. Подвижность раствора при механизированном нанесении составляет 6–10 см, а при ручном – 8–12 см. Наибольшая крупность зерен песка не должна превышать 1,25 мм.

Декоративные цветные растворы предназначены для заводской отделки лицевых поверхностей стеновых панелей, а также для отделки фасадов и внутренних стен зданий. В качестве вяжущих в декоративных растворах применяют белый, цветной и обычный портландцементы, а для цветных штукатурок внутри зданий – известь и гипс. Заполнителем в декоративных растворах служит чистый кварцевый песок, а также отсев дробления гранита, мрамора, туфа и других белых и цветных горных пород. В состав раствора вводят в небольшом количестве слюду, вермикулит или дробленое стекло. В качестве красителей употребляют щелочестойкие и светостойкие природные и искусственные пигменты (сурик железный, охра, мумия, ультрамарин, оксид хрома).

Марка декоративных растворов, применяемых для отделки железобетонных панелей, должна быть не менее 150, а для отделки панелей из легких бетонов и оштукатуривания фасадов зданий – не менее 50. Марка декоративных растворов по морозостойкости должна быть не менее F35. Водопоглощение растворов не должно превышать 8 %.

Гидроизоляционные растворы используют для отделки поверхностей различных емкостей для жидких продуктов, стен подвалов и т.д. Изготавливают гидроизоляционные растворы на обычном портландцементе, сульфатостойком портландцементе и водонепроницаемом расширяющемся цементе. Ориентировочный состав 1:2,5–1:3,5 (цемент:песок, по массе). Для повышения водонепроницаемости в их состав в процессе приготовления вводят различные уплотняющие добавки: алюминат натрия, хлорное железо, битумную эмульсию, латексы.

Акустические растворы применяют для получения звукопоглощающей штукатурки. В качестве вяжущих применяют различные материалы (портландцемент, шлакопортландцемент, гипс, известь), а в качестве заполнителей – однофракционные пористые материалы крупностью 3–5 мм (пемза, перлит, керамзит). Количество вяжущего и зерновой состав заполнителя в акустических растворах должны обеспечивать открытую незамкнутую пористость раствора и плотность 600–1200 кг/м³.

Рентгенозащитными растворами оштукатуривают стены и потолки рентгеновских кабинетов. Изготавливают эти растворы на баритовом песке (BaSO₄) предельной крупностью 1,25 мм. Вяжущим веществом является портландцемент или шлакопортландцемент. Для повышения защитных свойств в состав раствора вводят легкие элементы: литий, кадмий и др.

Тампонажные растворы предназначены для гидроизоляции скважин, шахтных стволов и туннелей путем закрытия водоносных грунтов, трещин и пустот в горных породах. В качестве вяжущего используют расширяющийся или сульфатостойкий цемент.

9.4. Приготовление и транспортирование растворных смесей

Строительные растворы приготавливают в растворосмесителях периодического действия емкостью от 150 до 750 л или в растворосмесителях непрерывного действия. Продолжительность перемешивания тяжелых растворов – 1–2 мин, а легких растворов – до 4 мин.

Дозировка материалов производится дозаторами. Вяжущие вещества дозируются по массе, а песок и вода – по объему.

В настоящее время широко применяют метод приготовления сухих штукатурных смесей, которые затворяют водой непосредственно на строительной площадке.

Транспортируют растворные смеси к месту потребления в специально оборудованных автоцистернах или автосамосвалах. Каждая партия раствора должна быть снабжена паспортом, в котором указывают наименование и номер партии, ее объем и дату изготовления, марку, состав, подвижность и водоудерживающую способность раствора.

Задания для самопроверки

1. В чем отличие строительного раствора от бетона. Классификация растворов и бетонов. Опишите специальные растворы.
2. Как проектируют состав сложных растворов?
3. Какие добавки улучшают водоудерживающую способность строительных растворов?
4. Свойства растворных смесей и растворов. Как определяют марку строительного раствора? Какие бывают марки растворов?
5. Из каких материалов изготавливают декоративные штукатурки?

10. МАТЕРИАЛЫ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

К автоклавным относят материалы, получение которых основано на гидротермальном синтезе минералов, осуществляемом при повышенных значениях давления и температуры водяного пара.

В качестве сырьевых компонентов автоклавных материалов применяют известково-песчаные смеси. Взамен песка могут использоваться промышленные отходы: доменные шлаки, топливные золы, отсев дробления скальных пород на щебень. Все компоненты измельчаются и используются в виде тонкодисперсных добавок.

Основным компонентом вяжущих автоклавных силикатных материалов является известь. Рекомендуются применять быстрогасящуюся известь активностью более 70 % и содержанием MgO не более 5 %. Наряду с известью иногда дополнительно вводят портландцемент и его разновидности. Это позволяет снизить отрицательное влияние ее неоднородности, снизить водопотребность смеси, повысить физико-механические свойства, в том числе морозостойкость.

В качестве кремнеземистого компонента чаще всего применяют кварцевый песок.

Автоклавное производство основано на техническом синтезе новообразований, обеспечивающих необходимые свойства искусственному конгломерату. В 1880 г. Михаэлисом было установлено, что известково-песчаные изделия только после обработки их в автоклаве (рис. 10.1) паром при повышенном давлении 0,8 МПа и более (при температуре выше 170 °С) получают прочные, водостойкие и долговечные.

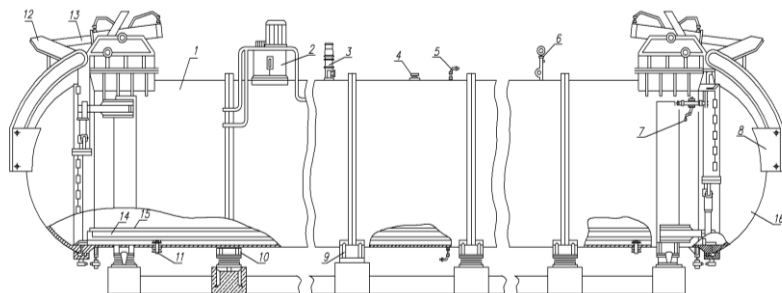
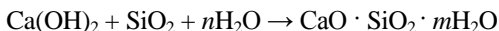


Рис. 10.1. Автоклав:

- 1 – наружная поверхность корпуса; 2 – насосная станция; 3 – предохранительный клапан; 4 – перепуск пара; 5 – предохранительная термopара; 6 – манометр; 7 – реле давления; 8 – ушки; 9 – неподвижная опора; 10 – подвижная опора; 11 – отвод; 12, 13 – шток; 14 – паропровод; 15 – рельсы; 16 – крышка

В этих условиях кремнезем песка приобретает химическую актив-

ность и взаимодействует с известью, образуя гидросиликаты кальция:



При этом химические процессы протекают на поверхности зерен заполнителя, что обеспечивает хороший контакт его с цементирующим веществом и тем самым повышает прочность силикатных изделий.

Реактор для гидротермального синтеза – автоклав, который представляет собой цилиндрический горизонтальный сосуд, герметически закрываемый сферическими крышками. Диаметр автоклава – 2–3,6 м, длина – 19–40 м. Автоклавы бывают тупиковые и проходные. Температура в автоклаве – от 174 до 192 °С и давление – 0,8–1,2 МПа. Время термообработки – 10–14 ч.

Качество силикатных изделий автоклавного твердения зависит не только от состава и структуры новообразований, но и от правильного управления физическими явлениями, возникающими на различных этапах автоклавной обработки.

При автоклавной обработке, кроме физико-химических процессов, обеспечивающих синтез гидросиликатов кальция, имеют место физические процессы, связанные с температурными и влажностными градиентами, определяемые термодинамическими свойствами водяного пара и изменениями физических характеристик в сырьевой смеси, а затем и в образовавшемся искусственном силикатном камне.

В составе силикатного камня преобладают низкоосновные гидросиликаты кальция, имеющие тонкоигольчатое или чешуйчатое микрокристаллическое строение типа CSH(B), и тоберморит. Однако, наряду с низкоосновными, могут быть и более крупнокристаллические высокоосновные гидросиликаты кальция типа C₂SH(A).

По объему производства автоклавные изделия занимают третье место среди стеновых материалов после глиняного кирпича и железобетона. Каждый 1 м³ автоклавных изделий позволяет экономить 200–400 кг цемента и 0,8–1 м³ щебня или керамзита.

Рассмотрим три вида изделий, получаемых из автоклавных силикатных материалов: силикатный кирпич, плотные силикатные бетоны и ячеистые силикатные бетоны.

Силикатный кирпич – искусственный каменный материал, изготавливаемый из смеси кварцевого песка и известково-кремнеземистого вяжущего путем прессования под большим давлением и последующего твердения в автоклаве. Исходными материалами являются: воздушная известь – 6–8 % в расчете на СаО, кварцевый песок – 92–94 % и вода – 7–8 % от массы сухой смеси. Содержание глинистых включений в песке допускается до 10 %.

В промышленности распространены силосный и барабанный способы получения силикатного кирпича.

Давление прессования силикатного кирпича достигает 37 МПа (обычно 15–20 МПа). Длительность цикла автоклавной обработки – 8–10 ч, температура – около 175 °С.

Силикатный кирпич выпускают двух видов: одинарный – размером 250×120×65 мм и модульный – 250×120×88 мм. Цвет кирпича светло-серый, но он может быть и цветным за счет введения в состав сырьевой смеси щелочестойких минеральных пигментов.

Плотность силикатного кирпича – 1800–1900 кг/м³, теплопроводность – 0,82–0,87 Вт/(м · °С). По прочности при сжатии кирпич делится на шесть марок: 75, 100, 125, 150, 200 и 250. Морозостойкость силикатного кирпича не ниже F15, водопоглощение – 8–16 мас. %.

Область применения силикатного кирпича такая же, как и глиняного керамического кирпича. Однако он не рекомендуется для строительства фундаментов и стен в условиях повышенной влажности, а также в конструкциях, подверженных действию высоких температур (в печах, дымовых трубах)

Плотный мелкозернистый силикатный бетон – разновидность тяжелого бетона, но в отличие от него в состав силикатного бетона не входит крупный заполнитель, а вместо цемента используется известково-кремнеземистое вяжущее. Структура силикатного бетона более однородна, а стоимость значительно ниже.

Плотность бетона – 1800–2200 кг/м³. Марки бетона по прочности от 100 до 400, но прочность бетона при сжатии может достигать 60–80 МПа. Коэффициент размягчения силикатного бетона достигает 0,75, морозостойкость – 25–50 циклов, а при добавлении портландцемента она достигает 100 циклов.

Для силикатного бетона характерна более низкая коррозионная стойкость арматуры, что обусловлено слабой щелочностью среды. Стойкость арматуры надежно обеспечивается при влажности воздуха до 60 %.

Силикатобетонную смесь готовят в смесителях принудительного действия. Используются жесткие смеси с ОК менее 1 см. Формуют изделия чаще всего вибрированием. Автоклавная обработка осуществляется под давлением 0,8–1,6 МПа в течение 9–12 ч в зависимости от размера и конфигурации изделия.

Из плотного силикатного бетона выполняют крупные стеновые блоки наружных стен, панели и плиты перекрытий, колонны, балки, лестничные площадки.

Ячеистые силикатные бетоны – искусственные каменные материалы с равномерно распределенными порами в виде сферических ячеек, диаметр которых обычно составляет 1–3 мм. Ячеистая структура образуется за счет введения в состав смеси газообразующей добавки (газобетон) или пены (пенобетон). Из общего объема ячеистых бетонов на пенобетон приходится 6 % продукции.

В составе вяжущего содержится известь и тонкомолотый кремнеземистый компонент в виде кварцевого песка с содержанием не менее 85 % SiO_2 . В качестве мелкого заполнителя используют молотый до удельной поверхности $1500\text{--}3000\text{ см}^2/\text{г}$ песок, иногда применяется зола-унос ТЭС с удельной поверхностью $3000\text{--}5000\text{ см}^2/\text{г}$. Для увеличения начальной прочности в состав смеси вводят небольшое количество портландцемента. В качестве газообразователя используют водную суспензию алюминиевой пудры, а в качестве пенообразователя – клееканифольные, смоло-сапониновые и другие вещества.

Плотность изделий из ячеистых силикатных бетонов составляет $300\text{--}1200\text{ кг/м}^3$, прочность – $1\text{--}20\text{ МПа}$, теплопроводность – $0,09\text{--}0,4\text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. По морозостойкости марки ячеистых бетонов могут быть от F15 до F100. При высыхании ячеистых бетонов наблюдается усадка, достигающая до 5 мм/м . Водопоглощение силикатных ячеистых бетонов составляет $40\text{--}45\text{ \%}$.

Изделия из ячеистых бетонов получают как в индивидуальных формах, так и путем разрезания предварительно изготовленных массивов объемом $4\text{--}5\text{ м}^3$ и высотой до $0,6\text{ м}$. При армировании изделий из ячеистых бетонов необходима защита арматуры от коррозии.

Из ячеистого бетона марок 25–100 изготавливают панели наружных стен ограждающих конструкций зданий, панели внутренних стен, перегородки, междуэтажные и чердачные перекрытия, блоки и другие изделия.

Изделия и конструкции из ячеистого силикатного бетона эффективнее изделий из легких бетонов на пористых заполнителях.

Задания для самопроверки

1. Из какого сырья и по каким технологиям изготавливают силикатный кирпич? Свойства и область применения силикатного кирпича.
2. Зачем необходима автоклавная обработка силикатных материалов?
3. Как осуществляется поризация структуры газосиликата? Свойства и область применения изделий из газосиликата.
4. Область и особенности применения в строительстве плотного силикатного бетона.

11. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

К положительным свойствам древесины, как строительного материала, можно отнести высокую прочность при небольшой плотности, малую теплопроводность, легкую механическую обработку, упругость, высокую морозостойкость и др. К недостаткам – анизотропность, т.е. различные свойства вдоль и поперек волокон, гигроскопичность, загниваемость, сгораемость и легкую воспламеняемость, наличие большого количества пороков.

11.1. Строение древесины

Для полной характеристики древесины и древесных строительных материалов следует раскрыть взаимосвязь анатомического строения с физико-химическими и физическими свойствами древесины, тем более что здесь прослеживаются различия между хвойными и лиственными породами как на уровне микро-, так и макроструктуры. Принято изучать три основных разреза ствола (рис. 11.1, а).

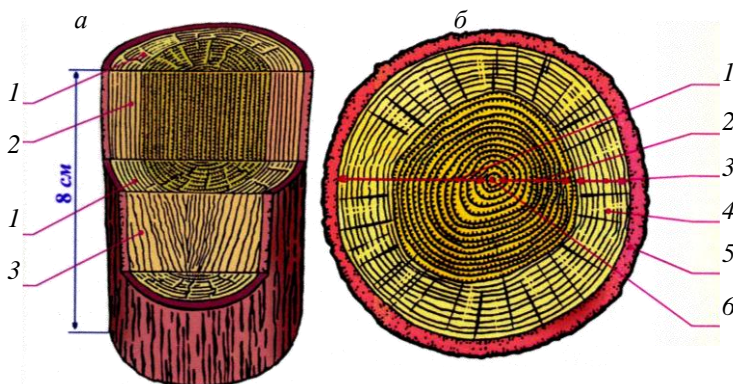


Рис. 11.1. Микроструктура древесины:

а – разрезы древесины:

1 – поперечный (торцовый); 2 – радиальный; 3 – тангентальный

б – торцовый разрез ствола:

1 – луб; 2 – древесина; 3 – ядро; 4 – заболонь; 5 – камбий;

6 – кора; 7 – сердцевина

В торцовом разрезе ствола дерева выделяют (рис. 11.1, б):

сердцевину (сердцевинная трубка) – примерно в центре ствола размещается вдоль его оси, которая является рыхлой первичной малопрочной тканью;

собственно древесину, слагаемую из концентрически расположен-

ных годовичных слоев с включением в каждый из них весенней и более плотной летней древесины;

камбий – тончайший слой из полностью живых клеток, способных к росту и делению на большую часть, откладываемую в сторону древесины, и меньшую – в сторону от центра, где расположен следующий слой в виде луба;

дуб является внутренним слоем коры (флоэмы) и граничит с внешним слоем ее, называемой коркой (темного цвета). На долю ствола приходится 70–90 % всего объема дерева; остальную часть составляют крона и корневая система. Кора составляет от 6 до 25 % объема ствола, остальная часть его служит древесиной, в которой наблюдается светлое периферическое кольцо – *заболонь* и более темная центральная часть – *ядро*. Камбиальный слой находится между заболонью и лубом. Все эти части составляют макроструктуру древесины. У некоторых древесных пород (дуб, бук, клен и др.) на торцовом сечении можно видеть узкие радиально расположенные полоски, которые называются сердцевинными лучами.

В породах может отсутствовать ядровая часть, и тогда породы именуются *заболонными* (береза, липа, клен, граб и др.). В других породах заболонь имеет цвет центральной части ствола, причем последняя остается более сухой; такие породы называются *спелодревесными* (ель, пихта, осина, бук и др.). Более подробное строение древесины хвойных и лиственных пород изучается с помощью микроскопа и специальных срезов слоев древесины.

11.2. Свойства древесины

К основным физическим свойствам древесины можно отнести истинную и среднюю плотность, влажность, теплопроводность, гигроскопичность, усушку и разбухание, цвет и текстуру.

Истинная плотность примерно одинакова для всех видов древесины и составляет 1,54–1,55 г/см³.

Средняя плотность древесины зависит от породы дерева, его пористости, условий произрастания, влажности и т.д. Средняя плотность колеблется для большинства пород от 420 до 800 кг/м³. Однако, наряду с древесиной с очень низкой плотностью (например, средняя плотность пробкового дерева, составляет 110–140 кг/м³), встречаются древесные породы с плотностью более 1000 кг/м³. Так, ядро фисташки имеет плотность 1110 кг/м³, а эбеновое (черное) и железное дерево (бакаут) – до 1330 кг/м³.

