

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебное пособие

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2021

УДК 691.2; 691.42

С86

Рецензент

доктор технических наук, профессор *Г.В. Несветаев*
(Донской государственной технической университет)

Авторы:

В.Д. Котляр, С.Н. Курилова, И.В. Мальцева, А.А. Наумов

Строительное материаловедение : учебное пособие /
С86 В.Д. Котляр [и др.] ; Донской государственной технической
университет. – Ростов-на-Дону : ДГТУ, 2021. – 123 с.

ISBN 978-5-7890-1954-2

Приведены общие сведения о структуре и основных свойствах строительных материалов, рассматриваются природные каменные материалы, керамические материалы и изделия, неорганические вяжущие и древесина, технология их получения, состав, структура, свойства и области применения.

Предназначено для обучающихся бакалавриата по направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 Строительство и 29.03.04 Технология художественной обработки материалов, а также специалитета по направлению подготовки 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

УДК 691.2; 691.42

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Научный редактор

доктор технических наук, профессор Т.А. Хежев

© Котляр В.Д., Курилова С.Н.,
Мальцева И.В., Наумов А.А., 2021.

© Донской государственной
технической университет, 2021

ISBN 978-5-7890-1954-2

1. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Общие сведения

Материаловедением называют науку, изучающую связь состава, строения и свойств материалов, а также закономерности их изменения при физико-химических, физических, механических и других воздействиях. Всякий материал в конструкциях зданий и сооружений воспринимает те или иные нагрузки и подвергается действию окружающей среды.

Нагрузки вызывают деформации и внутренние напряжения в материале, поэтому проектирование зданий и сооружений требует точных характеристик прочностных и деформативных свойств применяемых материалов, называемых механическими свойствами.

Кроме прочности, строительные материалы должны обладать стойкостью, т. е. способностью сопротивляться физическим и химическим воздействиям среды: воздуха и содержащихся в нем паров и газов, воды и растворенных в ней веществ, колебаниям температуры и влажности, совместному действию воды и мороза при многократном замораживании и оттаивании, воздействию химически агрессивных веществ – кислот, щелочей и др.

Исходя из условий работы материала в сооружении, строительные материалы можно разделить по назначению на две группы [1].

Первую группу составляют материалы универсального типа, пригодные для несущих конструкций: природные каменные материалы; искусственные каменные материалы, получаемые на основе вяжущих веществ без обжига (бетоны, строительные растворы), и получаемые термической обработкой минерального сырья (керамика, стекло, ситаллы, металлы); конструкционные пластмассы; лесные материалы и др.

Вторая группа объединяет строительные материалы специального назначения, необходимые для защиты конструкций от вредных влияний среды, а также для повышения эксплуатационных свойств зданий и создания комфорта: теплоизоляционные материалы; акустические; гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие; отделочные; антикоррозионные и др.

Изделия и конструкции должны обеспечивать долговечность и надежность при длительной эксплуатации.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Предельное состояние определяется разрушением изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность строительных изделий измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и режиме эксплуатации. Например, для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I – соответствует сроку службы не менее 100 лет, II – 50 лет, III – 20 лет [1].

Надежность представляет собой общее свойство, характеризующее проявление всех остальных свойств изделия в процессе эксплуатации. Надежность складывается из безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости. Эти свойства связаны между собой [1].

Безотказностью называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы.

Отказом называют событие, при котором система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность. Потеря работоспособности вызывается такой неисправностью, при которой хотя бы один из основных параметров выходит за пределы установленных допусков.

Ремонтпригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателем ремонтпригодности является среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов.

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

1.2. Связь строения, состава и свойств

1.2.1. Строение и свойства

Знание строения строительного материала необходимо для понимания его свойств и, в конечном итоге, для решения практического вопроса, где и как применить материал, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект.

Строение материала изучают на трех уровнях [2]: 1) макроструктура материала – строение, видимое невооруженным глазом; 2) микроструктура материала – строение, видимое в оптический микроскоп; 3) внутреннее строение веществ, составляющих материал, на молекулярно-ионном уровне, изучаемом методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т. п.

Макроструктура твердых строительных материалов может быть следующих типов: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая (порошкообразная).

Искусственные конгломераты – это обширная группа, объединяющая бетоны различного вида, ряд керамических и других материалов.

Ячеистая структура характеризуется наличием макропор, свойственных газо- и пенобетонам, ячеистым пластмассам.

Мелкопористая структура свойственна, например, керамическим материалам, поризованным способами высокого водозатворения и введением выгорающих добавок.

Волокнистая структура присуща древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты и др. Ее особенностью является резкое различие прочности, теплопроводности и других свойств вдоль и поперек волокон.

Слоистая структура отчетливо выражена у рулонных, листовых, плитных материалов, в частности у пластмасс со слоистым наполнителем (бумопласта, текстолита и др.).

Рыхлозернистые материалы – это заполнители для бетона, зернистые и порошкообразные материалы для мастичной теплоизоляции, засыпок и др.

Микроструктура веществ, составляющих материал, может быть кристаллической и аморфной. Кристаллические и аморфные формы

нередко являются лишь различными состояниями одного и того же вещества. Примером служит кристаллический кварц и различные аморфные формы кремнезема. Кристаллическая форма всегда более устойчива. Чтобы вызвать химическое взаимодействие между кварцевым песком и известью, в технологии силикатного кирпича применяют автоклавную обработку отформованного сырца насыщенным водяным паром с температурой не менее 175 °С и давлением 0,8 МПа. Между тем трепел (аморфная форма диоксида кремния) вместе с известью после затворения водой образует гидросиликат кальция при нормальной температуре 15–25 °С. Аморфная форма вещества может перейти в более устойчивую кристаллическую форму.

Практическое значение для природных и искусственных материалов имеет явление полиморфизма, когда одно и то же вещество способно существовать в различных кристаллических формах, называемых модификациями. Наблюдаются, например, полиморфные превращения кварца, сопровождающиеся изменением объема.

Особенностью кристаллического вещества является определенная температура плавления (при постоянном давлении) и определенная геометрическая форма кристаллов каждой его модификации.

Свойства монокристаллов неодинаковы в разных направлениях. Это механическая прочность, теплопроводность, скорость растворения, электропроводность и др. Явление *анизотропии* является следствием особенностей внутреннего строения кристаллов.

В строительстве применяют поликристаллические каменные материалы, в которых разные кристаллы ориентированы беспорядочно. Подобные материалы рассматриваются как *изотропные* по своим строительно-техническим свойствам. Исключение составляют слоистые каменные материалы (гнейсы, сланцы и др.).

Внутреннее строение веществ, составляющих материал, определяет механическую прочность, твердость, тугоплавкость и другие важные свойства материала.

Кристаллические вещества, входящие в состав строительного материала, различают по характеру связи между частицами, образующими пространственную кристаллическую решетку. Она может быть

образована: нейтральными атомами (одного и того же элемента, как в алмазе, или различных элементов, как в SiO_2); ионами (разноименно заряженными, как в CaCO_3 , или одноименными, как в металлах); целыми молекулами (кристаллы льда).

Ковалентная связь осуществляется обычно электронной парой, образуется в кристаллах простых веществ (алмаз, графит) и в кристаллах некоторых соединений из двух элементов (кварц, карборунд, другие карбиды, нитриды). Такие материалы выделяются очень высокой механической прочностью и твердостью, весьма тугоплавки.

Ионные связи образуются в кристаллах тех материалов, в которых связь имеет преобладающе ионный характер. Распространенные строительные материалы этого типа гипс и ангидрид имеют невысокую прочность и твердость, не водостойки.

В сложных кристаллах, часто встречающихся в строительных материалах (кальцит, полевые шпаты), осуществляются и ковалентная, и ионная связи. Внутри сложного иона CO_3^{2-} связь ковалентная, но сам он имеет с ионами Ca^{2+} ионную связь. Свойства подобных материалов весьма разнообразны. Кальцит CaCO_3 при достаточно высокой прочности обладает малой твердостью. У полевых шпатов сочетаются довольно высокие показатели прочности и твердости, хотя и уступающие кристаллам алмаза с чисто ковалентной связью.

Молекулярные кристаллические решетки и соответствующие им *молекулярные* связи образуются преимущественно в кристаллах тех веществ, в молекулах которых связи являются ковалентными. Кристалл этих веществ построен из целых молекул, которые удерживаются друг около друга сравнительно слабыми вандерваальсовыми силами межмолекулярного притяжения (как в кристаллах льда). При нагревании связи между молекулами легко разрушаются, поэтому вещества с молекулярными решетками обладают низкими температурами плавления.

Силикаты, занимающие особое место в строительных материалах, имеют сложную структуру, обусловившую их особенности. Так, волокнистые материалы (асбест) состоят из параллельных силикатных

цепей, связанных между собой положительными ионами, расположенными между цепями. Ионные силы слабее ковалентных связей внутри каждой цепи, поэтому механические воздействия, недостаточные для разрыва цепей, разделяют такой материал на волокна. Пластинчатые минералы (слюда, каолинит) состоят из силикатных групп, связанных в плоские сетки.

Сложные силикатные структуры построены из тетраэдров SiO_4 , связанных между собой общими вершинами (общими атомами кислорода) и образующих объемную решетку. Это дало основание рассмотреть их как неорганические полимеры.

1.2.2. Состав и свойства

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом [2].

Химический состав строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других технических характеристиках. Химический состав неорганических веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов удобно выражать количеством содержащихся в них оксидов (%). Основные и кислотные оксиды химически связаны между собой и образуют минералы, которые и определяют многие свойства материала.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в вяжущем веществе или в каменном материале. Например, в портландцементе содержание трехкальциевого силиката ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) составляет 45–60 %, причем при большем его количестве ускоряется твердение, повышается прочность цементного камня.

Фазовый состав материала и фазовые переходы воды, находящиеся в его порах, оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации. В материале выделяют твердые вещества, образующие стенки пор, т. е. «каркас» материала, и поры, заполненные воздухом и водой. Если вода замерзает, то образовавшийся в порах лед изменяет механические свойства материала, возникают внутренние напряжения, способные разрушить материал при повторных циклах замораживания и оттаивания.

1.3. Физические свойства

1.3.1. Параметры состояния

Истинная плотность ρ (г/см³, кг/м³) – масса единицы объема абсолютно плотного материала. Если масса материала m , а его объем в плотном состоянии V_a , то

$$\rho = m/V_a. \quad (1.1)$$

Относительная плотность d выражает среднюю плотность материала по отношению к плотности воды (это безразмерная величина).