Пористость древесины из-за волокнистого строения значительна. Величина ее колеблется от 32 (дуб, ясень) до 77 % и более (пихта, кедр, тополь).

Влажность древесины. Вода в древесине может находиться в двух состояниях – свободном и физически связанном. Свободная или капиллярная вода заполняет полости клеток, сосудов и межклеточные пространства.

По степени влажности различают древесину: мокрую (сплавную) – влажность до 200 %, свежесрубленную – влажность от 35 до 120 %, воздушно-сухую – влажность 15–20 %, комнатно-сухую – влажность 8–12 %, абсолютно-сухую – влажность 0 %, т.е. высушенную до постоянной массы при температуре 105 °С.

Условно стандартной для древесины считают влажность 12 %. При этой влажности определяют прочность и плотность древесины. В строительстве разрешается применять древесину с влажностью 15–20 %, так как повышенная влажность приводит к короблению, усушке и растрескиванию деревянных конструкций и деталей при последующем их высыхании.

Гигроскопичность. Связанная или гигроскопическая вода находится в стенках клеток и сосудов древесины в виде тончайших гидратных оболочек на поверхности мельчайших элементов, составляющих стенки клеток. Гигроскопичность древесины колеблется в пределах 25–35 %.

Теплопроводность древесины незначительна и зависит от влажности, пористости и направления потока тепла. Для большинства пород она составляет 0,17–0,28 Вт/(м·°С), причем вдоль волокон теплопроводность почти в 2 раза выше, чем поперек волокон.

Механические свойства древесины неодинаковы в различных направлениях вследствие волокнистости ее строения.

Древесина хорошо воспринимает сжатие, растяжение и изгиб вдоль волокон. Механические свойства зависят от ее влажности (рис. 11.2) и наличия пороков. Предел прочности при сжатии основных видов древесины вдоль волокон, при влажности 12 %, колеблется от 40 (тополь) до 65 МПа (лиственница), а при статическом изгибе – от 70 (тополь) до 125 МПа (ясень).

Жесткость древесины. Жесткость древесины, т.е. ее способность деформироваться под нагрузкой, характеризуется модулем упругости:

$$E = R / \varepsilon, \quad (11.1)$$

где R – предел прочности древесины, МПа; ε – относительная деформация, мм/м.

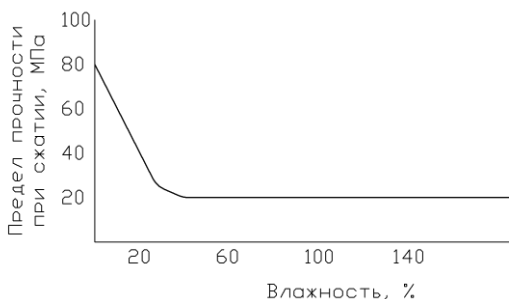


Рис. 11.2. Влияние влажности древесины на прочность при сжатии вдоль волокон

Модули упругости при сжатии и растяжении вдоль волокон одинаковы и составляют, например, для сосны 11700 МПа. Модуль упругости возрастает с увеличением плотности древесины, а увлажнение его снижает. Известно, что гнуть сырую древесину легче, чем сухую.

Ползучесть древесины. Это свойство древесины ярче всего проявляется во влажных условиях. Как следствие ползучести – постепенное увеличение деформаций (прогибов балок, провисание тесовых крыш и т.д.) при длительном действии нагрузок.

Твердость древесины. При сравнительно высоких показателях прочностных свойств древесина обладает небольшой твердостью. Твердость таких пород древесины, как дуб, береза, ясень, лиственница, примерно в 2 раза выше, чем сосны, ели, пихты, ольхи.

11.3. Пороки древесины

Пороками древесины называют отклонения строения древесины от нормального, нарушение внешней формы ствола дерева, а также различные повреждения, понижающие ее качество. Пороки подразделяют на первичные, возникающие на растущих деревьях, и вторичные, образовавшиеся при хранении древесины или в условиях ее службы в зданиях и сооружениях. Пороки снижают качество древесины и ограничивают области ее применения в строительстве.

Сучки и трещины

Трещины представляют собой разрывы древесины вдоль волокон. Трещины бывают метиковые, отлупные, морозные, солнечные, трещины сушки (рис. 11.3).



Рис. 11.3. Виды трещин:

a – метик простой; *б*, *в* – метик несогласованный и крестовой;
г – отлуп; *д* – морозобоина открытая; *е* – морозобоина закрытая

Сучки – части ветвей, заключенные в древесине. Сучки бывают выпадающие, сшивные, лапчатые (рис. 11.4).

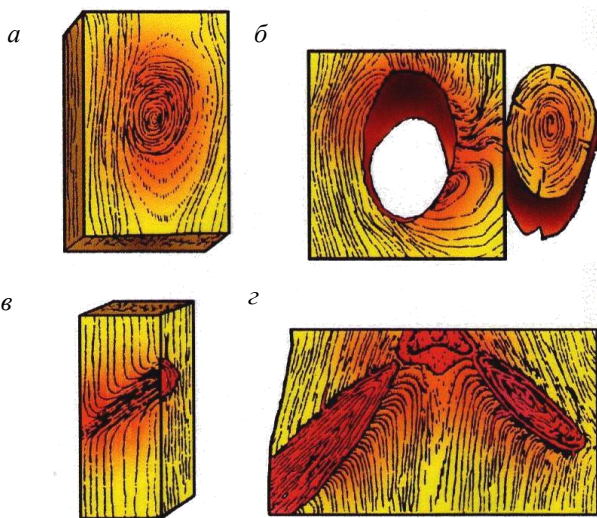


Рис.11.4. Разновидности сучков по форме и срастанию с древесиной:

a – сросшийся здоровый; *б* – несросшийся (выпадающий);
в – сшивной; *г* – разветвленный (лапчатый)

Пороки формы ствола

Пороки формы ствола приведены на рис. 11.5.



Рис. 11.5. Пороки формы ствола:

а – закоменелость;*б* – кривизна:

1, 2 – простая; 3 – сложная

Сбежистость – это уменьшение диаметра круглых лесоматериалов от толстого к тонкому концу, превышающее нормальный сбег, равный 1 см на 1 м длины бревна.

Нарост – резкое местное утолщение ствола, имеющее различную форму и размеры.

Кривизна ствола – искривление профильной оси бревна. Бывает простая и сложная кривизна.

Пороки строения древесины

Пороки строения древесины приведены на рис. 11.6.

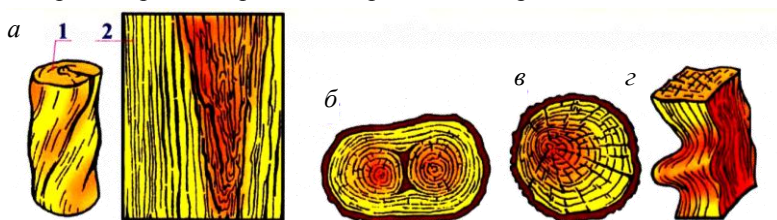


Рис.11.6. Пороки строения древесины:

а – наклон волокон:

1 – в бревне (косослой);

2 – в пиломатериалах:

б – двойная сердцевина; *в* – крень; *г* – свилеватость

Наклон волокон, или *косослой* – непараллельность волокон древесины.

Крень – ненормальное утолщение поздней древесины в годовых слоях.

Свилеватость – волнистое или беспорядочное расположение во-

локон древесины, чаще встречающееся у лиственных пород.

Завиток – местное резкое искривление годовых слоев под влиянием сучков и простостей.

Двойная сердцевина – в виде двух сердцевин с самостоятельными системами годовых слоев.

Пасынок – отмершая вторая вершина или толстый сук, пронизывающие ствол под острым углом к его продольной оси.

Кроме указанных пороков древесины, известны и другие: неестественная окраска, ядровая гниль, червоточина, механические повреждения, покоробленность.

11.4. Повышение долговечности

Повышение долговечности деревянных конструкций и изделий достигается за счет *сушки* древесины, ее *антисептирования*, *нанесения на поверхность стойких огнезащитных составов* и *защиты от поражения насекомыми*.

Сушка древесины может быть *естественной* и *искусственной*.

Естественная сушка осуществляется на воздухе и длится недели, а то и месяцы.

Искусственная сушка осуществляется в сушильных камерах горячим воздухом, газом, токами высокой частоты и т.п. Процесс более короткий, чем естественная сушка. Достигаемая влажность – 6–8 %.

Антисептирование – защита древесины от гниения обработкой химическими веществами – антисептиками. Используют водорастворимые и маслянистые антисептики, а также антисептические пасты.

К *водорастворимым антисептикам* относится NaF (фтористый натрий), Na_2SiF_6 (кремнефтористый натрий), препарат ХХЦ (смесь хлорида цинка и натриевого или калиевого хромпика). Порошки NaF и Na_2SiF_6 белого цвета. Концентрация раствора – 2–3 %. Древесину, пропитанную водорастворимыми антисептиками, не применяют в условиях ее соприкосновения с водой.

Маслянистые антисептики не растворяются в воде. Содержат они в своем составе фенол или его производные. К маслянистым антисептикам относятся антраценовое, сланцевое и каменноугольное креозотовое масло. Древесину, обработанную маслянистыми антисептиками, можно применять на открытом воздухе, в воде и в земле.

Антисептические пасты состоят из трех компонентов – водорастворимого антисептика, связующего вещества и наполнителя (торфяного порошка). Для обработки древесины используются следующие пасты: битумная (содержит битум, NaF и 5–10 % торфяного порошка),

силикатная (содержит Na_2SiF_6 – 15–20 %, жидкое стекло – около 72 %, каменноугольное масло и воду), экстрактовая (содержит NaF – 25–40 %, экстракт сульфитных щелоков – 26–28 %, воду – 30–40 % и торфяной порошок).

Антисептирование древесины осуществляется различными способами: поверхностная обработка, пропитка в ваннах, пропитка под давлением, пропитка в высокотемпературной ванне, диффузионная пропитка.

Защита от возгорания древесины осуществляется специальными составами – *антипиренами*. Антипиренами являются фосфорнокислые и сернокислые соли аммония, буры и др. Защитные действия одних антипиренов основаны на том, что при пожаре они плавятся и древесина покрывается пленкой, затрудняющей доступ кислорода, а других – за счет того, что при нагревании они выделяют негорючие газы, снижающие концентрацию кислорода в газовой среде возле конструкции. В зависимости от вида антипирена конструкции из дерева либо покрывают ими, либо пропитывают.

Для *защиты от поражения насекомыми* применяют специальные материалы – *инсектициды*. В качестве инсектицидов используют хлорофос, хлорпикрин, ГХЦГ (гексахлоран) и др. Проникая в древесину, инсектициды убивают личинки и самих насекомых или создают среду, в которых жизнедеятельность их становится невозможной. Некоторые инсектициды одинаково токсичны как для насекомых, так и для людей, поэтому применять их необходимо с большой осторожностью.

11.5. Древесные породы

В строительстве применяются как хвойные, так и лиственные породы древесины.

Из хвойных пород чаще всего в строительстве используют сосну, ель, лиственницу, пихту и кедр.

Сосна – наиболее распространенная хвойная порода. Плотность 470–540 кг/м³. Обладает высокой прочностью. Легко обрабатывается. Из сосны изготавливают деревянные несущие конструкции, различные столярные изделия, фанеру.

Ель – хвойная порода, используемая наравне с сосной. Плотность ели – 440–500 кг/м³. При использовании в сырых местах ель быстро загнивает. Из ели изготавливают строительные конструкции и столярные изделия, эксплуатируемые в сухих условиях. Из-за большого количества твердых сучков ель плохо обрабатывается.

Лиственница – более плотная и прочная хвойная порода. Плот-

ность – 630–790 кг/м³. Лиственница менее подвержена гниению и поэтому часто используется в мостостроении, для изготовления шпал, в шахтах и т.д.

Пихта используется в строительстве для тех же целей, что и ель. Плотность сибирской пихты – 370–380 кг/м³.

Кедр имеет легкую, прочную и хорошо обрабатываемую древесину. Применяется в столярном и мебельном производстве. Плотность кедра колеблется в пределах 420–450 кг/м³.

Лиственные породы в строительстве применяются реже, чем хвойные. Наиболее часто встречаются дуб, ясень, бук, береза, осина.

Дуб имеет плотную (около 700–720 кг/м³), очень прочную и твердую древесину. Применяют дуб при строительстве ответственных объектов – мостов, гидротехнических сооружений, так как он одинаково хорошо сохраняется как на воздухе, так и в воде. Применяется дуб также для изготовления столярных изделий, мебели, паркета.

Ясень имеет тяжелую (660–740 кг/м³), вязкую, плотную, твердую и прочную древесину. Ясень напоминает по строению дуб, но имеет более светлую окраску. Применяется ясень для производства столярных изделий и мебели.

Бук – тяжелая, прочная древесина. Легко раскалывается. Плотность – около 650 кг/м³. Бук легко загнивает. Применяется для производства мебели, паркета, фанеры.

Береза – самая распространенная в наших лесах лиственная порода. Плотность березы – около 650 кг/м³. Береза, как и бук, легко загнивает в сырых и плохо вентилируемых местах. Применяется в основном для производства фанеры, внутренней отделки зданий с имитацией под ценные породы.

Осина – имеет мягкую и легкую древесину белого цвета с зеленоватым оттенком. Плотность – 420–500 кг/м³. Применяют осину для изготовления фанеры, тары.

Из других лиственных пород в строительстве иногда используют тополь, ольху, липу, клен. Из древесины этих пород изготавливают конструкции временных сооружений (подмосты, навесы, ограждения, т.д.).

11.6. Лесоматериалы и изделия из древесины

Лесные материалы

Круглые лесоматериалы – обрезки стволов деревьев с обрубленными сучьями с корой или без коры. Они делятся на бревна (диаметр

более 12 см), подтоварники (диаметр 8–11 см) и жерди (диаметр 3–7 см). По назначению их делят на строительные и пиловочные. Строительные бревна изготавливают из сосны, лиственницы, кедра, ели, дуба. Применяются они в качестве свай, опор ЛЭП и т.д. Из пиловочных бревен получают различные пиломатериалы.

Пиломатериалы – это материалы в виде досок, брусьев, брусков, шпал (рис. 11.7, 1–11).

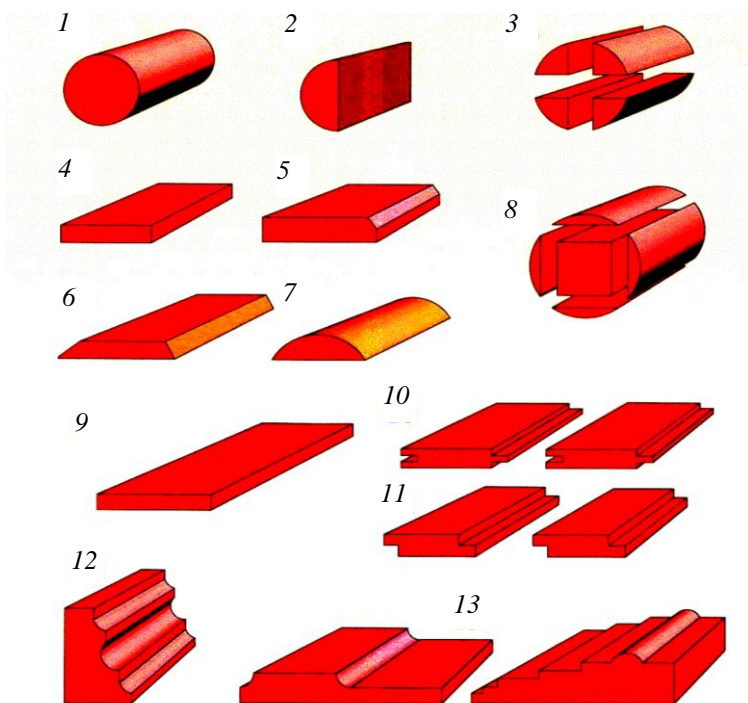


Рис. 11.7. Виды пиломатериалов:

1 – пиловочные строительные бревна; 2 – пластина; 3 – четвертина; 4, 5 – обрезанные доски; 6 – необрезная доска; 7 – горбыль; 8 – брус; 9 – доска строганная с четырех сторон; 10 – шпунтованные доски; 11 – фальцованные доски; 12 – плинтус; 13 – наличники

Доски имеют толщину до 100 мм, причем их ширина в 3 раза и более превышает толщину. Они бывают обрезные и необрезные.

Бруски имеют толщину менее 100 мм, но в отличие от досок ши-

рина их меньше трехкратной толщины.

Брусья имеют ширину и толщину более 100 мм.

Пиломатериалы хвойных пород изготавливают длиной 1–6,5 м, с градацией через 0,25 м. Пиломатериалы лиственных пород получают из древесины твердых и мягких пород длиной 0,5–6,5 м с градацией через 0,5 м. Шпалы изготавливают из сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты и бука, они имеют длину 2,5–2,7 м для широкой колеи и 1,35–1,8 м – для узкой.

Полуфабрикаты и изделия из древесины

В эту группу можно отнести доски, бруски, плитусы, поручни, наличники, паркет, оконные и дверные блоки, щитовые двери (рис. 11.7, 12, 13).

Фанера и кровельные материалы

Фанера представляет собой листовой материал, склеенный из трех и более слоев лущеного шпона. *Шпон* получают из бревен, путем снятия тонкой непрерывной стружки. Длина бревен – до 2 м. Перед обработкой их предварительно выдерживают в бассейне с горячей водой. Толщина фанеры – 1,5–18 мм, размер листа – до 1525×2400 мм. Она может быть полированной и неполированной.

К кровельным материалам относят стружку, дрань, гонт.

11.7. Сборные дома и клееные деревянные конструкции

Клееные деревянные конструкции являются индустриальным видом современных конструкций, производство которых осуществляется на специализированных предприятиях.

Изготовление клееных изделий сегодня освоено в России на ряде деревообрабатывающих предприятий («Стайлерс» в Санкт-Петербурге, на Волоколамском заводе строительных материалов и в других регионах).

Деревянные клееные конструкции начали применяться в нашей стране еще в 30–40-х годах прошлого столетия.

В строительной практике деревянные клееные конструкции применяются в зданиях и сооружениях самого различного назначения. По сравнению с аналогичными железобетонными конструкциями, использование клееных конструкций позволяет снизить массу конструкции в 4–5 раз, трудоемкость изготовления и монтажа более чем в 2 раза.

Наибольший экономический эффект от применения клееных кон-

струкций достигается при перекрытии ими больших пролетов (18–36 м) – такие пролеты имеют кинотеатры, крытые рынки, бассейны, выставочные залы, легкоатлетические манежи, конно-спортивные сооружения, а также их используют в зданиях и сооружениях, подверженных химически агрессивному воздействию среды. Практикуется также комплексное применение несущих деревянных клееных конструкций совместно с облегченными ограждающими.

В Европе большой популярностью пользуются аквапарки и крытые бассейны, своды которых обычно выполняются из клееных деревянных конструкций. Проекты по строительству аквапарков сегодня активно разрабатывают в России.

Высокая химическая стойкость древесины успешно используется при выборе материала несущих конструкций сооружений для хранения агрессивных к металлу и бетону солей и минеральных удобрений. Эксплуатационная надежность и долговечность древесины в агрессивной среде действующих калийных комбинатов уже превышает 40 лет, что существенно выше, конструкций из железобетона и стали.

В большинстве крупных городов России разрабатываются проекты по реконструкции четырех- и пятиэтажных домов путем надстройки на них мансардных этажей. Наиболее эффективно применять в подобных конструкциях деревянную клееную балку. По сравнению с конструкциями из железобетона и металла, клееные деревянные конструкции имеют меньший вес, высокие эстетические качества и возможность получения оригинальных архитектурных форм и дизайнерских решений.

Клееные конструкции широко используются в мостостроении. Отличительными особенностями подобных конструкций являются долговечность и простота в монтаже.

Широкое применение клееные деревянные конструкции получили и в индивидуальном жилищном строительстве.

Клееный брус

Клееная древесина в несущих и ограждающих конструкциях используется давно (рис. 11.8). Тем не менее, в жилищном строительстве клееный брус появился около 30 лет назад.

В сравнении с древесиной клееный брус тщательно высушен, более прочен и менее подвержен различным неблагоприятным воздействиям (гниению и т. п.). Усадка клееного бруса не превышает 1%, что дает возможность значительно сократить сроки возведения дома «под ключ» – не требуется длительное ожидание осадки сруба. Все эти

достоинства клееного бруса объясняются процессом его производства, который состоит из нескольких последовательных стадий. Наиболее распространенный материал для клееного бруса – сосна и ель, реже используют лиственницу и кедр. Прежде всего, бревна распускают на доски необходимого размера, которые тщательно сушат. В отличие от массивного цельного бруса доски просушить гораздо проще, поэтому их влажность оказывается существенно ниже. Материал проверяют на наличие зримых дефектов. Поврежденные участки удаляют, а оставшиеся сращивают. После того, как доски высушены, обработаны антипиренами и антисептиками, их строгают по первому классу чистоты. Из этих тщательно высушенных, отстроганных, отсортированных и собранных по кусочкам досок на специальных прессах и склеивается брус.



Рис. 11.8. Клееный брус

При изготовлении клееного бруса направление древесных волокон в ламелях задается в противоположные друг от друга стороны. За счет этого клееный брус оказывается более прочным по сравнению с обычным: при изменении влажности он не изменяет своей формы, а так же повышаются его звукоизолирующие свойства.

После склейки ламелей из полученного массива на специальных высокоточных станках вырезается брус необходимого размера и профиля. Это один из самых ответственных моментов изготовления клееного бруса, ведь от точности изготовления пазо-гребневого соединения зависит качество всего бруса. В результате абсолютно плотного совмещения элементов такие сочленения не продуваются и не промерзают, в них не проникает влага.

Для полноценного зимнего дома, с учетом обшивки и отделки, достаточно бруса 150×150 мм или 150×180 мм. Стена из круглого леса собирается из бревен с минимальным диаметром 220 мм. Для летних домиков используют профилированный брус 60×100 мм, 50×80 мм.

Широкое применение клееной древесины обусловлено ее несо-

мненными преимуществами по сравнению с цельной древесиной:

1. Высокое качество поверхности, которое объясняется тем, что перед склейкой из древесины вырезаются сучки и дефекты, заготовки подбираются по цвету, текстуре. Поэтому изделия из клееной древесины имеют безупречный внешний вид.

2. Стабильность геометрических размеров. В отличие от цельной клееная древесина сохраняет форму и размеры с течением времени. Она не дает усадки, не скручивается и не изгибается. Это обусловлено отсутствием в клееной древесине внутренних напряжений, а также тем, что она изготавливается из предварительно высушенного сырья.

3. Прочность. Конструкции из клееной древесины имеют на 50–70 % большую прочность по сравнению с цельной древесиной.

4. Высокие теплотехнические характеристики деревянного дома. Профилированные клееные брусья плотно соединяются при сборке, поэтому нет необходимости вкладывать утеплитель в пазы между ними. Кроме того, профиль брусев рассчитывается так, что дождевая вода не попадает между ними. Это предохраняет конструкцию от возникновения очагов гниения. Этот фактор значительно сокращает затраты на приобретение и эксплуатацию дорогостоящего индивидуального отопительного оборудования, транспортировку топлива.

5. Поверхность клееного бруса, выполненного с соблюдением всех технологических требований, ровная и гладкая. Собранная из такого бруса стена выглядит монолитной. Наружная отделка ей практически не нужна.

6. Сроки строительства дома из клееного бруса, значительно меньше сроков строительства домов из цельного бруса. Так как все детали изготовлены с высокой точностью в заводских условиях при постоянной температуре и влажности, сборка конструкции дома производится легко и быстро, монтаж на готовом фундаменте не превышает 5–6 недель. Кроме того, дом из клееного бруса не требует времени на усадку (усадка дома не превышает 1 %, в отличие от профилированного бруса, усадка которого составляет 7 %). Это позволяет существенно экономить на сроках проведения отделочных работ и возводить дома круглый год. Практическое отсутствие усадки позволяет, например, ставить в доме современные витражи любых размеров. Другое несомненное достоинство клееного дерева – возможность проводить скрытую разводку инженерных коммуникаций, например, в столбах, деревянных балках, перекрытиях. И, наконец, клееный брус – практически готовый фасадный материал.

Задания для самопроверки

1. Опишите свойства и применение основных древесных пород. Положительные и отрицательные свойства древесины как строительного материала, пути их изменения.

2. В каком виде находится влага в древесине? Дать объяснение, как она влияет на свойства древесины? Для каких целей применяется древесина в строительстве?

3. Пути экономии древесины в строительстве. Как защищают древесину от загнивания, возгорания и повреждения насекомыми?

4. Сортамент лесных материалов. Какие сборные детали и конструкции из древесины применяют в строительстве?

5. Что такое клееный брус? Каковы его основные преимущества в сравнении с цельной древесиной?

12. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

К группе органических вяжущих материалов относятся битумные и дегтевые вяжущие, состоящие из высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных. Основными их признаками являются размягчение (разжижение) при нагревании и восстановление первоначальной вязкости при охлаждении.

Битумные вяжущие – соединения углеводородов с серой, кислородом, азотом. Они бывают природные и искусственные.

Природные битумы получают из асфальтовых горных пород, содержащих 5–20 % природного битума. Стоимость их высока и используются они редко, главным образом для производства битумных лаков.

К искусственным относят нефтяные битумы, которые являются продуктом перегонки нефти. В зависимости от способа получения различают остаточные, окисленные и крекинговые нефтяные битумы.

Остаточные битумы (гудрон) получают после отгонки от нефти бензина, керосина и части масел, представляют собой твердые вещества.

Окисленные битумы получают продувая воздух через нефтяные остатки, которые окисляются под действием кислорода.

Крекинговые битумы – продукт разложения нефти и нефтяных масел при высокой температуре (крекинге).

Нефтяные битумы имеют черный цвет и в зависимости от вязкости делятся на твердые, полутвердые и жидкие. Твердые и полутвердые, в свою очередь, делятся на строительные, кровельные и дорожные. Жидкие битумы применяют только для устройства дорожных покрытий.

К свойствам битумов относятся: вязкость (пенетрация), температура размягчения, растяжимость (дуктиляция) и температура вспышки. Нефтяные битумы имеют плотное строение, пористость их практически равна нулю, поэтому они водонепроницаемы, морозостойки. Битумы также стойки против действия кислот и щелочей, хорошо сцепляются с металлом, деревом, каменными и другими материалами.

Дегтевые вяжущие – побочный продукт при переработке на химических заводах твердого топлива (горючих сланцев). Из этой группы органических вяжущих чаще всего в строительстве применяют каменноугольный деготь и каменноугольный пек.

Каменноугольный деготь – вязкая маслянистая жидкость черного цвета с запахом фенола и нафталина.

Каменноугольный пек – твердое вещество черного цвета. Приме-

няют каменноугольный пек совместно с каменноугольным дегтем как вяжущее вещество в мастиках.

12.1. Асфальтовые растворы и бетон

Асфальтовый раствор представляет собой смесь органического асфальтового вяжущего с мелким заполнителем (песком). Асфальтовым вяжущим служит смесь нефтяного битума с карбонатным минеральным порошком, полученным помолом известняков и доломитов. Содержание битума в асфальтовом растворе обычно 9–11 %. Составляющие компоненты раствора нагревают до температуры 180–200 °С и тщательно смешивают. Применяют асфальтовые растворы для устройства крыш, оснований под полы, покрытия тротуаров, полов промышленных зданий и складов.

Асфальтовый бетон содержит, помимо асфальтового вяжущего и песка, еще и крупный заполнитель – щебень фракции 10–40 мм. Общее содержание битума в асфальтобетоне – 5–6 % мас. %.

Асфальтобетоны разделяют на укладываемые в горячем и холодном состоянии. В первом случае предварительно высушенные и подогретые до 180–200 °С минеральная добавка, песок и щебень смешивают с расплавленным битумом.

Асфальтовые бетоны применяют для устройства автомобильных дорог, улиц, полов промышленных зданий и т.д.

Кроме теплого и холодного асфальтобетона, в строительстве применяют литой и цветной асфальтобетоны.

Литой асфальтобетон отличается от обычного горячего асфальтобетона большим содержанием минерального порошка, битума и методом укладки. Он почти не требует затраты энергии на уплотнение и вследствие отсутствия пор является практически водонепроницаемым. К недостаткам этого асфальтобетона следует отнести возможность трещинообразования на покрытиях при отрицательных температурах.

Цветной асфальтовый бетон – строительный материал, состоящий из мелкого щебня (5–7 мм), песка, минерального порошка, связующего, пластификатора и пигмента. В качестве щебня применяют измельченные отходы белого мрамора и известняка. Пески должны быть чистые и светлые. Минеральный порошок приготавливают из тонкоизмельченного белого мрамора. В качестве вяжущего материала применяют кумароновые, глифталевые полимеры, а также полиэтилен, поливинилхлорид, поливинилацетатную эмульсию и др. Из пигментов наиболее цветостойкими являются железный сурик, крон желтый, оксид хрома и др.

Применяют цветной асфальтобетон для устройства островков безопасности пешеходных переходов, обозначения стоянок автомобилей, остановок городского общественного транспорта, а также для парковых дорожек, оформления площадей и скверов, площадок перед выставочными павильонами и т.д.

Реже, наряду с асфальтобетоном, в строительстве применяют дегтебетон.

Дегтебетон – строительный материал, аналогичный асфальтобетону, в котором в качестве вяжущего материала используется каменноугольный деготь марок Д-5, Д-6.

При изготовлении дегтебетона при горячей укладке следует строго выдерживать температурный режим, так как деготь чувствителен к изменению температуры. Нагрев минеральных материалов производится до 100–130 °С, а дегтя – от 80 до 100 °С.

По техническим свойствам дегтебетоны значительно уступают асфальтобетонам. Они имеют меньшую водостойкость, износостойкость, теплостойкость и больше подвержены старению. При пониженной температуре дегтебетоны хрупко деформируются.

Применяют дегтебетон для устройства дорог, в том числе в районах добычи каменного угля.

12.2. Битумные кровельные материалы

Самыми старыми и хорошо известными рулонными материалами для кровель являются битумные материалы на картонной основе.

Хотя эти материалы по-прежнему имеют широкое применение в строительстве, они уже давно не отвечают современным требованиям.

Основные их недостатки – низкая морозостойкость, малая деформативность, ускоренное старение, недостаточная теплостойкость, подверженность гниению, необходимость укладки большого количества слоев (до 5), невозможность работы с ними при отрицательных температурах и т.д.

Единственное относительное достоинство подобных материалов – их дешевизна, с чем и связано то, что материалы на картонной основе до сих пор составляют наибольшую долю в объеме производства и реализации кровельных материалов. Но кажущаяся дешевизна наиболее известного представителя данной группы – рубероида, при детальном рассмотрении, оборачивается убытками, связанными с необходимостью ежегодного ремонта кровли.

В большинстве стран Западной Европы (например, Германии) битумные кровельные материалы на картонной основе запрещены к при-

менению при устройстве кровель. В России рубероиды применяются пока очень широко, но первые шаги по замене их современными материалами уже делаются. В 1994 г. вышло постановление правительства Москвы, запрещающее применение в столице рубероида при кровельных работах для капитального строительства. И все же вопрос о закрытии рубероидных заводов не стоит. Существуют временные постройки и постройки хозяйственного назначения в сельской местности, различные навесы и тому подобное, на которых нет необходимости применять долговечные материалы с улучшенными техническими показателями.

Улучшенными показателями обладают битумные материалы на негниющих основах: стеклохолстах, стеклотканях и т.п.

Разновидности битумных кровельных материалов

Рубероид – рулонный материал, изготовленный из картона, который пропитан нефтяным кровельным битумом. Поверхность рубероида покрыта с обеих сторон тугоплавким нефтяным битумом и посыпкой в виде молотого талька или слюды различного цвета.

В зависимости от назначения рубероид бывает кровельный (для устройства верхнего слоя кровельного полотна) и подкладочный (для устройства нижних слоев кровли и гидроизоляции конструкций).

Стеклорубероид – рулонный кровельный и гидроизоляционный материал, получаемый путем двустороннего нанесения битумного вяжущего на стекловолокнистый холст.

Пергамин – рулонный кровельный материал на основе картона, пропитанного нефтяным битумом. В отличие от рубероида пергамин не имеет кровельного слоя битума и посыпки. Применяется пергамин как подкладочный материал под рубероид, при укладке на горячих мастиках, а также для устройства пароизоляции.

Все эти рулонные кровельные материалы укладывают с применением горячих и холодных битумных мастик.

12.3. Дегтевые кровельные материалы

Эти материалы получают пропиткой и покрытием кровельного картона каменноугольными или сланцевыми дегтевыми продуктами без посыпки или с посыпкой.

Толь – кровельный материал, который может выпускаться с крупнозернистой или песочной посыпкой.

Толь, посыпанный мелкозернистой минеральной посыпкой, применяют для гидро- и пароизоляции конструкций, а также в качестве

нижнего слоя кровельного ковра.

12.4. Битумно-полимерные кровельные материалы

Битумно-полимерные рулонные материалы – это кровельные материалы, при производстве которых применяются [модификаторы битума](#) (специальные полимеры), которые позволяют в значительной степени нивелировать недостатки, присущие [битумным материалам](#).

В качестве основ битумно-полимерных материалов могут применяться как стеклоткани, стеклохолсты и тому подобное, так и эластичные полимерные волокна. Отметим, что к сожалению ни ГОСТ 305447–97, ни другие нормативы не регламентируют важнейшие качественные показатели для кровельных основ, кроме прочности и удлинения.

Наиболее широко в настоящее время применяются *«кровельные» стеклоткани*. Рассмотрим их подробнее. Большинство стеклотканей имеют высокую прочность на разрыв и перфорационную прочность, а также достаточное удлинение при разрыве (2 %). Все стеклоткани негорючи, био- и влагостойки, не гниют.

Для обеспечения достаточной жесткости стеклоткань необходимо обработать (аппретировать) специальными составами, которые не будут разлагаться под действием битума и высоких температур и обеспечат хорошую адгезию.

Кроме того, структура стеклоткани должна иметь достаточную пропитываемость. Для этого нить, из которой соткана ткань, должна быть максимально «открытой». Такую нить можно получить при раздувании воздухом – текстурировании. Стеклоткани, полученные с использованием раздутых воздухом нитей, называют текстурированными. Текстурированные стеклоткани обладают всеми необходимыми свойствами и позволяют выпускать по-настоящему качественные материалы различного назначения при условии, что они имеют хорошо заполненную структуру. Этому условию соответствуют лишь ткани с поверхностной плотностью не менее 160 гр/м², так как раздувать нить возможно лишь до определенного объема, и меньше чем 20 нитей на 10 см по утку применять нельзя. Попытки снизить плотность приводят к снижению прочности и разряженной структуре.

Следовательно, в качестве основы необходимо применять текстурированные стеклоткани с хорошим заполнением (поверхностной плотностью не менее 160 гр/м²). Для обеспечения надежного сцепления битумного вяжущего с основой, последнюю необходимо предварительно пропитать пропиточным или покровным битумом.

Современные битумно-полимерные материалы, конечно же, существенно дороже битумных, но их укладывают меньшим количеством слоев, и срок службы их в 5–10 раз больше. Так что эксплуатационные затраты на ремонт, в подобных случаях сократятся в 2–3 раза, а при сервисном обслуживании кровель в 4 раза.