За немногими исключениями (металлы, стекло, мономинералы) строительные материалы пористы.

Объем пористого материала в естественном состоянии (т. е. вместе с заключенными в нем порами) складывается из объема твердого вещества V_a и объема пор V_n :

$$V_e = V_a + V_n. \quad (1.2)$$

Средняя плотность ρ_o (г/см³, кг/м³, в последующем – плотность) есть масса единицы объема материала в естественном состоянии (объем определяется вместе с порами):

$$\rho_o = m/V_e. \quad (1.3)$$

Значения плотности данного материала в сухом и влажном состоянии связаны соотношением:

$$\rho_{ov} = \rho_{oc}(1 + W_m), \quad (1.4)$$

где W_m – количество воды в материале, доли от его массы.

Плотность пористых материалов всегда меньше их истинной плотности. Например, плотность легкого бетона – 500–1800 кг/м³, а его истинная плотность – 2600 кг/м³.

Плотность строительных материалов колеблется в очень широких пределах: от 15 (пористая пластмасса – мипора) до 7850 кг/м³ (сталь) [3].

Плотность и пористость распространенных строительных материалов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показатели плотности, пористости и теплопроводности
(средние значения) для ряда строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Бетон:				
– тяжелый	2,6	2,4	10	1,16
– легкий	2,6	1,0	61,5	0,35
– ячеистый	2,6	0,5	81	0,2
Кирпич:				
– обыкновенный	2,65	1,8	32	0,8
– пустотелый	2,65	1,3	51	0,55
Природные камни:				
– гранит				
– пеностекло	2,7	2,67	1,4	2,8
- пеностекло	2,7	1,40	52	0,5
Стекло:				
– оконное	2,65	2,65	0,0	0,58
– пеностекло	2,65	0,30	88	0,11
Полимерные материалы:				
– стеклопластик	2,0	2,0	0,0	0,5
– мипора (вспененный полимер)	1,2	0,015	98	0,03
Древесные материалы:				
– сосна				
– древесноволокнистая плита	1,53 1,5	0,5 0,2	67 86	0,17 0,06

Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых или волокнистых материалов (цемента, песка, гравия, щебня, гранулированной минеральной ваты и т. п.). Например, истинная плотность известняка – 2700 кг/м³, его плотность – 2500 кг/м³, а насыпная плотность известнякового щебня – 1300 кг/м³. По этим данным можно вычислить пористость известняка и пустотность щебня, пользуясь приведенными ниже формулами.

1.3.2. Структурные характеристики

Строение пористого материала характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью, распределением пор по их радиусам, средним радиусом пор и удельной внутренней поверхностью пор.

Пористость (Π) – есть степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = V_n / V_e. \quad (1.5)$$

Пористость выражают в долях от объема материала, принимаемого за 1, или в % от объема.

Экспериментальный (прямой) метод определения пористости основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием или другой средой.

Экспериментально-расчетный метод определения пористости использует найденные опытным путем значения плотности высушенного материала, %:

$$\Pi = (1 - \rho_o / \rho) \cdot 100. \quad (1.6)$$

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0 до 98 % (см. табл. 1.1) [3].

Открытая пористость Π_o равна отношению суммарного объема всех пор, насыщающихся водой, к объему материала V_e :

$$\Pi_o = \frac{m_2 - m_1}{V_e} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}}, \quad (1.7)$$

где m_1 и m_2 – масса образца, соответственно, в сухом и насыщенном водой состоянии.

Открытые поры материала сообщаются с окружающей средой и могут сообщаться между собой, поэтому они заполняются водой при обычных условиях насыщения, например, при погружении образцов материала в ванну с водой. Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость.

Закрытая пористость Π_z :

$$\Pi_z = \Pi - \Pi_o. \quad (1.8)$$

Пористый материал обычно содержит и открытые, и закрытые поры; увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает его долговечность. Однако в звукопоглощающих материалах и изделиях умышленно создается открытая пористость и перфорация, необходимые для поглощения звуковой энергии.

Все свойства материала определяются его составом и строением, и, прежде всего, величиной и характером пористости. Это видно из данных табл. 1.1, в которой попарно сопоставлены плотные и пористые материалы, имеющие в основном общий химический состав.

1.3.3. Гидрофизические свойства

Гигроскопичностью называют свойство капиллярно-пористого материала поглощать водяной пар из влажного воздуха. Поглощение влаги из воздуха обусловлено полимолекулярной адсорбцией водяного пара на внутренней поверхности пор и капиллярной конденсацией. Этот физико-химический процесс называется сорбцией и является обратимым. Древесина, теплоизоляционные, стеновые и другие пористые материалы обладают развитой внутренней поверхностью пор и поэтому высокой сорбционной способностью.

Вследствие процессов адсорбции и капиллярной конденсации водяного пара из атмосферы влажность пористых строительных материалов даже после их длительной выдержки в воздухе достаточно велика. Так, равновесная влажность воздушно-сухой древесины составляет 12–18 %, стеновых материалов – 5–7 % по массе. Увлажнение сильно увеличивает теплопроводность теплоизоляции, поэтому стремятся предотвратить увлажнение, покрывая плиты утеплителя гидроизоляционной пленкой.

Капиллярное всасывание воды пористым материалом происходит, когда часть конструкции находится в воде. Так, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Чтобы не было сырости в помещении, устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундаментную часть конструкции стены от ее наземной части.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия воды в материале, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания. Уменьшение интенсивности всасывания отражает улучшение структуры материала (например, бетона) и повышение его морозостойкости.

Водопоглощение – свойство материала поглощать и удерживать воду при непосредственном с ней соприкосновении. Количество по-

глощенной материалом воды, отнесенное к его массе в сухом состоянии, называют водопоглощением по массе, а отнесенное к его объему – водопоглощением по объему.

Водопоглощение по массе W_m (%) определяют по отношению к массе сухого материала по формуле:

$$W_m = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

где m_b – масса образца материала, насыщенного водой (г), m_c – масса образца в сухом состоянии (г).

Водопоглощение по объему W_o (%) – степень заполнения объема материала водой, определяется по формуле:

$$W_o = \frac{m_b - m_c}{V_e} \cdot 100 \%. \quad (1.10)$$

Разделив почленно W_o на W_m , получим:

$$W_o = W_m \cdot d. \quad (1.11)$$

Водопоглощение пористых материалов (бетона, кирпича и др.) определяют по стандартной методике, выдерживая образцы в воде [4]. Температура используемой воды должна быть (20 ± 2) °С. Водопоглощение, определяемое погружением образцов материала в воду, характеризует в основном открытую пористость, так как вода не проникает в закрытые поры. К тому же при извлечении образцов из ванны вода частично вытекает из крупных пор, поэтому водопоглощение обычно меньше пористости. Например, пористость легкого бетона может быть 50–60 %, а его водопоглощение составляет 20–30 % объема.

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах: гранита – 0,02–0,7 %, тяжелого бетона – 2–4 %, кирпича – 8–15 %, пористых теплоизоляционных материалов – 100 % и больше. Водопоглощение по массе высокопористых материалов может быть больше пористости, но водопоглощение по объему никогда не может превышать пористость.

Водопоглощение используют для оценки структуры материала, привлекая для этой цели **коэффициент насыщения пор водой**, равный отношению водопоглощения по объему к пористости:

$$K_n = W_o / \Pi. \quad (1.12)$$

Коэффициент насыщения может изменяться от 0 (все поры в материале замкнутые) до 1 (все поры открытые), тогда $W_o = \Pi$. Уменьшение K_n (при той же пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости, что обычно проявляется в повышении морозостойкости.

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материала, увеличивается плотность, материал набухает, его теплопроводность возрастает, а прочность и морозостойкость понижаются.

Коэффициент размягчения K_p – отношение прочности материала, насыщенного водой R_e , к прочности сухого материала R_c :

$$K_p = R_e / R_c. \quad (1.13)$$

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала, он изменяется от 0 (размокающие глины и др.) до 1 (металлы и др.). Природные и искусственные каменные материалы не применяют в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их коэффициент размягчения меньше 0,8.

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 с через 1 м² поверхности материала при заданном давлении воды. Водопроницаемость зависит от плотности и строения материала. С увеличением количества пор и их диаметра водопроницаемость повышается. При выборе материалов для специальных целей (кровельные материалы, бетоны для гидротехнических сооружений трубы и пр.) чаще оценивают не водопроницаемость, а водонепроницаемость, характеризуемую периодом времени, по истечении которого появляются признаки просачивания воды под давлением через образец испытуемого материала (кровельные материалы), или предельной величиной давления воды, при котором она не проходит через образец (например, бетон).

Водопроницаемость не допускают при строительстве гидро-, технических сооружений, резервуаров, коллекторов, стен подвалов зданий. Стремятся применять достаточно плотные материалы с замкнутыми порами, устраивают гидроизоляционные слои, экраны.

Паропроницаемость и газопроницаемость – способность пропускать водяной пар или газы, воздух.

Она характеризуется коэффициентом паропроницаемости, численно равным количеству водяного пара, проникающего через материал толщиной 1 м площадью 1 м² в течение 1 с, и разностью парциальных давлений пара в 133,3 Па. Аналогичным коэффициентом оценивается и газопроницаемость (воздухопроницаемость). Эти характеристики определяются для комплексной оценки физических свойств

строительного материала или при его специальном назначении. Материалы для стен жилых зданий должны обладать определенной проницаемостью (стена должна «дышать»), т. е. через наружные стены происходит естественная вентиляция. Наоборот, стены и покрытия влажных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения через них водяного пара, особенно зимой, когда содержание пара внутри помещений значительно больше, чем снаружи, и пар, проникая в холодную зону ограждения, конденсируется, резко повышает влажность в этих местах. В емкостях для хранения газов необходима практически полная газонепроницаемость.

Влажностные деформации. Пористые неорганические и органические материалы (бетоны, древесина и др.) при изменении влажности изменяют свой объем и размеры.

Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров материала при его высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала.

Набухание (разбухание) происходит при насыщении материала водой. Полярные молекулы воды, проникая в промежутки между частицами или волокнами, слагающими материал, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц, исчезают внутренние мениски, а с ними и капиллярные силы.