Разновидности битумно-полимерных кровельных материалов

Изопласт – битумно-полимерный кровельный и гидроизоляционный материал на основе малоокисленного битума, модифицированного атактическим полипропиленом (АПП) и армированного нетканой полиэфирной или стекловолокнутой основой.

Для верхнего лицевого слоя кровельного ковра производится изопласт «К» (кровельный) марок: ЭКП-4,5 – с защитно-декоративным слюдяным (вермикулит) слоем и ЭКП-5,0 – с посыпкой цветным (красный, зеленый, серый) гранулятом. Снизу материал покрыт тонкой (10 мкм) полиэтиленовой пленкой. Основа – полиэфирный нетканый материал (индекс «Э» в наименовании марки); цифры: 4,5 и 5,0 – масса 1 м² материала в килограммах.

Для нижнего слоя кровельного ковра и гидроизоляции производится материал с двусторонней пылеватой посыпкой (или покрытый тонкой 80–100 мкм полиэтиленовой пленкой): изопласт «П» (подкладочный) на стекловолокнутой (Х) или полиэфирной (Э) нетканой основе марок: ХПП-3,0; ХПП-4,0; ЭПП-3,0; ЭПП-4,0.

Специально для гидроизоляции ответственных сооружений (тоннелей, мостов и т.п.) выпускается изопласт марок ЭМП-5,5.

Изопласт выпускают в виде рулонов шириной 1,0 м и длиной 10 м.

Для получения кровельного ковра необходимой прочности, водонепроницаемости и долговечности достаточно двух слоев «Изопласта»: верхний – марки «К» и нижний – марки «П». Низкая трудоемкость устройства кровли и высокая долговечность (15–25 лет в зависимости от климатических условий) позволяют получить экономию в 25 % по сравнению с аналогичными кровлями из рубероида.

Техноэласт – группа рулонных кровельных и гидроизоляционных битумно-полимерных материалов на гниющих основах, в которых битум модифицирован синтетическим каучуком СБС. Это обеспечивает гибкость материала при низких температурах. Выпускаются четыре основные марки материала, различающиеся типом основы, посыпкой и массой 1 м²: ЭКП-5,0; ТКП-5,0; ЭПП-4,0; ХПП-3,0. Кроме того, производятся специальные марки: ЭКС-5,0 – самоклеящийся, и ЭКВ-6,0 «Вент», способный к удалению паров из-под кровельного ковра.

Техноэласт выпускают в виде рулонов шириной 1,0 м и площадью 10 м² (марка ХПП-3,0 – 15 м²). Ориентировочный срок службы 2–3-слойного кровельного ковра – не менее 20 лет.

12.5. Кровельные гидроизоляционные мастики

Мастиками называют пластичные искусственные смеси органических вяжущих веществ с минеральными наполнителями и добавками. Они бывают битумные, битумно-резиновые, дегтевые и др.

По способу приготовления и применения мастики бывают холодные и горячие. По назначению мастики делятся на кровельные, кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные.

Битумные горячие мастики получают нагреванием смеси битумов (70–80 %) и наполнителей (20–30 %) до температуры 160–180 °С. В качестве наполнителей используют пылевидный известняк, доломит, кварц, тальк, трепел, асбест.

Битумные холодные мастики состоят из нефтяного битума, органического растворителя (соляровое масло, керосин), наполнителя и пластификаторов.

Дегтевые мастики получают из дегтевого вяжущего с наполнителем.

Применяют мастики для приклеивания и склеивания рулонных материалов при производстве кровельных и гидроизоляционных работ.

12.6. Эмульсии

Битумные или дегтевые эмульсии являются водобитумными или вододегтевыми дисперсными системами, состоящими из воды, в которой равномерно распределены мельчайшие частички битума или дегтя. Для уменьшения поверхностного натяжения на границах раздела твердой и жидкой фаз в состав эмульсии вводят эмульгаторы (мыло, олеиновая кислота, концентраты ССБ и др.). Эмульсии приготавливают в мешалках и гомогенизаторах. Применяют их для устройства защитного гидроизоляционного и пароизоляционного покрытия, грунтовки основания под гидроизоляцию и приклейки штучных и рулонных битумных и дегтевых материалов.

12.7. Гидроизоляционные материалы

Гидроизоляционные материалы предназначены для предохранения строительных конструкций от контакта с водой, поглощения воды или от фильтрации воды через них. В зависимости от физического состояния и соответственно технологии их применения гидроизоляционные материалы можно разделить на жидкие; пастообразные пластично-вяз-

кие; твердые упруго-пластичные.

Жидкие гидроизоляционные материалы могут быть пропиточные и пленкообразующие.

Пропиточные материалы – жидкости, проникающие в поры поверхностных слоев материала и образующие там водонепроницаемые барьеры или гидрофобизирующие поверхности пор.

Битумы и дегти, переведенные в жидкое состояние, – простейшие пропиточные материалы. Битумы придают пропитанному слою материала водонепроницаемость, а дегти, кроме того, антисептируют материал. Для перевода в жидкое состояние дегти и битумы можно расплавить, растворить в органических растворителях или приготовить из них эмульсию.

Битумные эмульсии готовят в гомогенизаторах (высокоскоростных смесителях). В них расплавленный битум диспергируют в горячей воде (85–90 °С), в которой предварительно растворяют поверхностно-активные вещества-эмульгаторы, обеспечивающие стабильность эмульсии. Эмульсии могут модифицироваться полимерами и латексами каучуков. Пропитка эмульсиями целесообразна для влажных материалов.

Пропитка мономерами с последующей их полимеризацией в порах материала обеспечивает их стабильную водонепроницаемость. Наиболее перспективны для этой цели акриловые мономеры. Их полимеризация возможна с помощью инициаторов, введенных в пропитывающую жидкость.

Кремнийорганические жидкости – эффективный пропиточный материал, гидрофобизирующий (придающий водоотталкивающие свойства) пористые материалы. Эти вещества имеют высокую проникающую способность, они атмосферостойки и термостойки. Жидкости не имеют цвета и запаха и не изменяют внешний вид пропитываемого материала.

Самая распространенная кремнийорганическая жидкость, применяемая в строительстве, – ГКЖ-94. Для обработки строительных материалов используют 1–10 %-й раствор ГКЖ-94 в органических растворителях или 0,5–3 %-ю водную эмульсию. После высыхания на стенках пор и самом материале образуется тончайшая гидрофобная пленка, прочно скрепленная с материалом.

Инъекционные материалы нагнетают в поры изолируемого материала под давлением. В качестве инъекционных могут использоваться не только все пропиточные, но и более вязкие жидкости (например, эпоксидные смолы, полимерные дисперсии). Принудитель-

ное нагнетание гидроизоляционного материала в конструкцию обеспечивает более высокую водонепроницаемость образующегося защитного слоя, чем свободная пропитка, но его выполнение значительно сложнее и дороже ее.

Пленкообразующие материалы – вязкожидкие составы, которые после нанесения на поверхность изолируемой конструкции образуют на ней водонепроницаемую пленку. Образование пленки происходит либо в результате улетучивания растворителя, либо в результате полимеризации. Среди пленкообразующих веществ наибольшее распространение получили разжиженные битумы и битумные эмульсии, лаки и эмали.

Пастообразные гидроизоляционные материалы используют как обмазочные и приклеивающие. Обмазочные материалы после нанесения образуют на изолируемой поверхности достаточно толстый гидроизоляционный слой. К обмазочным материалам относят мастики и пасты – пластично-вязкие системы с ярко выраженными тиксотропными свойствами. Это означает, что они при нанесении на поверхность инструментом разжижаются, а затем переходят в твердообразное состояние.

Мастики получают смешиванием органических вяжущих с минеральными наполнителями и специальными добавками (пластификаторами, структурирующими и др.). По виду вяжущего различают мастики битумные, битумно-полимерные и полимерные; реже используются дегтевые.

Самые распространенные мастики – битумные. Они относительно дешевые и имеют хорошую адгезию к большинству материалов. Выпускают такие мастики в двух вариантах: *холодные*, готовые к употреблению (они содержат растворитель), и *горячие*, нуждающиеся в нагреве до 160–180 °С для перевода в рабочее состояние.

Последние годы все более широкое распространение получают полимербитумные и полимерные мастики с использованием в качестве связующего синтетических каучуков (бутилового, стирол бутадиенстирольного, тиоколового и др.) и эластомеров (полиизобутилена, хлорсульфополиэтилена и др.).

Мастики в качестве приклеивающего материала (например, для наклейки рулонной гидроизоляции) и в качестве материала, образующего гидроизоляционный слой на обрабатываемой конструкции (например, для обмазки наружных поверхностей стен подвалов и фундаментов). Полимерные мастики применяют также для устройства антикоррозионных покрытий на бетонных и металлических конструкци-

ях, работающих в агрессивных средах.

Пасты получают на основе битумов и дегтей путем их диспергирования в присутствии твердого эмульгатора (глины, извести и т. п.).

Пасты хорошо смешиваются с наполнителями (песком) и легко наносятся даже на влажные поверхности; после высыхания капли битума сливаются, и образуется мастичное покрытие.

Упруго-пластичные гидроизоляционные материалы представлены рулонными материалами (безосновными и на различных основах), аналогичные кровельным. Как уже говорилось, в отличие от кровельных гидроизоляционных материалы не подвергаются солнечному излучению, но постоянно находятся во влажных условиях, где на первое место выходит гнилостойкость.

Первыми рулонными гидроизоляционными материалами были толь и рубероид (без бронирующей посыпки). Долговечность этих материалов ограничена низкой гнилостойкостью кровельного картона.

При этом толь, за счет пропитки дегтем, более долговечен в роли гидроизоляционного материала. В современных рулонных гидроизоляционных материалах для повышения долговечности и надежности используют битумные и полимербитумные материалы на негниющих основах.

Гидростеклоизол – битумный гидроизоляционный материал, состоящий из стекловолоконной основы, на которую с двух сторон нанесен слой битумного вяжущего, состоящего из битума, минерального наполнителя (20 % от массы вяжущего) и пластификатора-мягчителя. Масса битумного вяжущего $3000 \pm 300 \text{ г/м}^2$. Материал укрепляется на изолируемой поверхности путем оплавления пламенем газовоздушных горелок; рекомендуемая температура работ при укладке – не ниже 10°C .

Гидростеклоизол предназначен для гидроизоляции тоннелей метрופолитена, пролетных строений мостов и путепроводов, подвалов, бассейнов. Для кровельных работ не рекомендуется.

12.8. Герметизирующие материалы

Герметизирующие материалы (герметики) применяют для уплотнения швов между элементами строительных конструкций для обеспечения водо- и воздухонепроницаемости шва. Герметики, используе-

мые для заделки швов в сборном домостроении, должны быть эластичными, так как такие швы меняют свои размеры в результате температурных и усадочных деформаций. Это не позволяет использо-

вать для этих целей жесткие цементные растворы. Другой тип герметиков – монтажные герметики – используемые для заделки швов между дверными и оконными коробками и стеной, укрепления стекол в рамах и тому подобное.

В зависимости от вида герметики могут быть в виде паст, мастик, вспениваемых составов и в виде упругих и эластичных прокладок.

Герметизирующие мастики получают на основе пластично-вязких полимерных продуктов. Основное требование к мастичным герметикам – высокая деформативность и адгезия к материалу шва (например, к бетону). Различают герметики неотверждающиеся, отверждающиеся и высыхающие.

Неотверждающиеся герметики получают в основном на основе полиизобутилена – термоэластопласта, сохраняющего эластичность при температурах от 80 до -60 °С. Для этой цели используют также синтетические каучуки: бутиловый, акриловый и др.

Полиизобутиленовые мастики кроме полимера содержат тонкодисперсный наполнитель (мел, тальк и др.) и мягчитель (масло). Мастика обладает водо- и атмосферостойкостью и отличной адгезией к большинству материалов. Для нагнетания мастики в швы используют шприцы со сменными патронами, наполненными составом.

Отверждающиеся герметики получают из реакционноспособных олигомеров (главным образом, жидких каучуков). Наибольшее распространение в строительстве получили тиоколовые герметики; в меньшей степени – полиуретановые и силиконовые. Отверждение мастик может происходить за счет введения отвердителей (вулканизаторов) или влагой и кислородом воздуха.

Тиоколовая мастика – двухкомпонентный состав, включающий в себя жидкий тиоколовый каучук, наполненный сажей или светлыми порошкообразными наполнителями, и вулканизирующую пасту. Компоненты смешиваются перед заполнением шва. Через 1–3 сут паста непосредственно в шве превращается в резину, не теряя при этом адгезии к бетону. Этот герметик можно использовать для уплотнения стекол, установленных в металлические рамы в витринах, теплицах.

Силиконовые герметики отличаются высокой теплостойкостью и химической стойкостью.

Высыхающие герметики – вязко-пластичные материалы, получаемые растворением в органических растворителях битумных, полимерных и других связующих в смеси с наполнителями. Эти материалы аналогичны холодным битумным и битумно-полимерным мастикам. Такие герметики выпускают в готовом виде. Их можно применять при

низких температурах. Недостаток таких герметиков – токсичность и пожароопасность во время проведения работ.

Монтажные пены – новый вид герметиков, представляющий собой жидкие полимерные составы, отверждающиеся на воздухе, насыщенные под давлением газом. Они расфасованы в баллончики вместимостью до 1 дм³. При нажатии на клапан баллончика из него выходит струя вязкой жидкости, моментально вспучивающаяся и затвердевающая в виде пены через несколько часов. Такой герметик обеспечивает не только гидроизоляцию, но и теплоизоляцию в герметизируемом шве.

Их с успехом используют для уплотнения швов при установке дверных и оконных блоков.

Штучные герметики – жгуты и ленты. Жгуты обычно имеют круглое поперечное сечение и пористую структуру. Они эластичны устанавливаются в шов в обжатом состоянии, что позволяет им обеспечивать герметичность шва при изменении его ширины. *Ленточные герметики* получают, нанося на волокнистую основу слой нетвердеющего мастичного герметика; такими лентами заклеивают шов.

Гернит – пористый эластичный жгут коричневого цвета ($D = 20\text{--}60$ мм и длиной до 3 м), имеющий плотную пленку на поверхности. Его получают на основе атмосферостойкого негорючего полихлоропренового каучука. В шов гернит рекомендуется устанавливать с использованием клеящей мастики.

Вилатерм – жгут белого цвета, полый внутри, получаемый из вспененного полиэтилена. По свойствам вилатерм аналогичен герниту, но сохраняет эластичность при более низких температурах. Используется также для тепловой изоляции труб (в особенности в холодильных установках).

Герлен – герметизирующая самоклеющаяся лента, представляющая собой нетвердеющую мастику из синтетического каучука, мягчителей и наполнителей, нанесенную на подложку из нетканого синтетического полотна. С другой стороны мастика защищена от слипания разделительной лентой из парафинированной или силиконизированной бумаги. Герлен сохраняет эластичность при температурах от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Толщина ленты 3 мм; ширина – 100 мм.

Ленту наклеивают на изолируемый шов, подложкой наружу. Адгезия мастики к бетону и металлу высокая. Герлен используют для герметизации швов в панельном домостроении, в тоннельных обделках и стыках водопропускных труб. Выпускается специальная марка герлена для герметизации кузовов автомобилей.

Задания для самопроверки

1. Какой материал называют битумом? В каком виде встречается битум в природе и как его получают?
2. Виды нефтяных битумов по способу производства. Марки битумов и как их определяют.
3. Свойства битумов. Для каких целей применяют битум в строительстве? Какие битумы применяются в производстве асфальтового бетона?
4. Из каких материалов и по какой технологии изготавливают асфальтобетон? Роль минерального порошка в асфальтовых растворах и бетонах.
5. Свойства асфальтовых бетонов и их применение в строительстве. Какова структура асфальтобетона в дорожных покрытиях?
6. Какой материал называют дегтем, как его получают и где используют? Что такое пек и для каких целей его применяют в строительстве?
7. Как получают рубероид, толь, пергамин, стеклорубероид? Их применение в строительстве.
8. Важнейшие гидроизоляционные материалы, их применение в строительстве. Битумные и дегтевые мастики и эмульсии. Их применение.
9. Что такое герметизирующие материалы? Опишите основные герметики и их применение в строительстве.

13. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Теплоизоляционными называют материалы и изделия, применяемые в строительстве жилых и промышленных зданий, при монтаже тепловых агрегатов и трубопроводов с целью уменьшить тепловые потери в окружающую среду. Теплоизоляционные материалы (ТИМ) характеризуются пористым строением и малой плотностью. Теплоизоляционными считают материалы, имеющие среднюю плотность не более 600 кг/м^3 и теплопроводность не более $0,18 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

Применение ТИМ позволяет уменьшить толщину и массу стен, а следовательно, снизить расход материалов, уменьшить транспортные расходы и соответственно снизить стоимость строительства.

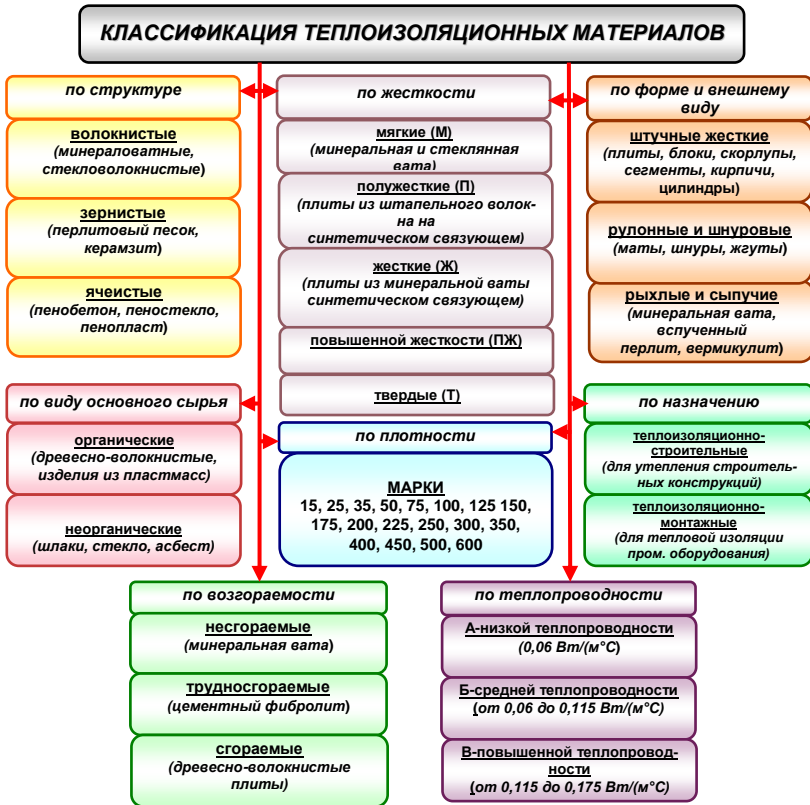


Рис. 13.1. Классификация теплоизоляционных строительных материалов

13.1. Способы поризации материалов

Поризацию материалов проводят с помощью следующих искусственных способов: газообразования, пенообразования, повышенного водозатворения, вспучивания, распушения, введения выгорающих органических веществ.

Способ газообразования основан на введении в сырьевую смесь веществ, способных вступать в химическую реакцию или разлагаться под действием температуры или кислотности среды с выделением большого количества газов. Так получают газобетон, газосиликат, газокерамику, ячеистое стекло, газонаполненные пластмассы и др.

Способ пенообразования основан на введении в воду затворения пенообразующих веществ. Этим способом получают пенобетон, пеносиликат, пенокерамику и др.

Способ повышенного водозатворения состоит в применении большого количества воды при приготовлении формовочных масс (например, из трепела, диатомита) и последующего ее испарения с сохранением пор при сушке. Этот способ применяют в производстве древесноволокнистых плит, торфяных, асбестотрепельных и других материалов.

Способ вспучивания состоит в нагревании до высоких температур некоторых горных пород и шлаков. Из сырья выделяются газы или водяные пары в связи с выделением химически связанной или цеолитной воды. Для вспучивания используют перлит и обсидан, вермикулит, некоторые разновидности глин, содержащих легкоплавкую закись железа (FeO). В результате получают вспученный перлит и вермикулит, керамзит, шлаковую пемзу и др.

Способ распушения состоит в получении волокнистого материала из сравнительно плотного минерального сырья. Наибольшее распространение этот способ имеет при производстве минеральной и стеклянной ваты и изделий из них. Сырьем для производства минеральной ваты являются пегматиты, туфы и другие горные породы и металлургические шлаки; стеклянной ваты – стеклянный бой и отходы стекла на стекольных заводах, песок, сода, известняк. Способом распушения получают также теплоизоляционные органические материалы – хлопковую и шерстяную вату, ватин, войлок, древесные волокна и теплоизоляционные материалы на основе асбеста.

В нашей стране наибольшее применение в строительстве находит минеральная вата в связи с доступностью сырья. Шихта, составленная из сырья, плавится в вагранках. Полученный расплав перерабатывается в минеральную вату с диаметром волокон 5–15 мкм дутьевым или центробежным способом. При первом способе волокна образуются при воздействии на струю расплава, вытекающего из вагранки, пода-

ваемого под давлением пара или воздуха, при втором способе струя расплава направляется на горизонтально расположенный вращающийся диск и под действием центробежной силы разбрасывается в виде тончайших нитей.

Дутьевым и центробежным способом получают также стекловату, а направленное стекловолокно – способом непрерывного вытягивания нити из отверстий (фильер) жароупорной пластины.

Способ введения выгорающих органических веществ используется при производстве керамических теплоизоляционных изделий. К керамическому сырью добавляют опилки, уголь, торф, лигнин и другие добавки, а для мелкой равномерной пористости — нафталин. Эти добавки выгорают или возгоняются.

13.2. Разновидности органических теплоизоляционных материалов

Древесно-волоконистые теплоизоляционные плиты (ДВП) получают из отходов древесины. Процесс изготовления состоит из дробления и размола сырья, пропитки массы связующим веществом, формования, сушки и обрезки изделий. Средняя плотность ДВП колеблется от 150 до 350 кг/м³, а теплопроводность – 0,047–0,08 Вт/(м · °С). Применяют эти изделия для устройства полов, перегородок и т.д.

Фибролитовые плиты получают прессованием древесной шерсти и цементного теста. Средняя плотность – 250–500 кг/м³, а теплопроводность – 0,08–0,1 Вт/(м · °С). Используются фибролитовые плиты для утепления стен, чердачных перекрытий, для устройства перегородок.

Арболит получают из смеси цемента и древесных стружек, которые обрабатывают химическими добавками. Средняя плотность арболита – до 700 кг/м³, предел прочности при сжатии – 0,5–3,5 МПа, а теплопроводность – 0,1–0,22 Вт/(м · °С). Применяют арболит в виде плит, панелей, блоков для устройства стен и перегородок.

Камышитовые плиты получают путем прессования стеблей камыша и прошивки их в поперечном направлении оцинкованной проволокой. По плотности выпускают изделия трех марок: 175, 200 и 250, теплопроводность – 0,06–0,09 Вт/(м · °С). Применяют изделия для теплоизоляции стен и перекрытий сельскохозяйственных зданий.

Строительный войлок изготавливают из шерсти животных в виде прямоугольных полотнищ. Плотность войлока – 150 кг/м³, а теплопроводность – около 0,06 Вт/(м · °С).

13.3. Разновидности неорганических теплоизоляционных материалов

К неорганическим ТИМ относят минеральную вату, стеклянное волокно, пеностекло, вспученный перлит и вермикулит, асбестосодержащие материалы, ячеистые бетоны и др.

Минеральная вата представляет собой волокнистый ТИМ, полученный из расплавов горных пород (известняки, граниты, глинистые сланцы) или отходов производства (шлаки, бой глиняного и силикатного кирпича). Плавление сырьевых материалов проводится в печах при температуре 1300–1400 °С с применением кокса. Расплав охлаждается в виде волокон толщиной 2–7 мкм и длиной 2–40 мм.

В зависимости от плотности минеральная вата делится на четыре марки – от 75 до 150. Теплопроводность ее составляет 0,04–0,05 Вт/(м · °С).

Сама минеральная вата является как бы полуфабрикатом, из нее производят различные изделия: войлок, маты, полужесткие и жесткие плиты, сегменты и другие изделия. При производстве минераловатных плит используют синтетическое или битумное связующее. Применяют изделия из минеральной ваты для теплоизоляции чердачных перекрытий, стен, трубопроводов, промышленного оборудования.

Стеклянная вата представляет собой материал, состоящий из беспорядочно расположенных стеклянных волокон, полученных из расплавленного сырья.

Сырьем для производства служит сырьевая шихта для варки стекла, состоящая из кварцевого песка, кальцинированной соды и сульфата натрия. Можно в качестве сырья использовать стеклянный бой. Температура получения стекловаты такая же, как и минеральной ваты – 1300–1400 °С. Плотность и теплопроводность стекловаты несколько ниже, чем минеральной ваты. Применяют стеклянную вату в виде различных изделий (плит, полос) для теплоизоляции трубопроводов, промышленных холодильников в условиях при температуре не выше 200 °С.

Пеностекло получают из молотого стеклянного боя с добавлением газообразователя (молотого известняка, угольной пыли и др.).

Сырьевую смесь засыпают в форму и нагревают в печи до 900 °С. При этом происходит плавление частиц и разложение газообразователя. Масса вспучивается, а при охлаждении превращается в прочный материал ячеистой структуры. Из пеностекла получают изделия в виде плит или блоков.

Пористость пеностекла – 80–95 %, плотность – 200–600 кг/м³, теплопроводность – 0,09–0,14 Вт/(м · °С), а предел прочности при сжатии – 2–6 МПа. Используют пеностекло в виде различных изделий для теп-

лоизоляции разных частей зданий, тепловых агрегатов и теплосетей, где температура не превышает 300 °С.

Вспученный перлит – сыпучий ТИМ, получаемый вспучиванием природного перлита за счет его обжига при температуре 900–1200 °С. При удалении кристаллизационной воды при обжиге объем перлита может увеличиваться в 5–12 раз. Насыпная плотность вспученного перлита – 100–600 кг/м³, а теплопроводность – 0,07–0,08 Вт/(м · °С).

Из вспученного перлита получают различные теплоизоляционные изделия (плиты, полуцилиндры), применяя при этом такие связующие, как цемент, пластичные глины, нефтяной битум, различные смолы. Используют изделия из вспученного перлита для теплоизоляции промышленных печей, котлов, трубопроводов.

Вспученный вермикулит получают путем обжига природного вермикулита при температуре 1000–1100 °С, объем его при этом увеличивается более чем в 20 раз. Этот ТИМ характеризуется повышенной огнестойкостью.

Вермикулит в качестве засыпки можно использовать для теплоизоляции поверхностей с температурой до 1100 °С. Для получения изделий из вспученного вермикулита используют такие же связующие, как и при производстве изделий из вспученного перлита.

Изделия из вспученного вермикулита имеют плотность 250–500 кг/м³, а теплопроводность – 0,05–0,11 Вт/(м · °С). Используются изделия там же, где и изделия на основе вспученного перлита.

Асбестосодержащие материалы и изделия представлены в основном асбестовой бумагой, асбестовым шнуром, асбестовой тканью, теплоизоляционными асбестовыми матрицами, совелитовыми изделиями.

Совелит представляет собой асбестомagneзиальный ТИМ, сырьем для которого служат доломит (80 %) и распушенный асбест (20 %). Совелитовый порошок затворяют водой и наносят на изолируемую поверхность. Используют этот материал и в виде плит плотностью до 400 кг/м³ с теплопроводностью не более 0,083 Вт/(м · °С). Температура изолируемых поверхностей оборудования и трубопроводов не должна превышать 500 °С.

13.4. Полимерные теплоизоляционные материалы

Полимерные теплоизоляционные материалы отличаются значительной легкостью, малой теплопроводностью и достаточной механической прочностью, кроме того, они водостойки, не гнивают, гибки и эластичны. К их недостаткам относится горючесть и ограниченная температуростойкость. Полимерные теплоизоляционные мате-

риалы изготавливаются на основе полистирольных, поливинилхлоридных, полиэтиленовых, полиуретановых и феноло- и мочевиноформальдегидных полимеров.

Пенополистирол изготавливают из полистирола с порообразователем. Его можно получать различными способами: прессовым, беспрессовым и экструзией, последний наиболее прогрессивен.

В настоящее время в нашей стране выпускаются пенополистирольные плиты, изготавливаемые беспрессовым способом, марок ПСБ-С с антипиреном и ПСБ без антипирена, экструзионный пенополистирол марок ЭППС и пеноплэкс.

Экструдированный пенополистирол может применяться в диапазоне температур от -50 до 75 °С.

Пенополистирольные плиты используют для теплоизоляции в ограждающих конструкциях гражданских и промышленных зданий, в холодильной промышленности, конструкциях совмещенных кровель, для утепления полов, а также для основания автомобильных дорог и железнодорожного полотна (экструзионный).

Пенополивинилхлорид – вспененный органический теплоизоляционный материал низкой плотности, бывает жесткий и эластичный. Жесткий пенопласт выпускается в виде плит длиной и шириной 500 мм при толщине не менее 45 мм со средней плотностью $70\text{--}150$ кг/м³, его предел прочности при сжатии составляет $0,4\text{--}0,7$ МПа, водопоглощаемость через 24 ч – не более 0,3 %, теплопроводность – $0,04$ Вт/(м · °С). Он может использоваться в интервалах температур от 0 до $+60$ °С.

Пенополихлорид широко применяют для термоизоляции холодильников, рефрижераторов, а также для звукоизоляционных целей.

Пенополиэтилен – эластичный материал, выпускаемый методом экструзии в виде рулонов длиной 50 м, шириной 930 мм и толщиной 2–10 мм, имеет среднюю плотность $40\text{--}80$ кг/м³, предел прочности при растяжении – $0,5$ МПа, теплопроводность при 25 °С – $0,066$ Вт/(м · °С), водопоглощаемость через 24 ч – 0,3 %. Температурный диапазон эксплуатации материала от -80 до 105 °С.

Пенополиэтилен может фольгироваться алюминиевой фольгой с одной или двух сторон. Применяется он для утепления стен, полов, потолков, для изоляции технологического оборудования и труб.

Пенополиуретаны – газонаполненные пенопласты, получаемые на основе полиэфиров и диизоцианатов и специальных добавок. Изготавливают твердый, эластичный и заливочный пенополиуретан. Его плотность составляет $25\text{--}45$ кг/м³, прочность при 10 % сжатии – $0,3\text{--}0,7$ МПа, теплопроводность – $0,025$ Вт/(м · °С).

Жесткие пенополиуретаны можно обрабатывать на токарных станках, пилить, сверлить, забивать в них гвозди. Они могут работать в интервале температур 100–150 °С. Пенополиуретан выпускается в виде плит 500×500×50 мм, а также в виде скорлуп и сегментов. Его используют для теплоизоляции ограждающих конструкций, полов, перекрытий и трубопроводов горячего и холодного водоснабжения.

Пенополиуретаны могут быть получены непосредственно на стройке методом напыления и заливки (заливочный пенопласт). В результате вспенивания полиуретана в конструкции получают монолитную теплоизоляцию.

Теплоизоляционные материалы используют как промежуточный слой при изготовлении трехслойных высокопрочных панелей типа «сэндвич».

Панели типа «сэндвич» – это плоские пространственные конструкции, состоящие из наружных обшивок, соединенных между собой теплозвукоизоляционными материалами из полимеров. В качестве последних обычно используют пенополистирол, пенополивинилхлорид, пенополиуретан, фенольный пенопласт, а также готовый наполнитель, минеральную вату. В качестве обшивок применяют стеклопластики, фанеру, древесно-волоконные плиты, асбестоцемент, тонколистовой алюминий, стальные листы с защитными покрытиями, кровельные материалы в плитах покрытий. Для склеивания обшивок со средним слоем используются различные клеи.

Панели типа «сэндвич» для стен и покрытий производят на высокопроизводительных непрерывных линиях или стендовых установках. Размеры панелей: длина – до 20 м, ширина – 1,0–1,2 м, толщина – 35–200 мм.

Главными достоинствами трехслойных панелей являются их легкость (масса 1 м² колеблется в пределах 40–70 кг), высокая теплоизолирующая способность (0,17–0,96 Вт/(м · °С)) в зависимости от толщины плиты и вида теплоизоляционного материала и хорошие физико-механические свойства.

Трехслойные панели используют для утепления стен и перегородок производственных и общественных зданий, для теплоизоляции покрытий по несущим конструкциям, подвесных потолков.

Задания для самопроверки

1. Для каких целей применяют теплоизоляционные материалы? По каким признакам классифицируют теплоизоляционные материалы?

2. Назовите важнейшие органические и неорганические теплоизоляционные материалы. Какие из них обладают лучшими строительными свойствами?

3. Из какого сырья и как получают минеральную, стеклянную и шлаковую вату? Какие изделия изготавливают из минеральной и стеклянной ваты?

4. Что такое фибролит и для каких целей его применяют?

5. Как изготавливают пенопласты и в чем их преимущества по сравнению с другими теплоизоляционными материалами?

6. Что такое мипора и каковы ее свойства?

14. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Акустическими называют материалы, способные уменьшать энергию звуковой волны, снижать уровень громкости звуков, возникших как в воздухе, так и в материале.

Звук – это восприятие ухом упругих механических колебаний и волн, возникающих в среде под влиянием принудительных воздействий.

Частоты колебаний звука могут быть низкими – 16–500 Гц, средними – 500–2000 Гц, высокими – 2000–15000 Гц.

Человеческое ухо чувствительно к колебаниям частот в области 1000–3000 Гц, когда порог слышимости достигает интенсивности звука до 16 Вт/см². Звуковое давление измеряется в децибелах (дБ) на различных частотах.

Материалы и изделия характеризуются коэффициентом звукопоглощения. Коэффициент звукопоглощения есть отношение количества энергии звуковых колебаний, поглощенной материалом, к общему количеству звуковой энергии, падающей на поверхность материала в единицу времени. Чем больше величина коэффициента звукопоглощения, тем эффективнее материал.

Акустические материалы разделяют на звукопоглощающие и звукоизоляционные.

14.1. Звукопоглощающие материалы

Звукопоглощающие материалы разделяются по характеру поглощения звука, виду и технологии изготовления, характеру поверхности изделия. По характеру поглощения звука материалы разделяются на пористые, мембранные и перфорированные.

Звукопоглощающие материалы используют для снижения уровня шума в промышленных цехах, зрительных залах, аудиториях, офисах, радио- и телестудиях.

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является величина звукопоглощения, характеризующая отношение количества поглощенной материалом звуковой энергии к общему количеству падающей на него звуковой энергии в единицу времени. К звукопоглощающим относят материалы, у которых это отношение больше 0,2. Звукопоглощающие материалы имеют малую плотность и открытую пористость. У большинства этих материалов сквозные поры занимают более 60 % объема.

По характеру поглощения звука звукопоглощающие материалы разделяют на пористые с твердой основой, пористо-упругие, мембранные и перфорированные.

К *пористым* материалам на твердой основе относятся ячеистые бетоны, пеностекло и др.

К *пористо-упругим* звукопоглощающим материалам относятся минераловатные, стекловатные, древесно-волокнистые, пенопласты.

К *мембранным* материалам и изделиям относятся тонкие панели из фанеры, жесткие древесно-волокнистые плиты, плотный картон, звуконепроницаемые ткани.