Чередование высыхания и увлажнения пористого материала, часто встречающееся на практике, сопровождается попеременными деформациями усадки и набухания. Такие многократные циклические воздействия нередко вызывают трещины, ускоряющие разрушение. В подобных условиях находится бетон в дорожных покрытиях, в наружных частях гидротехнических сооружений.

Высокопористые материалы (древесина, ячеистые бетоны), способные поглощать много воды, характеризуются большой усадкой (табл. 1.2) [3].

Таблица 1.2

Величина усадки наиболее распространенных стройматериалов

Вид материала	Усадка, мм/м
1	2
Древесина (поперек волокон)	30–100
Ячеистый бетон	1–3

1	2
Строительный раствор	0,5–1,0
Кирпич	0,03–0,10
Тяжелый бетон	0,3–0,7
Гранит	0,02–0,06

Усадка возникает и увеличивается, когда из материала удаляется вода, находящаяся в гидратных оболочках частиц и в мелких порах. Испарение воды из крупных пор не ведет к сближению частиц материала и практически не вызывает объемных изменений.

Морозостойкость – свойство насыщенного водой материала выдерживать попеременное замораживание и оттаивание. Морозостойкость материала количественно оценивается циклами и, соответственно, маркой по морозостойкости. За марку материала по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более 15 %, после испытания образцы не должны иметь видимых повреждений – трещин, выкрашивания (потери массы – не более 5 %). От морозостойкости зависит долговечность строительных материалов в конструкциях, подвергающихся действию атмосферных факторов и воды.

Марка по морозостойкости устанавливается проектом с учетом вида конструкции, условий ее эксплуатации и климата. Климатические условия характеризуются среднемесячной температурой наиболее холодного месяца и числом циклов попеременного замораживания и оттаивания по данным многолетних метеорологических наблюдений.

Легкие бетоны, кирпич, керамические камни для наружных стен зданий обычно имеют морозостойкость F15, F25, F35. Однако бетон, применяемый в строительстве мостов и дорог, должен иметь марку F50, F100, F200, а гидротехнический бетон – F500 [1].

Рассмотрим причины разрушения пористого материала под влиянием совместного действия на него воды и мороза. Для примера возьмем материал, находящийся в ограждающей конструкции – бетон. Осенью наружная часть стены промерзает. В это время происходит миграция – перемещение пара «от тепла к холоду», т. е. пар стремится

наружу, поскольку его давление при отрицательной температуре ниже, чем при положительной. Например, давление пара при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет 2,33 кПа, а при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно равно только 0,27 кПа. Стремясь выйти наружу, водяной пар попадает в зону низких температур и конденсируется в порах возле наружной грани стены. Таким образом, поры наружной промерзающей части стены обводняются, причем вода прибывает сюда как снаружи (дождь с ветром), так и изнутри (миграция водяного пара). При наступлении даже небольших морозов (от -5 до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) вода в крупных порах замерзает и при переходе увеличивается в объеме на 9 % (плотность льда 0,918). Если коэффициент насыщения пор водой хотя бы части пор приблизится к 1, то в стенках пор возникнут большие растягивающие напряжения. Разрушение начинается в виде «шелушения» поверхности бетона, затем оно распространяется вглубь.

Воздействие на бетон попеременного замораживания и оттаивания подобно многократному воздействию повторной растягивающей нагрузки, вызывающей усталость материала.

Испытание морозостойкости материала в лаборатории проводят на образцах установленной формы и размеров (бетонные кубы, кирпич и т. п.) [4]. Перед испытанием образцы насыщают водой. После этого водонасыщенные образцы замораживают в холодильной камере при температуре от -15 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, чтобы замерзла вода в тонких порах. Извлеченные из холодильной камеры образцы оттаивают в воде с температурой $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает водонасыщенное состояние образцов.

1.3.4. Теплофизические свойства

Теплопроводностью называют свойство материала передавать тепло от одной поверхности к другой. Это свойство является главным, как для большой группы теплоизоляционных материалов, так и для материалов, применяемых для устройства наружных стен и покрытий зданий.

Тепловой поток проходит через твердый «каркас» и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха $\lambda = 0,023\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ меньше, чем у твердого вещества, из которого состоит «каркас» строительного материала. Поэтому увеличение пористости материала явля-

ется основным способом уменьшения теплопроводности. Стремятся создавать в материале мелкие закрытые поры, чтобы снизить количество тепла, передаваемого конвенцией и излучением.

На практике удобно судить о теплопроводности по плотности материала. Известна формула В.П. Некрасова, связывающая теплопроводность λ [Вт/(м·°С)] с относительной плотностью каменного материала d :

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16. \quad (1.14)$$

Точное значение λ определяют для данного материала экспериментально.

Влага, попадающая в поры материала, увеличивает его теплопроводность, так как теплопроводность воды [0,58 Вт/(м·°С)] в 25 раз больше, чем теплопроводность воздуха. Замерзание воды в порах с образованием льда еще больше увеличивает λ , так как теплопроводность льда равна 0,1, а льда – 2,3 Вт/(м·°С), т. е. в 4 раза больше, чем воды. При повышении температуры теплопроводность большинства материалов возрастает и лишь у немногих (металлов, магнезитовых огнеупоров) она уменьшается. Показатели теплопроводности для некоторых материалов приведены в табл. 1.1 [3].

Теплоемкость – это способность материала аккумулировать тепло при нагревании и выделять тепло при остывании; определяется количеством тепла, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы повысить его температуру на 1 °С.

Теплоемкость стали – 0,48 кДж/(кг·°С), неорганических строительных материалов (бетонов, кирпича, природных каменных материалов) изменяется в пределах от 0,75 до 0,92 кДж/(кг·°С). Теплоемкость сухих органических материалов (например, древесины) – около 2,39–2,72 кДж/(кг·°С), вода имеет наибольшую теплоемкость – 4,19 кДж/(кг·°С), поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает.

Показатели теплоемкости разных материалов нужны для теплотехнических расчетов.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580 °С и выше), не размягчаясь и не деформируясь. Огнеупорные материалы применяют для внутренней футеровки промышленных печей.

Тугоплавкие материалы размягчаются при температуре выше 1350 °С.

Огнестойкость – свойство материала сопротивляться действию огня при пожаре в течение определенного времени. Она зависит от сгораемости материала, т. е. от его способности воспламеняться и гореть.

Несгораемые материалы – это бетон и другие материалы на минеральных вяжущих, кирпич керамический, сталь и др.

Однако необходимо учитывать, что некоторые несгораемые материалы при пожаре растрескиваются (гранит) или сильно деформируются (металлы) при температуре, начиная с 600 °С. Поэтому конструкции из подобных материалов нередко приходится защищать более огнестойкими материалами.

Трудносгораемые материалы под воздействием огня или высокой температуры тлеют, но после прекращения действия огня их горение и тление прекращается (асфальтобетон, пропитанная антипиренами древесина, фибролит, некоторые пенопласты).

Сгораемые органические материалы, которые горят открытым пламенем, необходимо защищать от возгорания. Широко используют конструктивные меры, исключая непосредственное воздействие огня на материал в условиях пожара. Применяют защитные вещества – антипирены.

Коэффициент линейного температурного расширения бетона и стали $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, гранита – $8 - 10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, дерева – $20 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. При сезонном изменении температуры окружающей среды и материала на 50 °С относительная температурная деформация достигает $0,5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-3}$, т. е. 0,5–1 мм/м. Во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают деформационными швами.

1.4. Механические свойства

Упругостью твердого тела называют его свойство самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы. Упругая деформация полностью исчезает после прекращения действия внешней силы, поэтому ее принято называть обратимой.

Пластичностью твердого тела называют его свойство изменять форму или размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, причем после прекращения действия силы тело не может самопроиз-

вольно восстанавливать свои размеры и форму, и в теле остается некоторая остаточная деформация, называемая пластической деформацией.

Хрупкостью твердого тела называют его способность разрушаться без образования заметных остаточных деформаций.

Прочность – свойство материалов сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами (стесненная усадка, неравномерное нагревание и т. п.).

Прочность материала оценивают *пределом прочности* (временным сопротивлением) R , определенным при данном виде деформации. Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, строительных растворов, кирпича и др.) основной прочностной характеристикой является *предел прочности при сжатии*.

Предел прочности при осевом сжатии $R_{сж}$ (МПа) равен отношению разрушающей нагрузки P к площади поперечного сечения образца (куба, цилиндра, призмы).

Предел прочности при сжатии рассчитывают по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P}{S}, \text{ МПа}, \quad (1.15)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; S – площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности при осевом растяжении R_p , (МПа) используется в качестве прочностной характеристики стали, бетона, волокнистых и других материалов. В зависимости от соотношения $R_p / R_{сж}$ можно условно разделить материалы на три группы: материалы, у которых $R_p > R_{сж}$ (волокнистые – древесина и др.); $R_p \approx R_{сж}$ (сталь); $R_p < R_{сж}$ (хрупкие материалы – природные камни, бетон, кирпич) [3].

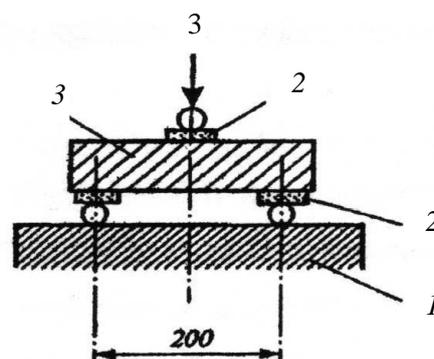
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ (МПа) определяют путем испытания образца материала в виде балочек на двух опорах. Их нагружают сосредоточенной силой до разрушения (рис. 1.1).

Предел прочности при изгибе R_u при сосредоточенной нагрузке в середине пролета рассчитывают по формуле:

$$R_u = \frac{3Pl}{2bh^2}, \text{ МПа}, \quad (1.16)$$

где P – разрушающая нагрузка, Н; l – расстояние между опорами испытуемого образца (свободная длина, пролет), мм; b и h – ширина и высота образца, мм.

Рис. 1.1. Схема испытания кирпича на изгиб при определении его марки по прочности:
 1 – плита прессы; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич



При испытании на изгиб кирпича, бетонных балочек разрушение начинается в нижней растянутой зоне, так как эти материалы имеют значительно меньшую прочность при растяжении, чем при сжатии. Поэтому по формулам вычисляют условное значение предела прочности при изгибе, являющееся стандартной прочностной характеристикой кирпича, строительного гипса, цемента, дорожного бетона.