Перфорированные звукопоглощающие изделия представлены плитами и панелями с симметрично расположенными отверстиями одного диаметра или с беспорядочно расположенными отверстиями разного диаметра.

Волокнистые акустические плиты изготавливают из минераловатного, стеклянного или асбестового волокна на фенолоформальдегидном или крахмальном связующем. Звукопоглощение их составляет 0,5–0,8. Применяют эти изделия для облицовки потолков и стен зданий общественного назначения.

Плиты акминит и акмигран являются отделочными звукопоглощающими изделиями, изготовленными из гранул минеральной или стеклянной ваты на крахмальном связующем. Плотность – 320–360 кг/м³, а звукопоглощение – 0,2–0,8. Плиты выпускают размером 300×300×300 мм окрашенными с лицевой стороны. Применяют эти плиты для внутренней облицовки помещений, в условиях с влажностью до 70–80 %.

Хорошим звукопоглощающим материалом, и одновременно облицовочным, являются древесно-волокнистые плиты, которые применяются внутри общественных и культурно-бытовых зданий.

Из легкого газосиликата изготавливают звукопоглощающие плиты и плитки типа силакпор, имеющие звукопоглощение 0,6–0,8. Плотность применяемого газосиликата – около 500 кг/м³.

14.2. Звукоизоляционные материалы

Звукоизоляционные материалы применяют для изоляции помещений от распространения ударного переноса звука и частично для поглощения воздушного переноса звука. Они обычно используются в виде

прокладочных слоев в конструкциях внутренних стен (перегородок) и междуэтажных перекрытий зданий.

Звукоизоляция всегда связана с характером конструкций, а те – только со структурой и свойствами материала, как при звукопоглощении. Если конструкции однородные, например, в виде сплошной плиты, совершающей колебательные движения всей массой под влиянием колебания звука, то звуковая изоляция возрастает с увеличением массы однородной конструкции. Если конструкции неоднородны, состоят из двух или большего числа слоев с инородными прослойками между ними, то колебания каждого слоя под влиянием звуковой волны отличаются, и они постепенно «гасятся» в конструкциях.

Важной характеристикой качества прокладочного материала является его жесткость. Жесткость определяется динамическим модулем упругости. Чем он ниже, тем больше ударных шумов поглощает прокладочный материал. По величине модуля упругости различают три класса звукоизоляционных материалов:

I – пористо-волокнистые материалы (до 1 МПа),

II – пористо-губчатые материалы (от 1–5 МПа),

III – песок, доменный шлак, керамзит (от 5 до 15 МПа).

Другой характеристикой звукоизоляционного материала является деформативность – способность сжиматься под нагрузкой, обычно она равна 1 МПа. По этой характеристике звукоизоляционные материалы разделяются на мягкие – относительная деформация более 15 %, полужесткие – 5–15 %, жесткие – менее 5 %, твердые – около 0 %.

К звукоизоляционным материалам с пористо-волокнистой структурой относятся минераловатные и стеклянные маты и полужесткие плиты на синтетической связке, древесно-волокнистые изоляционные и асбестоцементные изоляционные плиты; к материалам с пористо-губчатой структурой – пенопласты из полиуретановых и поливинилхлоридных полимеров и пористой резины; к засыпным материалам – кварцевый песок, шлак, керамзит.

Задания для самопроверки

1. Дайте определение, что такое звукопоглощающий материал и звукопоглощение.
2. Для каких целей применяют акустические материалы? Каковы особенности структуры этих материалов?
3. Приведите примеры звукопоглощающих и звукоотражающих материалов?

15. ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА

Стеклом называют твердый, хрупкий, аморфный, изотропный, прозрачный материал, получаемый из переохлажденных жидких минеральных силикатных расплавов, содержащих стеклообразующие компоненты. В состав стекла входят, %: SiO_2 – 70–75; CaO – 6–7; Na_2O – 15; MgO – 4; Al_2O_3 – 2.

Основным сырьем для производства стекла является чистый кварцевый песок, известняк, доломит, кальцинированная сода или сульфат натрия. В состав стекол для улучшения свойств вводят различные оксиды, например оксид бора (повышает термостойкость), оксид алюминия (повышает прочность и химическую стойкость), оксиды хрома, кобальта, марганца (изменяют цвет стекол). Варка стекла осуществляется при температуре 1400–1500 °С.

Свойства стекол:

предел прочности при сжатии	700	–1000 МПа
предел прочности при растяжении	30	– 60 МПа
плотность	2200	–2600 кг/м ³
теплопроводность	0,5 –	1 Вт/(м · °С)
теплоемкость	0,63–	1,05 кДж/(кг · °С)
температура плавления	1000 °С	
стекла пропускают	более 84 %	лучей видимого спектра

По назначению различают строительное стекло (оконное, узорчатое, стеклоблоки), тарное, техническое (кварцевое, светотехническое).

15.1. Основы производства изделий из стекла

Производство строительного стекла состоит из подготовки сырьевых материалов (дробление, помол, сушка, просеивание и др.), приготовления шихты определенного химического состава, варки стекла, формования изделий и их отжига.

Варят стекло в стеклоплавильных печах непрерывного (ванновые печи) или периодического (горшковые печи) действия. Стекловарение завершается студкой стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, необходимую для формования изделий.

Формование изделий осуществляют различными способами: вытягиванием ленты стекла лодочным и безлодочным способами, прокатом, литьем, прессованием, выдуванием.

Вытягиванием изготавливают листовые стекла толщиной 2–6 мм, стеклянные трубы, стекловолокно. Сущность лодочного способа получения листового стекла заключается в следующем. В бассейн (он

обычно имеет длину 5–6 м при глубине 1,2–1,5 м) с готовой стекломассой, охлаждаемой до температуры, соответствующей необходимой вязкости (не ниже 10^2 Пас) погружается лодочка. Лодочка – это длинный прямоугольный шамотный брус со сквозным продольным вырезом, переходящим в верхней части в узкую щель. Под влиянием гидростатического напора стекломасса выдавливается через щель; растекания при этом не происходит. Если опустить на стекломассу, выдавливаемую из щели лодочки, горизонтально подвешенную стальную раму – «приманку», а затем оттягивать ее вверх с помощью валиков специальной машины ВВС (вертикального вытягивания стекла), то за приманкой потянется лента стекла. Отформованная лента стекла охлаждается и отжигается в шахте машины. После выхода из шахты от нее отрезают листы требуемых размеров.

При безлодочном способе (вертикальном и вертикально-горизонтальном) в стекломассу погружают огнеупорный поплавок со сквозной щелью или без нее. Поплавок способствует созданию направленного потока стекломассы, помогающего стабилизировать формирование ленты стекла. При этом способе лента стекла поднимается непосредственно со свободной поверхности стекломассы с помощью бортоформирующих роликов.

Методом проката, при котором стекломасса сливается на гладкую поверхность и прокатывается валками с гладкой или узорчатой поверхностью, изготавливают крупноразмерное листовое стекло (гладкое и узорчатое), коврово-мозаичные плитки, а также стекло, армированное металлической сеткой.

Стекло с высоким качеством поверхности и утолщенное (8–30 мм) получают эффективным флоат-способом. При этом способе формирование ленты стекла происходит на поверхности расплавленного олова в результате растекания стекломассы. Такое стекло не нуждается в последующей полировке, имеет ровные края.

Прокатывая стекло и загибая его края в форме швеллера или коробки, получают профильное стекло. При изготовлении труб используют способ вальцевания, при котором непрерывная струя стекломассы поступает на вращающийся вал, распределяется по его поверхности по спирали, затем развальцовывается и разглаживается с помощью роликов.

Методом прессования в формах с помощью керн (пуансона), создающего давление на стекломассу, изготавливают изделия крупных размеров и большой толщины (стеклоблоки). Методом центробежного формирования (частота вращения форм 800–1200 об/мин) изготавливают цилиндры, трубы, свето- и радиотехнические приборы.

Отформованные изделия обязательно отжигают для уменьшения внутренних напряжений в специальных печах или в шахтах машин ВВС.

Если стекло нагреть до пластичного состояния, а затем резко охладить его, то можно вызвать появление равномерно распределенных остаточных напряжений, которые придают стеклу повышенную механическую прочность при ударе и изгибе, повышенную термостойкость. Этот процесс называют закалкой; для закалки используют электрические печи или шахтные закалочные агрегаты. Высокопрочные стекла получают путем химического и термохимического упрочнения его поверхности.

Некоторые стеклоизделия подвергают декоративной обработке, в частности напылению стеклопорошков плазменной горелкой на их подложки (листовое стекло, посуду). Листовое стекло шлифуют, полируют. Отходы шлифования можно использовать при производстве автотканых силикатных материалов.

Разновидности ИСК, вяжущая часть которых представлена затвердевшим неорганическим стеклорасплавом, называют стеклоконгломератами. Их изготавливают пока в небольшом объеме, например стеклокремнезит, стекломрамор, стеклошамотный огнеупор. Общие закономерности формирования их структуры соответствуют общей теории ИСК. В качестве заполнителей могут использоваться отходы от ремонта различных печей (динасовые, шамотные, магнезитовые, шпинелевые и др.), а также горные породы: кварцевый песок, мраморная крошка и др. Стекломасса при затвердевании вступает в физико-химическое взаимодействие с заполнителями, вследствие чего образуются пограничные контактные зоны. Изготовление стеклоконгломератов может производиться по двум принципиальным технологическим схемам:

1) расплав стекломассы в минимально необходимом количестве вводят в плотную смесь огнеупорных заполнителей, температура плавления которых выше, чем у стекломассы (не менее чем на 50 °С), эта смесь перемешивается и формуется с уплотнением в изделие;

2) сырец изготавливают из тонкоизмельченного стекла, плавней, заполнителей, после чего образовавшуюся шихту нагревают до температуры плавления тонкоизмельченного стекла, что способствует цементации огнеупорного заполнителя и сырца в стеклоконгломерат. В качестве вяжущей части можно использовать бой стекла, эрклез и др. Для повышения деформативности, снижения хрупкости применяют соответствующие добавки.

15.2. Разновидности изделий из стекла

Листовое стекло

Листовое стекло получают вытягиванием или прокатом вязкой стекломассы.

Листовое оконное стекло – основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин, наружной и внутренней отделки зданий.

Вытягиванием получают стекло в виде листов толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Выпускают листовое стекло обычно неполированным. Светопропускание его составляет 87–90 %.

Витринное стекло. Этот вид стекла широко применяют для остекления больших поверхностей фасадов торговых помещений, административных зданий. Витринное стекло, как правило, получают прокатом стекломассы и выпускают полированным (во избежание оптических искажений), его толщина – 6–10 мм.

Стекла отражающие тепловые лучи. Этот вид стекла уменьшает нагрев помещений и по своему составу отличается от обычных стекол содержанием оксидов железа, кобальта и никеля, имеет слабый синезеленый оттенок. Эти стекла задерживают 70–75 % инфракрасных лучей, т.е. в 2–3 раза больше, чем обычное стекло.

Увioletовое стекло получают из шихты с минимальными примесями оксидов железа, титана, хрома. Увioletовое стекло пропускает до 75 % ультрафиолетовых лучей, т.е. гораздо больше, чем обычное стекло. Используют это стекло для остекления оранжерей, оконных проемов детских учреждений, больниц.

Армированное стекло. Армируют стекло металлической сеткой из оцинкованной, хромированной или никелированной стальной проволоки и получают путем проката стекломассы. Выпускают армированное стекло плоским и волнистым. Его размеры по длине – 1200–2000 мм, по ширине – 700–1500 мм. Применяют армированное стекло для остекления фонарей верхнего света, перегородок, устройства ограждений балконов.

Закаленное стекло относится к «безопасным стеклам». Получают его путем нагрева до температуры закаливания (540–650 °C) с последующим быстрым охлаждением. Этим добиваются однородного распределения в нем внутренних напряжений. Прочность при ударе и предел прочности при изгибе у этого стекла выше, чем у обычного. Применяют закаленное стекло в витринах, при изготовлении стеклянных дверей, лестничных ограждений, перегородок, а также на транспорте.

Многослойные стекла (триплекс) состоят из основных и промежуточных (амортизирующих) слоев. При разрушении осколки оказываются сцепленными с промежуточным слоем.

Термостойкое стекло. Это стекло носит еще название боросиликатное и содержит оксиды бора, рубидия, лития. Термостойкие стекла имеют коэффициент линейного расширения в 2–3 раза меньше, чем обычное стекло. Изделия из таких стекол выдерживают перепады температур до 200 °С.

Кроме того, промышленностью выпускаются стекла, устойчивые к радиоактивным излучениям, электропроводящие стекла, светорассеивающие стекла, стекла, поглощающие тепловые лучи и др.

Облицовочное стекло

Такое стекло широко применяют для отделки фасадов и внутренних помещений зданий. Для облицовочных стекол характерна высокая декоративность (яркие цвета, блестящая поверхность), большая атмосферостойкость и долговечность. К этим стеклам относят стекло для облицовочных панелей (стемалит), марблит, стеклянную эмалированную плитку, стеклянную мозаику, смальту, зеркала.

Стемалит – облицовочный материал для наружной отделки зданий. На внутреннюю поверхность толстого полированного стекла наносят при нагревании непрозрачное покрытие из керамической эмали различного цвета, составляющее единое целое со стеклом.

Марблит представляет собой листы толщиной 12 мм из цветного стекла с полированной лицевой поверхностью и рифленной тыльной. Применяют при внутренней и наружной отделке, а также для устройства подоконников, крышек столов, прилавков и т.п.

Стеклянная эмалированная плитка. Получают ее из отходов листового оконного стекла покрытием стеклоэмалью с последующим обжигом в печи. Размеры плиток – 150×150 мм и 75×150 мм, толщина – 3–5 мм.

Стеклянная мозаика представляет собой ковровую мозаику в виде мелких квадратных плиток 20×20 мм или 25×25 мм из цветного стекла.

Смальту изготавливают из цветной стекломассы отливкой или прессованием крупных плиток толщиной около 10 мм. Из смальты набирают мозаичные картины и орнаментальное панно.

Зеркала изготавливают из полированного стекла толщиной 4–10 мм. На стекло наносят тонкий слой алюминия или серебра, защищенный слоем стеклянной эмали или лака. Применяют зеркала для внутренней отделки.

Стекланные блоки пустотелые получают путем сваривания двух отпрессованных из стекломассы половинок. Блоки имеют размеры до $294 \times 294 \times 98$ мм. Плотность блоков – 800 кг/м^3 , теплопроводность – в среднем $0,46 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, светопропускание – 50–60 %. Применяют стеклоблоки для устройства перегородок, заполнения проемов.

Стеклопакеты – строительные изделия из двух или более листов стекла, соединенных по периметру металлической рамкой. Применяют стеклопакеты для застекления зданий. Окна из стеклопакетов не замерзают при наружной температуре до -40°C , не запотевают и не нуждаются в протирке внутренних поверхностей. Звукопроницаемость окон уменьшается в 2–3 раза.

Стекланные трубы получают способом вертикального или горизонтального вытягивания и центробежным формованием.

Их выпускают диаметром 0,1–40 мм (тонкостенные) и 50–200 мм (толстостенные), длиной 1–3 м. Эти изделия рассчитаны на температуру жидкости до 120°C и давление 0,3 МПа. Применяют стекланные трубы в пищевой, медицинской, химической промышленности.

Кроме указанных изделий, из стекла выпускают также дверные полотна, стеклокристаллит, облицовочные стекланные плитки.

15.3. Ситаллы и шлакоситаллы

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, получаемые из стекла в результате его полной или частичной кристаллизации. Размер кристаллов – несколько микрометров, а прослойка стеклофазы – около одного микрометра. Таким образом, строение ситаллов напоминает микробетон, где заполнителем является кристаллическая фаза, а связующим – прослойка стекла между кристаллами. При этом микрочастицы кристаллической фазы равномерно распределены в стекле.

В качестве катализаторов кристаллизации служат соединения фторидов или фосфатов щелочных или щелочноземельных металлов (CaF_2), а также оксиды – TiO_2 , P_2O_5 и др.

По внешнему виду ситаллы могут быть черного, коричневого, серого, кремового цвета, а также глухими или прозрачными. Кристаллическая структура определяет исключительно высокие физико-механические свойства ситаллов. Предел прочности при их сжатии может достигать 500 МПа и более.

Применяют ситаллы для производства облицовочных плиток, труб и других изделий. Получение ситаллов предложено И. И. Китайгородским.

Шлакоситаллы – это строительные материалы микрокристаллического строения. Сырьем служат металлургические шлаки. Из расплава шлака формируют изделия методом проката или прессования и направляют на термообработку, где происходит кристаллизация. Шлакоситаллы – очень прочные, плотные материалы серого или белого цвета. Возможна их окраска керамическими красками в любой цвет.

Используют шлакоситаллы при производстве облицовочных плиток, плиток для полов, в качестве защитной оболочки строительных конструкций зданий и сооружений. По долговечности шлакоситаллы могут конкурировать с лучшими природными каменными материалами – гранитом, габбро и др. Получение шлакоситаллов предложено И. И. Китайгородским совместно с К. Т. Бондаревым.

15.4. Литые каменные материалы

Из расплавленных горных пород методом литья можно получать разнообразные строительные материалы. Это производство получило название петрургии. Сырьем для каменного литья служат легкоплавкие горные породы: базальт, диабаз и др. Изделия имеют темный цвет. Для светлого каменного литья используют осадочные, главным образом карбонатные горные породы.

С целью ускорения процесса кристаллизации в расплав добавляют так называемые минерализаторы или затравки (хромит, магнезит). Температура плавления массы 1400–1500 °С. Расплав при температуре 1300 °С разливают в формы или прокатывают на специальных станах или центрифугах. Для понижения температуры плавления массы и уменьшения вязкости расплава применяют добавки-плавни, например плавиковый шпат.