Ударной вязкостью (динамической или ударной прочностью) называют свойство материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Она характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца, отнесенной к единице объема ($\text{Дж}/\text{м}^3$) или площади поперечного сечения образца ($\text{Дж}/\text{м}^2$). Сопротивление удару важно для материалов, используемых при устройстве фундаментов машин, полов промышленных зданий, дорожных покрытий и т. п.

Твердостью называют свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела.

Твердость природных каменных материалов оценивают шкалой Мооса (табл. 1.3), представленной десятью минералами, из которых каждый последующий своим острым концом царапает все предыдущие [2]. Эта шкала включает минералы в порядке возрастающей твердости от 1 до 10.

Таблица 1.3

Шкала Мооса

Твердость по Моосу	Эталонный минерал	Обрабатываемость
1	2	3
1	Тальк	легко царапается ногтем
2	Гипс	царапается ногтем

1	2	3
3	Кальцит	легко царапается стальным ножом
4	Флюорит (плавиковый шпат)	царапается стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	царапается ножом под сильным нажимом
6	Ортоклаз	царапается напильником
7	Кварц	царапает оконное стекло
8	Топаз	легко царапает кварц
9	Корунд	легко царапает топаз
10	Алмаз	не царапается ничем

Твердость древесины, металлов, бетона и некоторых других строительных материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик или твердый наконечник (в виде конуса или пирамиды). В результате испытания вычисляют число твердости $HV = P/F$, где F – площадь поверхности отпечатка.

От твердости материалов зависит их истираемость: чем выше твердость, тем меньше истираемость.

Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания, и вычисляют в $г/см^2$ по формуле:

$$I = (m_1 - m_2)/F, \quad (1.17)$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания.

Сопротивление материала истиранию определяют, пользуясь стандартными методами: кругом истирания и абразивами (кварцевым песком и наждаком). Это свойство важно для эксплуатации дорог, полов, ступеней лестницы и т. п.

Износом называют свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Износ определяют на образцах материалов, которые испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Показателем износа служит потеря массы пробы материала в результате проведенного испытания (в % от первоначальной массы).

2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Общие сведения

Главным источником для получения строительных материалов являются горные породы, их используют как сырье для изготовления керамики, стекла, металла, тепло-, гидроизоляционных и других материалов, а также для производства неорганических вяжущих веществ – цементов, извести и строительного гипса. Сотни миллионов кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве заполнителей для бетонов и растворов.

Горная порода – это природный минеральный агрегат более или менее определенного состава и строения, являющийся продуктом геологических процессов и образующий в земной коре самостоятельные тела.

В зависимости от условий формирования горные породы делят на три генетические группы (классификация горных пород по условиям их образования, генетическому признаку) [1]: *магматические породы* (или изверженные), образовавшиеся в процессе кристаллизации сложного природного силикатного расплава – магмы; *осадочные*, возникшие в поверхностных условиях из продуктов разрушения любых других пород; *метаморфические*, являющиеся продуктом перекристаллизации и приспособления пород к изменившимся в пределах земной коры физико-химическим условиям (рис. 2.1).

Минералы – это природные физически и химически однородные тела, возникающие в земной коре в результате физико-химических процессов. С этой точки зрения каждый минерал отвечает определенному состоянию и составу среды, в которой он возникает. В большинстве случаев минералы – твердые тела, иногда жидкие и газообразные. Всего минералов в природе более 2000, но в образовании горных пород участвуют лишь около 50 [1].

Большая часть минералов находится в твердом состоянии и обладает преимущественно кристаллической формой. Многие минералы *анизотропны*, т. е. отличаются тем, что некоторые физические свойства их (например, теплопроводность, линейное расширение при нагревании, оптические свойства) различны по разным направлениям (кристаллографическим осям). В отличие от кристаллических тел,

аморфные тела (например, опал, трепел, стекло) *изотропны*, т. е. физические свойства их одинаковы по всем размерным линиям.

Некоторые минералы обладают *спайностью*, т. е. сравнительно легко разделяются (раскалываются) по одному или нескольким направлениям; плоскости раскола бывают ровные, блестящие, их называют плоскостями спайности. Минералы различаются по химическому составу и делятся на четыре группы: группа кварца, алюмосиликатов, железистомагнезиальных, карбонатов и сульфатов.

Магматические породы (изверженные породы)	Массивные	Глубинные (интрузивные)	Граниты, сиениты, диориты, габбро
		Излившиеся (эффузивные)	Порфиры, диабазы, трахиты, базальты, порфириты, андезиты
	Обломочные	Рыхлые	Вулканические пеплы, пемзы
		Цементированные	Вулканические туфы
Осадочные породы	Механические отложения (обломочные породы)	Рыхлые	Глины, пески, гравий, щебень
		Цементированные	Песчаники, конгломераты, брекчии
	Химические осадки	–	Гипс, ангидрит, магнезит, доломиты, известковые туфы, некоторые виды известняков
	Органогенные породы	–	Известняки, мел, ракушечник, диатомиты и трепелы
Метаморфические (видоизмененные) породы	Продукты видоизменения изверженных пород	Гнейсы	
	Продукты видоизменения осадочных пород	Мраморы, кварциты, глинистый сланец	

Рис. 2.1. Генетическая классификация горных пород

2.2. Магматические горные породы (изверженные)

Образование магматических пород тесно связано со сложнейшими проблемами происхождения магм и строения Земли. Согласно современным представлениям Земля имеет концентрически-зональное строение и состоит из ядра, промежуточной оболочки (или мантии) и внешней оболочки – коры. Последняя, в свою очередь, имеет три слоя: нижний – базальтовый, выше него – гранитный и верхний – тонкий чехол осадочных пород (рис. 2.2). Главной составляющей частью изверженных пород является кремнезем (SiO_2), в зависимости от содержания которого (в свободном и химически связанном состоянии) эти породы разделяются на кислые ($> 65\% \text{SiO}_2$), средние ($65 - 66\% \text{SiO}_2$) и основные ($< 65\% \text{SiO}_2$).

Базальтовый слой коры состоит из пород основного состава. В пределах океанов верхняя его часть доступна непосредственному изучению; мощность базальтового слоя под океанами не превышает 5–6 км, тогда как в пределах континентов она достигает 40 км. Гранитный слой состоит преимущественно из пород кислого состава и различных метаморфических пород. Этот слой развит в пределах континентов и континентальных склонов. Мощность его колеблется от 10 км в пределах платформ до 30 км в складчатых областях. Общая мощность земной коры на платформах составляет 30–40 км, в складчатых зонах достигает 30–70 км.

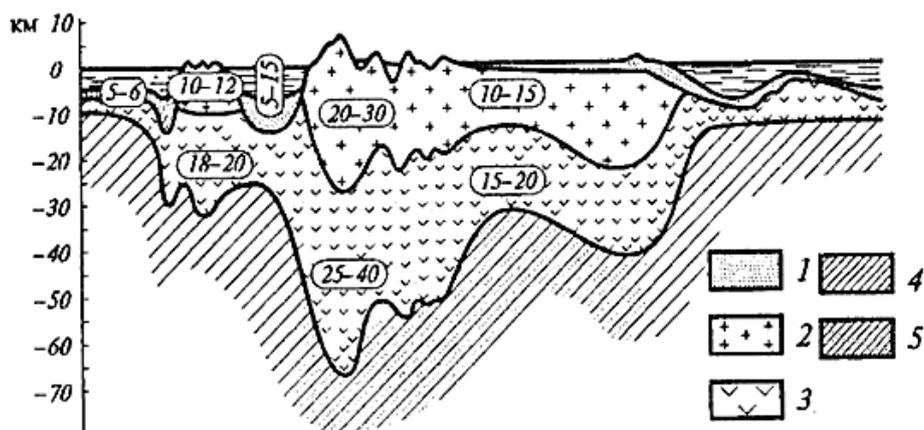


Рис. 2.2. Схема строения земной коры:

- 1 – осадочный чехол; 2 – гранитный слой; 3 – базальтовый слой;
- 4 – верхняя мантия перидотитового состава;
- 5 – верхняя мантия эклогитового (гранито-пироксенового) состава;
- 5–6, 10–12 и т. д. – средние толщины слоя, км

В зависимости от условий образования выделяют две основные группы магматических пород – массивные и обломочные.

Массивные делятся на глубинные (интрузивные) и излившиеся (эффузивные).

Глубинные – это породы, образовавшиеся при застывании магмы на разной глубине в земной коре. *Излившиеся* породы образовались при вулканической деятельности, излиянии магмы из глубин и затвердении на поверхности.

Обломочные породы образовались при быстром охлаждении лавы.

2.2.1. Породообразующие минералы

Основными породообразующими минералами магматических пород являются: кварц (и его разновидности), полевые шпаты, железисто-магнезиальные силикаты [3].

Все эти минералы отличаются друг от друга по свойствам, поэтому преобладание в породе тех или иных минералов меняет ее строительные свойства: прочность, стойкость, вязкость и способность к обработке (к полировке, шлифовке и т. п.).

Кварц, состоящий из кремнезема (диоксида кремния SiO_2) в кристаллической форме, является одним из самых прочных и стойких минералов. Он обладает исключительно высокой прочностью при сжатии (до 2000 МПа) и высокой для хрупких материалов прочностью при растяжении (около 100 МПа); высокой твердостью, уступающей только твердости топаза, корунда и алмаза; весьма высокой кислотостойкостью и вообще химической стойкостью при обычной температуре (из кислот на него действует фтористо-водородная кислота и горячая фосфорная; едкие и углекислые щелочи вступают во взаимодействие с кварцем при повышенной температуре); высокой огнеупорностью (плавится при температуре 1700 °С). Цвет кварца чаще всего встречается молочно-белый, серый.

Благодаря высокой прочности и химической стойкости кварц остается почти неизменным при выветривании магматических пород, в состав которых он входит (например, при разрушении гранитов). Поэтому является также одним из самых важных минералов и в осадочных породах (в песчаниках и кварцевых песках).

Полевые шпаты – это самые распространенные минералы в магматических породах (до 2/3 от общей массы породы). Они представляют собой, так же как и кварц, светлые составные части пород (белые, розоватые, красные и т. п.). Главными разновидностями полевых шпатов являются ортоклаз и плагиоклазы.