Изделия из каменного литья обладают высокой плотностью и прочностью. Плотность их составляет 2900–3000 кг/м³. Вследствие малой пористости (1–2 %) и замкнутого ее характера, плавленные изделия почти не поглощают воду. Литые изделия морозостойки, хорошо сопротивляются коррозии, в том числе действию концентрированных серной и соляной кислот. Высокая долговечность сочетается с большой прочностью. Предел прочности при сжатии составляет 200–240 МПа, при изгибе – 40–50 МПа и при растяжении – 20–30 МПа. Истираемость каменного литья составляет всего 0,7 г/см², т.е. в 3–5 раз меньше, чем, например, у гранита, базальта, диабаза. Все

это позволяет применять литые изделия в качестве облицовочных плиток, плиток для полов, труб, кислотоупорных материалов, которые эксплуатируются в особо тяжелых условиях. Диэлектрические свойства каменного литья позволяют использовать его при производстве электрических изоляторов.

Задания для самопроверки

1. Сырьевые материалы для получения стекла. Как влияет состав сырьевых материалов на свойства стекла?
2. Виды изделий из стекла, их применение в строительстве. Что такое пеностекло, технология производства, свойства, область применения.
3. Какие материалы и изделия относятся к стеклокристаллическим? Опишите технологию их получения и область применения в строительстве.
4. Что такое каменное литье? Где применяют изделия из каменного литья? Сырье для производства литых каменных и шлаковых материалов, его особенности.

16. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС

Пластмассы изготавливают на основе высокомолекулярных соединений – полимеров. Особенностью пластмасс является способность в процессе переработки принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее.

В зависимости от способа получения полимеры подразделяют на четыре класса: *А – полимеризационные; Б – поликонденсационные; В – полученные модификацией природных полимеров; Г – образовавшиеся в природных условиях и полученные перегонкой органических веществ.*

При реакции полимеризации большое количество одинаковых молекул простых соединений (мономеров) соединяется в одну сложную молекулу (полимер) без выделения побочных продуктов. Примером служат полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен и др.

При реакции поликонденсации из нескольких простых соединений образуется полимер, состав которого отличается от состава исходных продуктов. Процесс сопровождается выделением побочных веществ. Примером могут служить фенолоформальдегидные, карбамидные, полиамидные, полиэфирные и другие синтетические полимеры.

В зависимости от поведения полимеров при нагревании и охлаждении они бывают *термопластичные* и *термореактивные*.

Термопластичные полимеры могут многократно размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении. К этой группе относится большинство полимеризационных материалов.

Термореактивные полимеры затвердевают при действии теплоты и давлении и не размягчаются при повторном нагреве. К этому виду полимеров относятся эпоксидные полимеры, карбамидные и др.

При производстве пластмасс кроме полимеров используют порошкообразные, волокнистые или слоистые наполнители. Это придает им высокую прочность, теплостойкость, долговечность. Кроме того, при производстве пластмасс, для улучшения формовочных свойств, применяют пластификаторы (дибутилфтолат, олеиновая кислота). Для сокращения времени отверждения пластмасс и ускорения технологического процесса вводят отвердители. Иногда в состав пластмасс вводят красители. Для придания долговечности пластмассам в их состав вводят термо- и светостабилизаторы (сажа, химические соединения).

16.1. Свойства пластмасс

Плотность. Истинная плотность пластмасс составляет 0,9–1,8 г/см³, т.е. они в 2 раза легче алюминия и в 5–6 раз легче стали.

Средняя плотность пористых пластмасс – 15–30 кг/м³, а плотных – 1800–2200 кг/м³.

Прочность. Предел прочности при сжатии пластмасс колеблется от 100 до 400 МПа.

Теплопроводность плотных пластмасс колеблется от 0,2 до 0,7 Вт/(м · °С), а пористых – от 0,03 до 0,04 Вт/(м · °С).

Пластмассы хорошо окрашиваются, обладают высокой химической стойкостью, легко обрабатываются.

К недостаткам следует отнести низкую теплостойкость (70–200 °С), малую поверхностную твердость, повышенные деформации ползучести, старение.

16.2. Материалы для покрытия полов

К материалам для покрытия полов из пластмасс относятся рулонные и плиточные материалы.

Поливинилхлоридный линолеум изготавливают на тканевой основе или безосновный. Безосновный линолеум может быть одно- и многослойным. Кроме того, производят теплозвукоизоляционный линолеум на пористой или войлочной основе.

Алкидный линолеум выпускают на тканевой основе одноцветным или многоцветным.

Нитроцеллюлозный линолеум представляет собой безосновный рулонный материал. Цвет его обычно красный или коричневый.

Релин (резиновый линолеум) представляет собой двухслойный рулонный материал, в котором в качестве основного подстилающего слоя используют вулканизированную смесь дробленной старой резины и нефтяного битума с некоторым количеством асбеста и отходов хлопчатобумажного волокна. Верхний лицевой слой релина, более тонкий (1–1,5 мм) и прочный, состоит из цветной резины на синтетическом каучуке с наполнителем.

Синтетический ворсовый ковер на вспененной латексной основе – двухслойный рулонный материал, в котором верхнее износостойкое покрытие выполнено из полиамидной (капроновой) ткани, а подоснова – из вспененного натурального или синтетического латекса.

Ворсолин (ворсовый линолеум) – нетканый двухслойный рулонный материал, верхним слоем которого является петельный ворс из синтетической (полипропиленовой) пряжи, а нижним – поливинилхлоридная пленочная основа.

Поливинилхлоридные плитки выпускают различных цветов размером 300×300 или 200×200 мм при толщине 1,5–3 мм.

Кумароновые плитки выпускают таких же размеров, но толщина их в 1,5–2 раза больше. Они достаточно прочны, водостойки, хорошо сопротивляются истиранию.

Резиновые плитки получают из того же материала, что и релин. Плитки имеют размер 300×300 и 500×500 мм при толщине 3,5–10 мм. Применяют их в промышленных и общественных зданиях для устройства полов.

16.3. Конструкционные материалы

В качестве этих материалов используют такие армированные пластмассы, как стеклопластики, сотопласты, а также органическое стекло, винипласт листовой.

Стеклопластики получают из связующего – синтетических смол и наполнителя – стеклянного волокна.

Стеклотекстолит – материал, который получают прессованием пакета из стеклоткани, пропитанной фенолоформальдегидными смолами.

Древеснослоистый пластик получают горячим прессованием пакетов из нескольких слоев древесного шпона, пропитанного синтетическими смолами.

Указанные материалы применяют в качестве волнистой кровли, отделочных листов и плиток при облицовке стен, перегородок, потолков.

Органическое стекло (полиметилакрилат) представляет собой высокопрочный, светостойчивый легкий материал. Применяется оргстекло для устройства перегородок, световых проемов, колпаков и в других целях.

Пластмассы применяют также для производства отделочных материалов, погонажных изделий, труб и санитарно-технических изделий, а также различных клеев и мастик.

Отделочные материалы на основе пластмасс выпускаются в виде панелей, плиток и рулонных материалов (изоплен, повинол, винистон).

К *погонажным* строительным изделиям, изготавливаемым на основе полимеров, относятся плинтуса, поручни для лестниц, балконов, наличники дверные и оконные, оконные рамы.

Пластмассовые трубы выпускают из полиэтилена, поливинилхлорида и других полимеров. Трубы выпускают диаметром 6–150 мм с толщиной стенок 2–8 мм. Рассчитаны они на давление до 1,2 МПа. Отрицательным свойством труб из пластмасс является низкая теплостойкость.

Широко применяются пластмассы для изготовления санитарно-технических изделий.

На основе пластмасс получают мастики и различные клеи, например эпоксидные, бустилат, клей 88-Н и др. Применяют эти клеи при требовании особой прочности склеивания.

Наряду с высоким качеством, клеи и мастики на основе полимеров имеют высокую стоимость.

Задания для самопроверки

1. Что называют полимерами и из какого сырья их получают? Приведите примеры. Какие существуют методы переработки пластмасс в изделия?

2. Какие полимеры относятся к полимеризационным, какие – к поликонденсационным? Приведите примеры. Опишите получение, свойства и применение этих полимеров.

3. Какие есть виды линолеума? Как их изготавливают и где применяют в строительстве?

4. Какие материалы из полимеров применяют для отделки стен? Какие особенности их свойств? Опишите сущность деструкции и старения полимерных материалов.

5. Опишите тепло- и звукоизоляционные материалы на основе полимеров, технологию их производства.

6. Что такое погонажные изделия, из каких материалов и как их изготавливают?

7. Виды пластмассовых труб. Их преимущества и недостатки по сравнению с металлическими.

17. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

17.1. Классификация лакокрасочных материалов

Лакокрасочными называют природные или синтетические материалы, наносимые в жидком состоянии на поверхность изделия тонким слоем и образующие после отверждения покровные пленки.

Наносят лакокрасочные покрытия в целях защиты конструкций и изделий от вредного воздействия атмосферы, пара; предохранения от коррозии, загнивания, возгорания; создания необходимых санитарно-гигиенических условий в помещениях, а главное – для повышения архитектурно-художественной выразительности.

К лакокрасочным материалам относят не только красочные составы, лаки и эмали, но и вспомогательные материалы – шпаклевки и грунтовки, растворители и разбавители красок, пластификаторы, отвердители и некоторые специальные добавки.

Основными компонентами лакокрасочных материалов служат связующие вещества, пигменты и наполнители.

Лакокрасочные материалы различают по виду, химическому составу, назначению применительно к условиям эксплуатации и по назначению в покрытии.

По виду их подразделяют на лаки, краски (сухие, густотертые или готовые к употреблению), эмали, грунтовки и шпатлевки.

По химическому составу лакокрасочные материалы в зависимости от пленкообразующего вещества подразделяются на масляные (МА), нитроцеллюлозные (НЦ), алкидно-акриловые (АС) и другие.

По назначению применительно к условиям эксплуатации лакокрасочные материалы классифицируются на девять групп: атмосферостойкие; ограниченно атмосферостойкие; консервационные; водостойкие; специальные (светящиеся, терморегулирующие и др.); маслостойкие; химическистойкие; термостойкие; электроизоляционные.

17.2. Компоненты для производства лакокрасочных материалов

Пигменты и наполнители

Они предназначены для придания красочным составам определенного цвета, непрозрачности, улучшения свойств и увеличения долговечности в эксплуатации.

Пигменты – тонкоизмельченные цветные порошки, нерастворимые в воде, органических растворителях и связующих материалах, но способные хорошо с ними смешиваться, образуя красочные составы. Пигменты делятся на минеральные и органические; минеральные, в

свою очередь, – на природные и искусственные. Пигменты характеризуются укрывистостью, т.е. расходом в граммах для покрытия 1 м² поверхности; определенной маслосемкостью, т.е. количеством связующего, которое необходимо добавить к 100 г пигмента, чтобы получить красящую пасту требуемой консистенции.

Природные минеральные пигменты получают путем помола цветных горных пород. Белый пигмент – мел; желтый – охра, представляющая собой глину с небольшим количеством оксида железа; красный – железный сурик с содержанием более 75 % оксида железа; коричневый – умбра, т.е. глина, окрашенная оксидом железа и марганца; черный – графит и марганцевая руда.

Искусственные минеральные пигменты получают путем химической переработки минерального сырья. Среди белых пигментов широко распространены цинковые и титановые белила; желтых – крон цинковый и свинцовый; красных – сурик свинцовый; синих – ультрамарин; зеленых – оксид хрома, зелень цинковая и свинцовая; черных – газовая сажа.

Металлические порошки в виде алюминиевой (серебристой) и бронзовой (золотистой) пудры применяют для окраски металлических поверхностей.

Искусственные органические пигменты представляют собой цветные порошки, полученные осаждением анилиновых органических красителей на каком-либо белом наполнителе (каолине, шпате или тальке). Из-за низкой светостойкости используют их в основном для внутренней отделки.

Наполнители – нерастворимые минеральные вещества, в большинстве случаев имеющие белый цвет и добавляемые в красочные составы для экономии пигментов и для придания им особых свойств, например, повышенной прочности, кислото- и огнестойкости и т.д. В качестве наполнителей для красочных составов применяют каолин, молотый тальк, пылевидный кварц, асбестовую пыль, слюду и другие измельченные материалы.

Связующие вещества

Связующими называют вещества, создающие с пигментами красочные составы и образующие после высыхания на окрашенной поверхности тонкую пленку декоративного или антикоррозионного назначения. Связующие делятся на три группы: для масляных составов, для водных составов и эмульсионные.

Связующими для масляных составов служат высыхающие растительные или минеральные масла, синтетические смолы и масляные лаки.

Олифа представляет собой масляную жидкость, которая после нанесения на поверхность высыхает, образуя прочную эластичную пленку. Олифа бывает натуральная, полунатуральная и искусственная.

Натуральные олифы получают путем варки растительных масел при температуре около 200 °С с введением сиккативов – окислителей, способствующих ускорению высыхания олифы. Натуральная олифа обладает высоким качеством, но дорогостоящая.

Полунатуральные олифы (уплотненные) состоят наполовину из уплотненных (сгущенных нагреванием) растительных масел и наполовину из летучих органических растворителей (уайт-спирита, сольвента). Полунатуральные олифы выпускают следующих видов: олифа оксоль, олифа полимеризованная, олифа оксоль-смесь. Полунатуральные олифы обладают меньшей стоимостью, но и меньшей долговечностью.

Искусственные олифы изготавливают из нефтепродуктов без введения растительных масел (сланцевая олифа) или с введением их до 35 % (глифталевая олифа). Эти олифы имеют темный цвет и обладают сравнительно низкой атмосферо- и влагостойкостью. Применяют их для внутренней окраски металлов, дерева и штукатурки.

Лаки масляные получают растворением природных или искусственных смол в высыхающих растительных маслах, содержащих сиккативы и растворители. Смола придает пленке покрытия блеск и твердость, сиккативы обеспечивают быстрое высыхание, а растворители – необходимую малярную консистенцию.

Масляные лаки применяют в качестве связующего для приготовления эмалевых красок, характеризующихся повышенной стойкостью к атмосферным воздействиям.

Связующие для водных красочных составов по своему происхождению могут быть минеральными, животными, растительными, искусственными и синтетическими.

В большинстве случаев, кроме некоторых минеральных связующих, пленка на окрашиваемой поверхности образуется за счет испарения из красочного состава воды.

Минеральные связующие: портландцемент, известь и жидкое калиевое стекло.

Портландцемент не должен содержать комков, целесообразно применять белый портландцемент.

Строительная известь в водных красочных составах является одновременно белым пигментом и связующим.

Жидкое стекло служит связующим в силикатных красочных составах, которыми окрашивают фасады зданий и поверхности внутренних помещений.

Клеи. К группе связующих, используемых для приготовления водных красочных составов, относят животные, растительные, искусственные и синтетические клеи.

Животный клей бывает костный и мездровый.

Казеиновый клей – порошок, состоящий из смеси казеина, гашеной извести и минеральных солей. Применяют его в качестве связующего в красочных составах со щелочестойкими пигментами, а также для клеевых грунтовок и шпаклевок.

Растительный клей получают путем заваривания в кипятке крахмала, муки или декстрина.

Синтетические клеи – натрий-карбоксилметилцеллюлоза (КМЦ) и метилцеллюлоза представляют собой раствор искусственных смол в воде.

Эмульсии. Масляные эмульсии изготавливают из олифы, известкового молока и раствора животного клея в эмульгаторах. Использование эмульсионных красочных составов позволяет экономить натуральные олифы.

17.3. Красочные составы

Масляные краски получают путем тщательного растирания в краскотерочных машинах олифы с пигментами. При этом получают густую пасту, называемую густотертой краской. Перед употреблением ее разводят олифой или эмульсионными разбавителями. Кроме того, масляные краски выпускают и в жидкотертом, готовом к применению виде. Масляные краски должны быть однородными, без сгустков, сохранять нормальную консистенцию, по цвету соответствовать эталону. Кроме того, краски должны обладать свето- и атмосферостойкостью, давать ровную, гладкую и прочную пленку.

Высокой атмосферостойкостью и долговечностью обладают краски на натуральных олифах с применением свинцового сурика, свинцовых белил и других стойких минеральных пигментов. Эти краски служат для защиты стальных конструкций от коррозии, деревянных элементов – от увлажнения.

Краски на искусственных олифах значительно дешевле, но менее долговечны, поэтому их используют преимущественно для окраски поверхностей внутренних частей зданий (за исключением полов).

Лаки представляют собой растворы природных или искусственных смол в летучих растворителях. При нанесении тонкого слоя лака на какую-либо поверхность растворитель испаряется и образуется прочная, бесцветная, блестящая или матовая пленка.

В зависимости от вида пленкообразующего вещества лаки разделяют на масляно-смоляные, безмасляные синтетические, битумные, спиртовые и нитролаки.

Эмалевые краски (эмали) изготавливают путем перетирания сухих пигментов с алкидными и другими лаками. Эмалевые краски быстро высыхают и имеют высокую свето-, водо- и антикоррозионную стойкость.

Водоразбавляемые краски выпускают на минеральной основе, клеевые, вододисперсионные (латексные) и полимерцементные.

Краски на минеральной основе бывают:

- *цементные*, состоящие из щелочестойких пигментов и цемента. Применяют их для наружной окраски камня, кирпича, бетона, штукатурки, а также для окраски внутренних помещений с повышенной влажностью;

- *известковые*, когда в известковое молоко вводят минеральные щелочестойкие пигменты и в небольшом количестве поваренную соль или хлористый кальций. Применяются эти краски для покрытия фасадов зданий;

- *силикатные*, представляющие собой сухую смесь щелочестойких пигментов с молотым мелом, затворяемые перед применением раствором калиевого жидкого стекла ($K_2O - nSiO_2$). Применяют их для окраски фасадов зданий, кирпичных и оштукатуренных поверхностей внутренних помещений.