Ортоклаз – $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ или $K[AlSi_3O_8]$ (по-гречески «прямораскалывающийся») – характеризуется следующими свойствами: угол между спайностями 90° , твердость 6–6,5, плотность $2,57 \text{ г/см}^3$, плавится при 1170°C , полное расплавление при 1450°C . Встречается в кислых (гранит) и средних (сиенит) по кислотности магматических породах.

Плагиоклазы (по-гречески «косораскалывающийся») образуют изоморфный ряд от альбита ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ или $Na[AlSi_3O_8]$), входящего в состав кислых пород, до анортита ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ или $Ca[Al_2Si_2O_8]$), характерного для основных пород (габбро, базальт и др.)

По сравнению с кварцем полевые шпаты обладают значительно меньшей прочностью (120–170 МПа на сжатие) и стойкостью, поэтому они реже встречаются в осадочных породах (главным образом, в виде полевошпатовых песков). Выветривание полевых шпатов происходит под влиянием воды, содержащей углекислоту. Результатом выветривания является новый минерал – каолинит (важнейшая часть самой распространенной осадочной породы – глины).

К цветным (темноокрашенным) минералам, встречающимся в магматических породах, относятся железисто-магнезиальные и магнезиальные силикаты и некоторые алюмосиликаты.

В группе **железисто-магнезиальных** силикатов наиболее распространены оливин, пироксены (например, авгит), амфиболы (роговая обманка). Среди магнезиальных силикатов встречаются вторичные минералы, чаще всего замещающие оливин – серпентин, хризотил – асбест.

В группе **алюмосиликатов** наиболее распространены слюды: обыкновенные – мусковит (почти бесцветный), флогопит и биотит (темного цвета); гидрослюды – гидромусковит, гидробиотит. Твердость слюд 2–3.

Все вышеперечисленные минералы, за исключением мусковита и гидромусковита, отличаются от кварца и полевых шпатов темной окраской (зеленого, темно-зеленого, иногда черного цвета). Характерными свойствами цветных минералов (за исключением слюд) явля-

ются высокая прочность и вязкость, а также повышенная плотность по сравнению с другими минералами, которые входят в состав магматических пород. Увеличение содержания цветных минералов (за исключением алюмосиликатов) придает породам высокую прочность, вязкость и стойкость против выветривания.

Водные алюмосиликаты (слюды) являются нежелательной составной частью пород. Они понижают прочность пород, ускоряют их выветривание и затрудняют шлифовку и полировку, так как в результате совершенной спайности слюды весьма легко разделяются на очень тонкие пластинки. Слюды встречаются и в песках, где также считаются вредной примесью. Бетоны и строительные растворы на песке со значительным содержанием слюды обладают пониженной морозостойкостью. Для специальных отделочных штукатурок в растворы иногда намеренно вводят слюду в целях достижения определенного художественного эффекта.

2.2.2. Глубинные (интрузивные) горные породы

Особенности строения горных пород, зависящие от условий образования, выражаются в структурных и текстурных признаках.

Структура определяется степенью кристалличности и размерами зерен, а также формой и взаимными отношениями составных частей породы.

При медленном остывании магмы в глубинных условиях возникают полнокристаллические структуры. По размерам зерен среди кристаллических пород выделяют: крупнозернистые (средний размер зерен более 5 мм), среднезернистые (1–5 мм) и мелкозернистые (0,5–1 мм), а также равномернозернистые и неравномернозернистые структуры (рис. 2.3) [3].

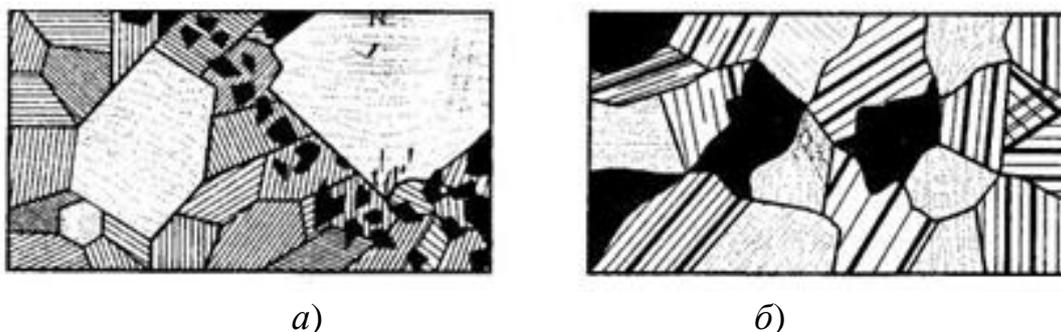


Рис. 2.3. Типы структур (схемы):
a – неравномернозернистая; *б* – равномернозернистая

Текстура – совокупность признаков, определяемых расположением и распределением составных частей породы относительно друг друга в занимаемом ими пространстве.

подавляющее большинство магматических пород характеризуется массивной текстурой.

Следствием медленного охлаждения магмы является ряд общих свойств для разных глубинных горных пород: весьма малая пористость и, следовательно, большая плотность и высокая прочность. Кроме того, в связи с очень малой пористостью эти породы обычно обладают весьма низким водопоглощением, морозостойкостью и сравнительно высокой теплопроводностью. Обработка таких пород из-за их высокой прочности затруднительна. Однако благодаря высокой плотности они хорошо полируются и шлифуются.

Средние показатели важнейших строительных свойств таких пород: прочность при сжатии – 100–300 МПа; плотность – 2600–3000 кг/м³; водопоглощение – меньше 1 % по объему; теплопроводность – около 3 Вт/(м·°С) [3].

Граниты обладают благоприятным для строительного камня минеральным составом, отличающимся высоким содержанием кварца (25–30 %), натриево-калиевых шпатов (35–40 %) и плагиоклаза (20–25 %), обычно небольшим количеством слюды (5–10 %) и отсутствием сульфидов. Граниты имеют высокую механическую прочность при сжатии – 120–250 МПа (иногда до 300 МПа). Сопротивление растяжению, как у всех каменных материалов, относительно невысокое и составляет лишь около 1/30–1/40 от сопротивления сжатию.

Необходимо отметить, что в каменных материалах вследствие хрупкости сравнительно легко могут появляться тонкие (волосные) местные трещинки – от взрывов при добыче, от ударов, резких колебаний температуры и т. п. Эти трещинки оказывают сравнительно небольшое влияние на предел прочности при сжатии, но могут значительно понизить прочность на растяжение.

Одним из важнейших свойств гранитов является также малая пористость, не превышающая 1,5 %, что обуславливает водопоглощение около 0,5 % (по объему). Поэтому морозостойкость их высокая. Огнестойкость гранита недостаточна, так как он растрескивается при тем-

пературах выше 600 °С вследствие полиморфных превращений кварца. Гранит, так же как и большинство других плотных магматических пород, обладает высоким сопротивлением истиранию.

Граниты весьма разнообразны по цвету, зависящему в основном от окраски полевых шпатов, которые могут быть белыми, серыми, желтыми, розовыми, красными. Различные сочетания отдельных компонентов и изменение структуры обуславливают разнообразие цветов, оттенков и декоративного рисунка гранитов, поэтому граниты являются прекрасным облицовочным декоративным материалом. В связи с высокой прочностью на сжатие, морозостойкостью граниты применяют для защитной облицовки набережных, устоев мостов, цоколей зданий, а также в качестве щебня для высокопрочных и морозостойких бетонов. Кроме того, благодаря значительной кислотостойкости, граниты применяют в качестве кислотоупорной облицовки.

Из всех изверженных пород граниты наиболее широко используют в строительстве, так как они являются самой распространенной из глубинных магматических пород. Остальные глубинные породы (сиениты, диориты, габбро и др.) встречаются и применяются значительно реже.

Сиениты. Горные породы группы сиенитов занимают около 2,6 % магматических пород. Породы эти окрашены в розовые, серые и зеленоватые тона, что зависит от цвета полевых шпатов. Сиениты состоят из калиевых (50–70 %) и натриевых полевых шпатов (10–30 %), цветных минералов (10–20 %). Если присутствует кварц (10–15 %), то породу называют *кварцевым сиенитом*. По физико-механическим свойствам сиениты близки к гранитам, несколько уступая им в прочности из-за отсутствия кварца.

Гранодиориты менее распространены, чем граниты, и отличаются от них меньшим содержанием кварца (20–25 %), повышенным количеством цветных минералов (15–20 %), в составе которых преобладает роговая обманка, поэтому эти породы темнее гранитов. В гранодиоритах всегда присутствует полевой шпат (45–50 %). Гранодиориты по механической прочности уступают гранитам, что связано с меньшим содержанием кварца. Подобно гранитам, они находят в строительстве самое разнообразное применение – от бута и щебня до облицовочного и скульптурного камня.

Диориты и кварцевые диориты. Это породы серого цвета; состоят они из плагиоклаза (65–70 %) и роговой обманки, иногда вместе с пироксенами или биотитом, составляющими в сумме около 25–30 %. Структура породы равномернозернистая, средне- или мелкозернистая. Текстура массивная или пятнистая, что обусловлено наличием обособлений (шлиров), обогащенных темноцветными минералами.

Кварцевые диориты характеризуются присутствием кварца в количестве 5–20 % и меньшим содержанием роговой обманки. Структура и текстура аналогичны диоритам.

Физико-механические свойства диоритов характеризуются следующими показателями: плотностью – 2,9 кг/м³, пределом прочности при сжатии 180–240 МПа. Наиболее прочны диориты с мелко- и среднезернистой структурой, массивной текстурой и с повышенным содержанием роговой обманки. Разновидности, включающие биотит, имеют пониженную прочность. Диориты и особенно кварцевые диориты превосходят по прочности граниты и сиениты.

Габброиды. Среди габброидов важнейшими являются габбро и анортозиты.

Габбро – порода в свежем состоянии темно-серого или почти черного цвета, что объясняется темной окраской плагиоклазов и высоким содержанием цветных минералов. В результате вторичных изменений плагиоклазы приобретают светло-серый и зеленовато-серый цвет. Типичное габбро состоит примерно из равного количества натриево-кальциевого шпата и моноклинного пироксена. В очень малых количествах в габбро могут присутствовать оливин, ромбический пироксен, роговая обманка, биотит. Постоянными компонентами габброидов являются магнетит и титано-магнетит.

Анортозиты представляют собой темноокрашенные породы, состоящие почти из одного натриево-кальциевого полевого шпата – лабрадора. Эти породы благодаря иризирующему свойству (иризация – яркий цветной отлив на гранях или плоскостях спайности лабрадора) применяют в строительстве в качестве облицовочного камня.