Клеевые краски состоят из смеси пигментов и молотого мела, затворенных водными растворами животного или растительного клея.

Казеиновые краски выпускают в виде сухой смеси щелочестойкого пигмента, казеина, мела, извести и буры. Затворяют смесь горячей водой. Применяют краски для окрашивания наружных и внутренних оштукатуренных или бетонных поверхностей.

Краски вододисперсионные (латексные) – пигментированные водные эмульсии различных полимеров (поливинилацетатные, стиролбутадиеновые и др.). Выпускают их в пастообразном состоянии, а перед применением разводят водой. Высыхают краски в результате распада эмульсии и удаления воды при испарении и поглощении пористой поверхностью.

Летучесмоляные краски – суспензии пигментов в лаках (летучесмоляных составах). Эти краски обычно называют эмалями. В строительстве используют перхлорвиниловые и эфирцеллюлозные краски, которые высыхают за счет испарения летучего растворителя.

17.4. Вспомогательные материалы

Растворители представляют собой жидкости, применяемые для придания красочным составам необходимой малярной консистенции. В зависимости от назначения их разделяют на растворители для масляных красок (бензин, уайт-спирит, скипидар), для глифталевых и битумных лаков и красок (солвент, скипидар), для перхлорвиниловых красок (ацетон), для клеевых и водоэмульсионных красок (вода).

Разбавители служат для уменьшения вязкости густотертых красок или разведения сухих минеральных красок. В отличие от растворителей разбавители содержат пленкообразователь в количестве, необходимом для получения качественного лакокрасочного покрытия. В качестве разбавителей служат олифы и различные эмульсии.

Сиккативы – растворы металлических солей жирных кислот в органических растворителях. Сиккативы добавляют в количестве 5–8 мас. % к олифам и масляным красочным составам для ускорения высыхания их пленок.

Шпатлевки служат для выравнивания поверхностей, подлежащих окраске. Они бывают гипсовые, клеевые, масляные и лаковые.

Грунтовки обеспечивают сцепление покрытия с окрашиваемой поверхностью.

Замазки представляют собой пастообразные составы, служащие для промазывания оконных переплетов при остеклении и т.д. В их состав входят: олифа натуральная, мел, сурик или свинцовые белила.

Задания для самопроверки

1. Какие составы называют лакокрасочными? Для каких целей применяют лаки и краски?

2. Что такое пигменты? Какие свойства пигментов? Наиболее широко применяемые пигменты. В чем отличие растворителей от разбавителей красочных составов? Для каких целей в красочные составы вводят наполнители? Какие чаще всего применяются наполнители?

3. Какие бывают лаки и как их изготавливают? Для каких целей их применяют? Чем отличаются эмали от лаков? Для каких целей применяют асфальтовые и пековые лаки?

18. ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Отделочные материалы и изделия применяются для повышения эксплуатационных и декоративных качеств зданий и сооружений, а также для защиты строительных конструкций от атмосферных и других воздействий. К таким материалам относятся отделочные растворы и бетоны, природные и искусственные каменные материалы, отделочная керамика, лакокрасочные материалы, материалы и изделия на основе древесины, бумаги, стекла, пластмасс, металлов.

В зависимости от условий эксплуатации отделочные материалы делятся на материалы для *внутренней* отделки (обои, ДВП), материалы для *наружной* отделки (отделка бетоном и раствором, керамикой, стеклом), материалы и изделия для *покрытия полов* (керамические и ПВХ плитки, линолеум).

По назначению отделочные материалы условно можно разделить:

- *собственно отделочные*, которые применяют в основном для создания декоративных и защитных покрытий (лаки, краски, обои, линолеум);

- *конструкционно-отделочные*, которые могут дополнительно выполнять функции ограждающих конструкций (декоративный бетон, лицевой кирпич, стеклоблоки, стеклопрофилит);

- *специальные отделочные*, выполняющие определенные функции (кислотостойкие керамические материалы, акустическая штукатурка, штукатурка против радиоактивного излучения).

Кроме того, все отделочные материалы можно разделить на природные (камень, дробленый материал) и искусственные (керамика, растворы, бетоны). По природе и виду основного сырья они бывают неорганические (стекло, керамика, бетоны) и органические (пластмассы, изделия из древесины).

18.1. Функциональные свойства отделочных материалов

Эти свойства обеспечивают выполнение эстетических (декоративных) требований, а также защитных (паропроницаемость, водонепроницаемость), способствующих созданию комфортных условий внутри помещений. К эстетическим требованиям относятся фактура, цвет, цветостойкость покрытий.

Фактура отделочных слоев может быть гладкой, бугристой и рельефной. Если поверхность характеризуется высотой неровности до 5 мм, фактура считается гладкой. При неровностях высотой 5–12 мм фактура считается бугристой. С рельефной фактурой считают

поверхности, у которых поперечное сечение имеет профиль определенной формы.

Цвет материалов характеризуется цветовым тоном (фоном), насыщенностью (чистотой) и светлотой. Цветовой фон определяется длиной волны отраженного светового луча, насыщенность – степенью отличия цветового тона от ахроматического (серого), равного ему по светлоте, и выражается в процентах. Светлота (яркость) характеризуется коэффициентом отражения, который для абсолютно белого цвета принимается за 100, а для черного – 0 %. В проектах обычно указываются требуемые значения цветового фона, насыщенности и светлоты.

Соответствие цвета отделочного материала заданному достигается с помощью специальных приборов (колориметров) или атласов цветов. С помощью приборов различаются около 13 тыс. цветов, а для практических целей достаточно использовать до 500 цветов, содержащихся в атласах.

Цветостойкость – способность материала сохранять первоначальный цвет в течение длительного срока эксплуатации. Наиболее высокими показателями характеризуются природные каменные материалы, а также некоторые искусственные (керамика, стекло). Это явление объясняется особенностями строения электронных оболочек элементов – хромофоров, которые входят в состав цветных природных минералов. Наиболее подвержены изменению цвета твердеющие цветные цементы, вследствие выделения извести.

К защитным свойствам относятся паропроницаемость и водонепроницаемость:

– *паропроницаемость* характеризуется коэффициентом, который равен количеству водяного пара, в граммах, проникающего в течение 1 с через поверхность в 1 м^2 при толщине образца 1 м и разности в упругости пара с одной и другой стороны образца, равной 1 Па;

– *водонепроницаемость* отделочных слоев предопределяет влажностный режим конструкций, особенно при увлажнении их косым дождем.

18.2. Строительно-эксплуатационные свойства

К этим свойствам собственно отделочных материалов относятся: прочность, сцепление отделочного слоя с основанием, трещиностойкость, морозо- и атмосферостойкость.

Прочность при сжатии материалов отделочных слоев колеблется в широких пределах, но должна быть не менее 0,5 МПа. Материалы должны сохраняться при их транспортировке и монтаже, а также

противостоять нагрузкам, вызванным совместной работой слоя с материалом основания в период эксплуатации.

Сцепление отделочного слоя с основанием может быть различным. Причинами отслоения отделочного слоя от основания могут быть сдвиг его по основанию вследствие усадки, а также накопление или замерзание влаги на границе слоя и основания.

Трещиностойкость. Трещины отделочных слоев образуются от действия статических или динамических нагрузок при транспортировании и в процессе эксплуатации, а кроме того, от температурных и усадочных деформаций.

Морозостойкость материала определяется как суммарная величина, состоящая из морозостойкости самого слоя и морозостойкости контактного слоя отделки с конструкцией. Морозостойкость отделочных материалов колеблется в широких пределах, иногда она достигает 100 циклов и более.

Атмосферостойкость отделочного слоя, характеризуемая способностью материала сопротивляться попеременному увлажнению и высушиванию, оказывает влияние на развитие деструктивных процессов. Основным разрушающим агентом служит вода, которая, проникая внутрь материала, расклинивает частицы. Одновременно она может выносить из материала растворимые соединения, а может и вносить вещества, способствующие развитию химической и физической коррозии камня.

К свойствам конструкционно-отделочных материалов относят текстуру, структуру, плотность, пористость, водопоглощение, коэффициент размягчения, износостойкость, морозостойкость, огнестойкость, биостойкость.

Текстура – преимущественная ориентация агрегатов вдоль одного или нескольких направлений. Наличие текстуры придает декоративный вид внешним поверхностям изделий и создает анизотропию свойств.

Структура – особенность строения материала. Она определяется размером зерен, их формой, распределением, направлением и контактом между ними, пористостью.

18.3. Материалы для отделки

Керамика

Керамика – это поликристаллические материалы, получаемые спеканием природных глин и их смесей с минеральными добавками, а также оксидов металлов и других тугоплавких соединений.

Облицовочная керамика включает материалы для наружной облицовки (лицевой кирпич и облицовочные камни, фасадные плиты и плитки, терракоту), для внутренней облицовки зданий (плиты и плитки), для дорог и полов (плиты и плитки).

Терракотовыми называют однотонные неглазурованные естественно окрашенные керамические изделия. К терракоте относятся все неглазурованные керамические изделия, имеющие художественно-декоративные свойства.

Материалы на основе минеральных вяжущих

К этим материалам относятся различные штукатурные составы в виде декоративных растворов и бетонов, а также гипсовые декоративные плиты, плиты из искусственного мрамора, асбестосодержащие материалы.

Отделка декоративными растворами дает гладкую, бугристую или рельефную фактуру поверхности цветного отделочного слоя в процессе формирования изделия.

Изделия из искусственного мрамора получают, используя связующие, наполнитель и пигмент. Иногда применяется органическое связующее, а в качестве наполнителей – искусственные цветные материалы.

Стеклом называют вещество, характеризующееся аморфной структурой, полученной переохлаждением силикатного расплава. В результате значительного увеличения его вязкости процесс кристаллизации не протекает. Поэтому стекло можно назвать переохлажденной жидкостью.

Стекло в качестве отделочного материала представлено в виде листового строительного стекла (полированное, армированное), в виде стеклопакетов, а также архитектурно-строительных изделий (стеклопрофилит, стеклоблоки, зеркальное стекло, коврово-мозаичные стеклянные плитки, стеклянная мозаика).

Ситаллы и шлакоситаллы, представляющие собой стеклокристаллические материалы, используются для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений, а также в качестве материала для устройства полов.

Материалы, получаемые способом *каменного литья*, называют петругическими. Для этого используют расплавленные горные породы, смеси осадочных пород, металлургические шлаки. Цвет материалов, получаемых каменным литьем, может быть черным, зеленоватым, светло-желтым, белым, серым. Применяют эти материалы для

специальных целей: облицовки стекловаренных и сталеплавильных печей, технологического оборудования.

Древесина и материалы из нее. К отделочным материалам из древесины относятся древесно-волоконистые и древесно-стружечные плиты, собственно сама древесина.

Древесно-волоконистыми плитами (ДВП) называют крупноразмерные листовые изделия, получаемые из измельченной в волокнистую массу древесины с последующей ее тепловой обработкой. В связи с тем, что хвойные деревья имеют в своем объеме до 95 % длинных и прочных волокон, а лиственные – до 65 %, целесообразнее при изготовлении ДВП использовать древесину хвойных пород. Связующим служит каннитофольно-парафиновая эмульсия, осажденная серноокислым алюминием.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) получают склеиванием древесных стружек синтетическим полимером. Расход смолы составляет 6–12 % по отношению к массе сухой стружки. Прессование плит производится при температуре 120–180 °С в течение 4–7 мин.

Собственно древесина используется для внутренней отделки зданий в виде досок, реек, различных архитектурных изделий и т.д.

Наряду с ценными породами древесины, в качестве отделочной применяют и широко встречающиеся породы – березу, бук и др. При этом широко используется текстура древесины. В большинстве случаев древесина покрывается бесцветным лаком. Иногда предварительно она окрашивается в легкие тона морилкой или другими веществами.

Полимерные материалы и изделия

Полимерные материалы по способу получения делятся на полимеризационные и поликонденсационные, а по отношению к действию температуры – на термопластичные и термореактивные.

К отделочным материалам для полов относятся поливинилхлоридные линолеумы и плитки, алкидный линолеум и резиновый (релин).

Для отделки стен, с целью придания им эстетического вида, жилых и общественных зданий используют штучные (плитки, листы, панели), рулонные и пастовые (окрасочные составы) полимерные материалы.

К недостаткам полимерных отделочных материалов можно отнести низкую цветостойкость, старение, горючесть этих материалов.

Задания для самопроверки

1. Какие отделочные материалы применяются для наружной отделки? Особенности их свойств.
2. Какие отделочные материалы применяются для внутренней от-

делки зданий? Предъявляемые к ним требования.

3. Основные функциональные свойства отделочных материалов. Отделочные материалы для полов, особенности свойств.

4. Опишите основные строительно-эксплуатационные свойства отделочных материалов.

6. Приведите пример отделочных материалов на основе минеральных вяжущих. Что такое ситаллы и шлакоситаллы. Для каких целей применяют материалы, получаемые методом каменного литья?

5. Опишите технологию получения поливинилхлоридного линолеума. Что такое релин и где используется? На какие классы делятся полимерные материалы по способу получения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баженов, Ю. М.* Высококачественный тонкозернистый бетон / Ю. М. Баженов // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 24–25.
2. *Баженов, Ю. М.* Многокомпонентные мелкозернистые бетоны / Ю. М. Баженов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2001. – № 10. – С. 24.
3. *Баженов, Ю. М.* Новому веку новые бетоны / Ю. М. Баженов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 2. – С. 10–11.
4. *Боженков, П. И.* Технология автоклавных материалов: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Производство строительных изделий и конструкций» / П. И. Боженков. – Л.: Стройиздат, 1978. – 368 с.
5. *Барина, Л. С.* Прогноз основных тенденций развития рынка строительных материалов в России / Л. С. Барина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 2. – С. 8–11.
6. *Белов, В. В.* Прессованный бетон на основе объединенной сырьевой смеси / В. В. Белов // Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов Академических чтений РААСН, посвященных 75-летию со дня рождения Ю. М. Баженова. – Белгород, 2005. – Ч.1. – С. 51–61.
7. *Бочарников, А.С.* Оценка возможности применения сталефиброоегона в качестве материала для конструкций защитных сооружений / А. С. Бочарников // Строительные материалы оборудование технологии XXI века. – 2005.– № 6. – С. 28–29
8. *Волженский, А.В.* Минеральные вяжущие вещества: учеб. для вузов. / А. В. Волженский. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с.
9. *Горчаков, Г.И.* Строительные материалы: учеб. для вузов / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
10. *Комар, А.Г.* Технология производства строительных материалов / А. Г. Комар, Ю. М. Баженов, Л. М. Сулименко. – М. : Высшая школа, 1990. – 439 с.
11. *Комар, А.Г.* Строительные материалы и изделия : учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов / А.Г. Комар. – М.: Высшая школа, 1983. – 487 с.
12. К проблеме повышения эффективности композиционных вяжущих // Н. И. Алфимова [и др.] / НТЖ «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». №1. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова – 2009. – С. 30–33.
13. *Лесовик, В.С.* Строительные материалы из отходов горнорудного производства Курской магнитной аномалии: учеб. пособие / В. С. Ле-

совик. – М., Белгород, 1996. – 156 с.

14. *Максимов, С. В.* Материалы для конструирования защитных покрытий: учебное пособие / С. В. Максимов, П. Г. Комохов, В. Б. Зверев. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 180 с.

15. *Морозов, Н. М.* Песчаный бетон высокой прочности / Н. М. Морозов, В. Г. Хозин // Строительные материалы. – 2005. – №11. – С. 25–26.

16. *Общий курс строительных материалов: учеб. пособие / под ред. проф. И. А. Рыбьева.* – М.: Высшая школа, 1987. – 584 с.

17. *Попов, К. Н.* Строительные материалы и изделия: учеб. / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М.: Высш. шк., 2002. – 367 с.

18. *Строительные материалы (Материаловедение и Технология): учеб. пособие / под ред. проф. В. Г. Микульского.* – М.: ИАСВ, 2002. – 536 с.

19. *Рыбьев, И. А.* Строительное материаловедение: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И. А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2003. – 701 с.

20. *Рабинович, Ф. Н.* Дисперсно-армированные бетоны / Ф. Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 179 с.

21. *Терехов, В. А.* О некоторых тенденциях развития промышленности строительных материалов / В. А. Терехов // Строительные материалы. – 2001. – №1. – С. 5–12.

22. *Технология и свойства мелкозернистых бетонов : учеб. пособие / Ю. М. Баженов [и др.].* – Алматы : КазГосИНТИ, 2000. – 195 с. – ISBN 9965-9034-6-8.

23. *Технология бетона, строительных изделий и конструкций : учебник / Ю. М. Баженов [и др.].* – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 236 с. – ISBN 5-93093-173-9.

24. *Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / под ред. Е. М. Чернышева, Е. И. Шмитько.* – Воронеж ГАСУ, 2002. – 344 с.

25. *Щукина, Е. Г.* Использование гиперпрессования в технологии безобжигового кирпича / Е. Г. Щукина, Н. В. Архинчеева, А. Д. Цыремпилов // Строительные материалы. – 2000. – № 4. – С. 30–31.

26. Интернет ресурс: <http://labstend.ru>

27. Интернет ресурс: <http://masterhouse.ru>

28. Интернет ресурс: <http://www.ereмонт.ru>

29. Интернет ресурс: <http://www.know-house.ru>

30. Интернет ресурс: <http://www.naremonte.ru>

31. Интернет ресурс: <http://www.remontyia2.ru>

32. Интернет ресурс: <http://www.southernorm.ru>

Учебное издание

Лесовик Валерий Станиславович
Гридчин Анатолий Митрофанович
Алфимова Наталия Ивановна

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Учебное пособие

Подписано в печать 10.09.11. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 13,9

Тираж 500 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова

В. С. Лесовик, А. М. Гридчин, Н. И. Алфимова

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению 270100 – «Строительство»

Белгород
2011