Для пород группы габбро характерна плотность 2,9–3,0 кг/м³, большая прочность (при сжатии – 200–300 МПа) и достаточно высокая стойкость против выветривания.

Красивый вид и хорошая полируемость позволяют применять наиболее декоративные разновидности габбровых пород и лабрадориты с синим оттенком для облицовки памятников (памятник неизвестному солдату в Москве) и ряда других выдающихся сооружений.

2.2.3. Излившиеся (эффузивные) горные породы

При кристаллизации магмы в приповерхностных условиях образуются полнокристаллические неравномернозернистые и неполнокристаллические структуры. Среди неравномернозернистых структур выделяют порфировидные и порфиновые структуры [1].

Порфировидные структуры обусловлены наличием относительно крупных кристаллов на фоне полнокристаллической основной массы породы.

Порфиновые структуры характеризуются наличием хорошо образованных кристаллов – порфировых «вкрапленников», погруженных в стекловидную основную массу породы.

Структура – существенный признак, определяющий физико-механические свойства породы. Наиболее прочными являются равномернозернистые породы, тогда как породы такого же минерального состава, но крупнозернистой порфировидной структуры быстрее разрушаются как при механическом воздействии, так и при резких колебаниях температур.

Из магматических пород в строительстве наиболее широко применяют кварцевые и бескварцевые (полевошпатовые) порфиры.

Кварцевые порфиры по своему минеральному составу близки к гранитам. Прочность, пористость, водопоглощение у порфиров, в общем, сходны с показателями этих свойств, присущими гранитам. Но порфиры более хрупки и менее стойки вследствие наличия крупных вкраплений.

Бескварцевые (полевошпатовые) порфиры по своему составу близки к сиенитам, но в связи с иным генезисом обладают худшими физико-механическими свойствами.

Излившиеся горные породы образовались в результате излияния магмы, ее охлаждения и застывания на поверхности земли, поэтому в большинстве случаев они состоят из отдельных кристаллов, вкраплен-

ных в основную мелкокристаллическую, скрытокристаллическую и даже стекловатую массу. Излившиеся породы в результате неравномерного распределения минеральных компонентов сравнительно легко разрушаются при выветривании и под воздействием внешних условий, а также обнаруживают анизотропность механических свойств.

Различают эффузивы: излившиеся плотные и излившиеся пористые. К *плотным* излившимся породам относят трахиты, липариты, андезиты, базальты, диабазы.

Трахиты. По своему минеральному и химическому составу трахиты схожи с сиенитами, но более пористы. Поэтому предел прочности при сжатии трахитов невысок (60–70 МПа), а морозостойкость ниже, чем у сиенитов. Трахиты легко обрабатываются, но не полируются, используют как кислотоупорный материал и отчасти в качестве строительного камня.

Излившиеся аналоги гранитов представлены **липаритами**. Среди излившихся пород кислого состава широко распространены вулканические стекла с полным отсутствием или небольшим количеством кристаллов.

Некоторые вулканические стекла после термической обработки применяют в виде «вспученного перлита», обладающего рядом ценных свойств – малой плотностью, большой пористостью, малыми звуко- и теплопроводностью и т. д.

Андезиты – излившиеся аналоги диоритов – порода серого или желтовато-серого цвета, порфировой структуры, с плотной основной массой. Андезиты содержат плагиоклазы, роговую обманку, некоторые пироксены и биотит. Структура может быть неполнокристаллическая или стекловатая, текстура – массивная или пористая. Физико-механические свойства сходны со свойствами базальтов. Плотность андезитов – 2700–3100 кг/м³, предел прочности при сжатии – 140–250 МПа. Андезиты, содержащие в своем составе большое количество роговой обманки или пироксенов, отличаются более высокими техническими качествами, чем биотитсодержащие разновидности. Андезиты применяют в качестве кислотостойкого материала – облицовочных изделий, в виде щебня для кислотоупорного бетона.

Базальты – излившиеся аналоги габбро – породы черного цвета, очень плотные, скрытокристаллические или тонкозернистые, иногда порфировые. Плотность базальтов – 2700–3300 кг/м³; предел прочности при сжатии колеблется в широких пределах – 110–500 МПа, в среднем – 200–250 МПа. Базальты ввиду большой твердости и хрупкости трудно обрабатываются, но хорошо полируются. Применяют, главным образом, в качестве бутового камня и щебня для бетонов, в дорожном строительстве (для мощения улиц); особо плотные породы используют в гидротехническом строительстве. Базальты являются исходным материалом для литых каменных изделий.

Диабазы – порода мелкозернистая, по составу аналогичная габбро, но с типичной диабазовой микроструктурой (структура полнокристаллическая представлена кристаллами плагиоклаза, между которыми располагаются зерна цветных минералов). Диабазы имеют черный цвет, выветренные – зеленовато-серый. Диабазы отличаются высокой твердостью, прочностью (300–400 МПа на сжатие) и вязкостью, что связано с большим содержанием в их составе железомagneзиальных силикатов и свойственной этим породам структурой. Диабазы мало изнашиваются и в виде брусчатки применяются для мощения дорог и улиц.

К *пористым* излившимся породам относят пемзу, вулканические туфы и пеплы, туфолавы.

Пемза представляет собой пористое вулканическое стекло, образовавшееся в результате выделения газов при быстром застывании кислых и средних лав. Цвет пемзы белый или серый. Пористость ее достигает 60 %; стенки между порами сложены стеклом. Твердость пемзы около 6, истинная плотность 2–2,5 г/см³, плотность 0,3–0,9 г/см³ (пемза плавает в воде). Большая пористость пемзы обуславливает хорошие теплоизоляционные свойства, а замкнутость большинства пор – достаточную морозостойкость. Пемза служит заполнителем в легких бетонах (пемзобетоне). Наличие в пемзе активного кремнезема позволяет использовать ее в виде гидравлической добавки к цементам и извести. В качестве абразивного материала пемзу применяют для шлифовки металлов и дерева, полировки каменных изделий. Месторождения пемзы относятся к вулканическим и встречаются в областях распространения действующих и потухших вулканов.

Вулканический пепел – наиболее мелкие частицы лавы, обломки отдельных минералов, выброшенные при извержении вулкана. Происхождение пепла объясняется размельчением лавы при вулканических взрывах. Размеры частичек пепла колеблются от 0,1 до 2 мм. Вулканический пепел является активной минеральной добавкой.

Вулканические туфы – горные породы, образовавшиеся из твердых продуктов вулканических извержений: пепла, пемзы и других, впоследствии уплотненных и сцементированных. Цементом туфов является вулканический пепел, глинистое или кремнистое вещество, иногда с примесью продуктов разложения пепла.

Туфолава – горная порода, занимающая промежуточное положение между пеплом и туфом. Образование туфолав связывают с быстрым вспениванием лав при резком падении давления и связанным с этим дроблением вкрапленников и стекла без разрыва сплошности лавового потока. В состав вулканических туфов и туфолав входят SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и др.

Вулканические туфы и туфолавы хорошо сопротивляются выветриванию, мало теплопроводны и, несмотря на большую пористость, морозостойки. Они легко обрабатываются, распиливаются, пробиваются гвоздями, шлифуются, но не полируются.

Типичным представителем туфолав является арктический туф, добываемый в Армении. При истинной плотности около $2,6 \text{ г/см}^3$ плотность породы колеблется в пределах от 750 до 1400 кг/м^3 . Соответственно, пористость ее составляет 70–46 %. Теплопроводность арктического туфа меньше, чем обыкновенного кирпича, что позволяет уменьшить толщину наружных стен зданий. Прочность туфов находится в тех же примерно пределах, что и у обыкновенного кирпича, т. е. от 5 до 15 (иногда до 30) МПа.

Туф и туфолавы используют в виде пиленого камня для кладки стен жилых зданий, устройства перегородок и огнестойких перекрытий. Используются они также в качестве декоративного камня, чему благоприятствует наличие туфов разных цветов – лиловых, желтых, красных, черных и др. Применяются туфы и в виде щебня для легких бетонов.

2.3. Осадочные горные породы

Осадочная порода образуется в условиях переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности растений.

В результате воздействия агентов химического выветривания происходит окисление минералов, их гидратация, а также разложение минералов сложного состава с образованием новых минеральных видов и выносом в растворенном состоянии различного рода соединений. На первом этапе химического выветривания полевые шпаты переходят в глинистые минералы типа гидрослюда. При более глубоком разложении образуется другой глинистый минерал – каолинит – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Преобладающая часть продуктов выветривания выносится из зоны выветривания и отлагается вдали от места разрушения материнских пород. Основными агентами переноса являются текучие воды, движущийся лед и ветер.

Осадочные породы, в зависимости от условий их образования, делят на три основные группы [3]:

1) **обломочные** породы, или механические осадки: *рыхлые* (например, гравий, глины, пески), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, а также льдом (ледниковые отложения) или ветром (эоловые отложения), *сцементированные* (песчаники, конгломераты, брекчии);

2) **химические** осадки (например, гипс и известковые туфы), образовавшиеся из продуктов разрушения пород, перенесенных водой в растворенном виде;

3) **органогенные породы**, образовавшиеся из остатков некоторых водорослей и животных (скелеты губок, кораллов, раковины и панцири ракообразных и др.); к органогенным породам относятся мел, большинство известняков, диатомиты.

Кроме обломочных рыхлых пород встречаются также породы (конгломераты, брекчии, песчаники), зерна которых сцементированы различными природными «цементами». Эти цементы находились в растворенном или коллоидном состоянии в воде и выпали в толще рыхлых осадков, цементируя их зерна в сплошные горные породы различной плотности.

Большинство осадочных пород имеет более пористое строение, чем плотные магматические породы, а следовательно, и меньшую прочность. Некоторые из них сравнительно легко растворяются (например, гипс) или распадаются в воде на мельчайшие нерастворимые частицы (например, глины).

В составе осадочных пород можно выделить две различные по своему происхождению группы минералов: *реликтовые* и *минералы осадочного происхождения*. К первой группе относят минералы магматические и метаморфические; обычно зерна этих минералов окатаны, ко второй – минералы, образовавшиеся на месте в осадке или в породе.

2.3.1. Главные породообразующие минералы

Группа кремнезема. Наиболее распространенные минералы этой группы – опал, халцедон и осадочный кварц.

Опал ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – аморфный минерал, содержание воды в нем колеблется от 2 до 14 % и достигает иногда 34 %. При нагревании часть воды теряется. Опал чаще всего бесцветен или молочно-белый, но в зависимости от примесей может быть желтым, голубым или черным. Плотность 1,9–2,5 г/см³, максимальная твердость 5–6, хрупок.

Халцедон (SiO_2) является волокнистой или скрытокристаллической разновидностью кварца. Цвет белый, серый, светло-желтый, бурый, зеленый. Плотность 2,6 г/см³, твердость 6. Халцедон является продуктом кристаллизации опала, а также выпадает непосредственно из растворов, отлагаясь совместно с опалом и кварцем.

Кварц (SiO_2). В осадочных породах присутствует кварц магматического происхождения и кварц осадочный. Осадочный кварц отлагается непосредственно из растворов, а также образуется в результате перекристаллизации опала и халцедона. Он широко распространен в кремнистых породах, заполняет трещины, поровые пространства и другие полости в песчаниках и известняках.

Группа карбонатов. Минералы группы карбонатов имеют широкое распространение в осадочных породах. Наиболее важную роль в них играют кальцит, доломит и магнезит.

Кальцит (CaCO_3). Бесцветный или белый, при наличии механических примесей серый, желтый, розовый или голубоватый минерал.

Блеск стеклянный. Плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, твердость 3. Характерным диагностическим признаком является растворимость с бурным вскипанием в 10 %-й соляной кислоте.

Разновидность карбоната кальция называется арагонитом. В условиях земной поверхности арагонит неустойчив и переходит в кальцит.

Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – бесцветный, белый, часто с желтоватым или буроватым оттенком минерал. Блеск стеклянный. Плотность $2,8 \text{ г/см}^3$, твердость 3–4. В 10 %-й соляной кислоте вскипает только в порошке и при нагревании. Доломит обычно мелкозернист, крупные кристаллы встречаются редко. Образуется он либо как первичный химический осадок, либо в результате доломитизации известняков. Минерал доломит слагает породу того же названия. Применяется в качестве сырья для производства магнезиальных и доломитовых вяжущих веществ, доломитовых огнеупорных материалов, а также в качестве строительного камня и щебня для бетона.

Магнезит (MgCO_3) – бесцветный, белый, серый, желтый, коричневый минерал. Плотность $3,0 \text{ г/см}^3$, твердость 3,5–4,5. Растворяется в HCl при нагревании. Применение магнезита основано на высокой огнеупорности и вяжущих свойствах оксида магния. Магнезит, обожженный при $1500\text{--}1650 \text{ }^\circ\text{C}$, представляет собой высокоогнеупорный материал, применяющийся для изготовления магнезитового кирпича, а обожженный при $750\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$ дает оксид магния (каустический магнезит) и образует с растворами хлористого или сернокислового магния магнезиальное вяжущее.

Группа глинистых минералов. Глинистые минералы играют в составе осадочных пород исключительно важную роль. Они слагают глины, а также могут находиться в качестве примеси в песчаниках, алевролитах, известняках и многих других породах, существенно изменяя их физико-химические свойства. Минералы этой группы относятся к водным алюмосиликатам. Наиболее широкое распространение имеют каолинит, монтмориллонит и гидрослюда.

Каолинит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Белый, иногда с буроватым или зеленоватым оттенком минерал. Плотность его $2,6 \text{ г/см}^3$, твердость 1. На ощупь жирный. Встречается в виде мелоподобных плотных агрегатов. Каолинит образуется в результате разло-

жения полевых шпатов, слюд и некоторых других силикатов в процессе их выветривания и переноса продуктов разрушения. На земной поверхности устойчив в условиях кислой среды. Каолинит слагает каолиновые глины, входит в состав полиминеральных глин, иногда присутствует в цементе обломочных пород.

Гидрослюды образуются при разложении слюд и некоторых других силикатов (например, полевых шпатов). Гидрослюды используют в строительстве. Например, вермикулит, обладающий свойством увеличиваться при нагревании в 20 и более раз, применяется как пористый заполнитель легкого бетона.

Монтмориллонит образуется в условиях щелочной среды в морских осадках и в коре выветривания. Слагает бентонитовые глины, иногда служит цементирующим материалом в песчаниках. Минералы группы монтмориллонита широко распространены в осадочных породах, а в некоторых глинах играют роль главных породообразующих. Примеси глинистых минералов в известняках и песчаниках нежелательны, так как содержание уже 3–4 % глины резко понижает их водостойкость и морозостойкость.

Группа сульфатов. Наиболее распространенными минералами этой группы являются гипс и ангидрит.

Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ представляет собой скопление белых или бесцветных кристаллов, иногда окрашенных механическими примесями в голубые, желтые или красные тона. Блеск стеклянный. Плотность 2,3 г/см³, твердость 2. Для гипса, развивающегося в пустотах и трещинах, характерно волокнистое строение и шелковистый блеск. Иногда гипс встречается в виде тонкозернистых и землистых агрегатов, а также слагает цемент песчаника. Гипс применяют в производстве вяжущих веществ: строительного и формовочного гипса и др.

Ангидрит CaSO_4 – белый, серый, светло-розовый, светло-голубой минерал. Блеск стеклянный. Плотность 3,0 г/см³, твердость 3–3,5. Как правило, встречается в виде сплошных мелкозернистых агрегатов; крупные кристаллы образуются редко, они обычно имеют игольчатый или призматический облик.

Красиво окрашенные ангидрит и гипс иногда применяют как облицовочный материал для внутренних отделок зданий, а после пропитки водостойкими эмульсиями – и для наружных отделок. Ангидрит

используют для производства вяжущих веществ. Гипс и ангидрит слагают породы того же названия, широко распространенные в соленосных отложениях.

Органические остатки в осадочных породах. Осадочные породы нередко содержат органические остатки животного и растительного происхождения, сложенные кремнистым или известковым веществом.

Наиболее важными по своим строительным свойствам из групп пород биохимического происхождения являются диатомиты, сложенные остатками диатомей. Диатомовые водоросли – мельчайшие одноклеточные растения, заключенные в тонкий пористый панцирь, состоящий из опала. Встречаются преимущественно в кремнистых и глинисто-кремнистых породах.

Вулканогенный материал в осадочных породах представлен обломками вулканического стекла (вулканический пепел), размеры которых колеблются от 0,01 до 1 мм и характеризуются остроугольными причудливо изогнутыми формами.

Структура осадочной породы определяется размером и формой ее минеральных компонентов, текстура – их взаимным расположением и ориентировкой в пространстве. Структура и текстура характеризуют строение породы. Наиболее характерной особенностью строения осадочных пород является их слоистость. В том случае, когда слоистость отсутствует, текстуру называют беспорядочной, так как частицы располагаются в ней без всякой ориентировки. Беспорядочная текстура характерна для песков и грубообломочных пород.

2.3.2. Механические отложения (обломочные породы)

Породы рассматриваемой группы сложены преимущественно зернами, устойчивыми при выветривании минералов и горных пород.

Рыхлые обломочные породы – песок и гравий – применяют в качестве заполнителей для бетона, в дорожном строительстве, для железнодорожного балласта. Пески служат компонентом сырьевой смеси в производстве стекла, керамических изделий и др. Песчаные породы широко используют при возведении намывных плотин, дамб и др.

Глинистые породы сложены более чем на 50 % частицами мельче 0,01 мм, причем не менее 25 % из них имеют размеры меньше 0,001 мм. Они характеризуются сложным минеральным составом. Кроме того, глинистые породы могут содержать обломочные зерна кварца, полевых шпатов, слюд, а также гидроксиды, карбонаты, сульфаты и прочие минералы. Наличие обломочной примеси оказывает существенное влияние на степень пластичности глины.

За основу минералогической классификации глинистых пород принимается состав глинистых минералов.

Каолиновые глины сложены минералом каолинитом. Обычно эти глины окрашены в светлые тона, жирные на ощупь, они малопластичны, огнеупорны.

Полимиктовые глины характерны наличием двух или нескольких минералов, причем ни один из них не является преобладающим. Они окрашены в бурые, коричневые, серые или зеленоватые тона. Обычно содержат значительное количество песчаной и алевритовой примеси и различные карбонаты, сульфаты, сульфиды, гидроксиды железа и т. п.

Глины находят большое применение. Каолиновые глины являются огнеупорными и их широко используют в керамической промышленности. Гидрослюдистые глины и глины полимиктового состава применяют для изготовления кирпича, грубой керамики и других изделий. Глины являются также компонентом сырьевой смеси в производстве цемента. Глины используют как строительный материал при возведении земляных плотин (экраны и пр.).

2.3.3. Химические осадки

Среди пород химического происхождения наиболее важными в строительном деле являются карбонатные, сульфатные и аллиторные породы.

Карбонатные породы. Наиболее распространенными карбонатными породами являются известняки и доломиты. Известняк – порода, сложенная более чем на 50 % кальцитом; доломит – порода, состоящая более чем на 50 % из доломита. В зависимости от количественного соотношения в породе кальцита и доломита наблюдаются постепенные

переходы от чистых известняков к чистым доломитам. Количество глинистой примеси в карбонатных породах может колебаться в широких пределах. Порода, характеризующаяся приблизительно равным содержанием карбонатного и глинистого материала, называется *мергелем*. Наличие примесей оказывает большое влияние на физико-механические свойства карбонатных пород. Глинистое вещество при увлажнении понижает прочность известняков. Кремнезем уменьшает растворимость известняков и повышает их прочность. Доломитизированные известняки характеризуются меньшей растворимостью и большей прочностью по сравнению с известняками, не затронутыми процессами доломитизации. Примеси гипса, ангидрита и других легкорастворимых весьма нежелательны.

Пористость плотных известняков не превышает десятых долей процента, а рыхлых – достигает 15–20 %. Окраска известняков зависит от примесей и может быть различной: белой, желтоватой, бурой, серой, темно-серой до черной. Среди известняков, образовавшихся химическим путем, выделяют известковые туфы, а также некоторые микрозернистые известняки.

Доломиты похожи на известняки. Цвет доломитов белый, желтовато-белый, светло-бурый. Для них характерны микрозернистые и кристаллически-зернистые структуры.

Благодаря широкому распространению, легкой добыче и обработке обыкновенные известняки, доломитизированные известняки и доломиты применяют в строительстве чаще, чем другие породы. Их используют в виде бутового камня для фундаментов, стен неотапливаемых зданий или жилых домов в районах с теплым климатом, а наиболее плотные породы применяют в виде плит и фасонных деталей для наружных облицовок зданий. Известняковый щебень часто используют в качестве заполнителя для бетона. Наконец, известняки широко применяют как сырье для получения вяжущих веществ – извести и цемента. Доломиты используют для получения вяжущих и огнеупорных материалов в цементной, стекольной, керамической и металлургической промышленности.

Сульфатные породы состоят из сульфатных соединений, выпадающих в осадок в случае увеличения их концентрации в природных

водах. Гипсовые и ангидритовые породы, как раньше упоминалось, слагаются одноименными минералами – гипсом и ангидритом, которые в природных условиях в результате гидратации и дегидратации переходят друг в друга. Ангидрит отличается от гипса большей твердостью. Обычно он имеет светлые цвета – белый, зеленоватый, светло-серый, серовато-голубоватый. Гипс и ангидрит служат сырьем для получения вяжущих веществ, иногда их применяют в виде облицовочных изделий.

Аллитовые породы характеризуются высоким содержанием глинозема. В этой группе выделяют две главные породы: бокситы и латериты.

Бокситы. Породообразующими минералами бокситов являются гидроксиды алюминия (гиббсит и диаспор). Бокситы характеризуются большим разнообразием внешнего вида. Они могут быть мягкими, рыхлыми, похожими на глину и плотными с раковистым изломом. Пластичностью бокситы не обладают. Окраска обусловлена наличием гидроксидов железа. Чаще она бывает красная, бурая, коричневая, зеленовато-серая. Бокситы используют для производства алюминия, искусственных абразивов, огнеупоров, в качестве адсорбента при очистке нефтепродуктов.

Латериты состоят в основном из каолинита и гидроксидов железа, в меньшем количестве в них входят гидроксиды алюминия. Цвет их красный, бурый или желтый. Высокая стойкость против выветривания позволяет использовать их в качестве строительного материала.

2.3.4. Органогенные породы

К осадочным органогенным породам относятся биогенные кремнистые породы и органогенные известняки.

Биогенные кремнистые породы (силициды) сложены осадочным кремнеземом (опалом, халцедоном, кварцем). По морфологическому признаку выделяют пластовые и конкреционные кремнистые породы.

Главными разновидностями *пластовых кремнистых пород* являются диатомиты, радиоляриты, спонголиты, трепелы, опоки и яшмы.

Диатомиты – легкие светлые тонкопористые породы, состоящие из опаловых скелетов диатомовых водорослей. *Радиоляриты* сложены опаловыми скелетами радиолярий, по внешнему виду они не отличаются от диатомитов. *Спонголиты* состоят преимущественно из опаловых спикул губок. *Трепелы* и *опоки* белые или серые, очень легкие, похожи на каолиновую глину или мел и состоят из опала, реже халцедона. *Яшмы* – массивные плотные неравномерно окрашенные породы с характерным раковистым изломом, состоят они из халцедона или мелкозернистого кварца с постоянной примесью тонкорассеянных гидроксидов железа.

Конкреционные кремнистые породы встречаются значительно реже. Желваки или конкреции, сложенные осадочным кремнеземом, называют кремнями. Кремни могут быть рассеяны в различных породах – известняках, песчаниках, глинах.

Для кремнистых пород характерно водно-осадочное происхождение. Кремнезем, образовавшийся в результате химического выветривания магматических пород, а также при вулканических извержениях, поступал в водоемы (морские, реже озерные) и отлагался там благодаря коагуляции коллоидных растворов или в результате жизнедеятельности организмов, потреблявших его для построения скелетов.

Кремнистые породы находят разнообразное практическое применение. Яшмы используют как декоративный камень и в строительстве. Диатомиты, трепелы, опоки применяют для производства теплоизоляционных материалов, в виде минеральных добавок к вяжущим веществам (воздушной извести, портландцементу).

Органогенные известняки могут быть сложены целыми раковинами или обломками раковин различных морских беспозвоночных, а также остатками известковых водорослей. Органогенные известняки иногда слагают рифы. Рифостроящими организмами являются преимущественно известковые водоросли, кораллы и др.

Разновидность органогенных известняков – *мел*. Это мелкозернистая слабоцементированная порода белого цвета.

Известняки-ракушечники применяют в строительстве. Способность легко распиливаться, небольшая плотность (от 0,8 до 1,8 г/см³), малая теплопроводность – все это позволяет уменьшить толщину наружных стен зданий по сравнению с кирпичными, что снижает стоимость строительства.

В южных районах страны органогенные известняки-ракушечники являются распространенным материалом для кладки стен; наиболее же плотные разновидности известняков используют для кладки фундаментов, наружной (отчасти и внутренней) облицовки стен, а щебень применяют как заполнитель для бетона.

2.4. Метаморфические горные породы

Метаморфизмом называют преобразование горных пород, происходящее в недрах земной коры под влиянием высоких температур и давлений. В этих условиях может происходить кристаллизация минералов без их плавления.

Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества – растворы и газы, под действием которых породы любого состава и генезиса (магматические, осадочные или уже ранее метаморфизированные) подвергаются изменениям. При формировании структурно-текстурных особенностей метаморфических пород велика роль направленного давления. При одностороннем давлении кристаллы деформируются в направлении, перпендикулярном направлению наибольшего давления, и видоизмененные породы приобретают сланцевое строение (гнейс, глинистые сланцы и т. п.). Образуются специфические структуры с характерной закономерной ориентировкой минералов. К химически активным веществам, прежде всего, относятся вода и уголекислота, которые находятся в том или ином количестве почти во всех горных породах в виде так называемых «поровых» или «межзерновых» метаморфогенных растворов и газов. Перемещаясь из областей высоких давлений в зоны низких давлений (обычно снизу вверх), такие растворы активно участвуют в преобразовании минералов и пород [1].

2.4.1. Главные породообразующие минералы

Минералы, слагающие метаморфические породы, можно разделить на следующие группы: минералы, широко распространенные как в метаморфических, так и в магматических породах (полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин и др.); типичные для осадочных пород минералы (кальцит, доломит);

минералы, которые могут находиться в магматических породах в качестве вторичных, а также слагать типичные метаморфические породы (серпентин и др.); специфические метаморфические минералы, присутствие которых возможно только в глубоко преобразованных метаморфических породах.

2.4.2. Основные разновидности метаморфических горных пород

Кристаллические сланцы имеют мелкозернистое строение с полностью утраченными первичными текстурами и структурами. Цвет их от темно- до светло-серого. Основная часть породы состоит из зерен кварца, биотита и мусковита.

Некоторые разновидности глинистых, кремнистых, слюдистых и иных сланцев являются естественными кровельными материалами – *кровельными сланцами*. Эти сланцы легко раскалываются по плоскостям сланцеватости на ровные и тонкие (2–8 мм) плоские плитки. Они должны отвечать определенным требованиям: иметь достаточную плотность и вязкость, твердость, малое водопоглощение, высокую водостойкость, стойкость против выветривания. Плотность кровельных сланцев – около 2,7–2,8 г/см³, пористость – 0,3–3 %, предел прочности при сжатии – 50–240 МПа. Большое значение имеет также прочность на излом перпендикулярно сланцеватости. Кровельные сланцы используют в производстве кровельных плиток и некоторых строительных деталей (плит для внутренней облицовки помещений, лестничных ступеней, плит для пола, подоконных досок и т. п.).

Гнейсы – породы метаморфического генезиса, образовавшиеся при температуре 600–800 °С и высоком давлении. Исходными являются глинистые и кварцево-полевошпатовые породы. В состав гнейсов входят следующие минералы: кварц, биотит, роговая обманка, полевые шпаты. Текстура – массивная, полосчатая, структура – разнозернистая. Гнейсы по механическим и физическим свойствам в свежем виде не уступают гранитам, однако сопротивление на излом параллельно сланцеватости у них в 1,5–2 раза меньше, чем в перпендикулярном направлении. По плоскостям сланцеватости они раскалываются на плиты, легко расслаиваются при замерзании и оттаивании.

Применяют гнейсы при бутовой кладке, для кладки фундаментов, в качестве материала для щебня и отчасти в виде плит для мощения дорог. Щебень из сильно сланцеватого гнейса не используют для бетона и дорожного строительства, так как он получается непригодным по форме зерен.

Кварцитами называют мелкозернистые кварцевые или кремнистые песчаники, их образование связано с перекристаллизацией песчаников. Кварциты содержат 95–99 % SiO_2 . Важным свойством их является высокая огнеупорность – до 1710–1770 °С и прочность на сжатие – 100–455 МПа.

В строительстве кварциты используют в качестве стенового камня, подферменных камней в мостах, бута, щебня и брусчатки, а кварциты с красивой и неизменяющейся окраской – для облицовки зданий. Кварциты, применяемые в качестве кислотоупорного материала, должны обладать высокой кислотоупорностью и малой пористостью.

Мрамор – мелко-, средне- и крупнозернистая плотная карбонатная порода, состоящая, главным образом, из кальцита и представляющая собой перекристаллизованный известняк. Прочность на сжатие – 100–300 МПа, но легко поддается обработке, вследствие плотности хорошо полируется. Мрамор широко применяется для внутренней отделки стен зданий, ступеней лестниц и т. п. В виде песка и мелкого щебня (крошки) его используют для цветных штукатурок, облицовочного декоративного бетона и т. п. В условиях сульфатной коррозии для наружных облицовок мрамор не применяют. Добывают мрамор на Урале, Дальнем Востоке, в Карелии.

2.5. Материалы и изделия из природного камня

Природный камень служил основным строительным материалом еще первобытному человеку. Все древние постройки: храмы, дворцы, крепости, мосты, акведуки, ритуальные сооружения возводились из природного камня и до сих пор поражают современного человека как удивительные «Чудеса Света». Во многих странах (Египте, Мексике, Греции, Италии, Китае, Камбодже, Индии) сохранилось большое количество выдающихся памятников каменного зодчества, являющихся архитектурно-строительной составляющей древнейших цивилизаций, существовавших на Земле.

Каменные природные материалы очень прочны, долговечны, огнестойки, изготовлены из местного сырья. В наше время природные плотные каменные материалы уже не используются для возведения стен, арок, куполов, колонн и других несущих конструкций, так как они трудоемки, обладают большой массой и высокой теплопроводностью. Но из-за положительных эксплуатационных и эстетических качеств продолжают широко применяться для облицовочных работ, устройства полов, дорожных покрытий и пр. Пористые природные материалы применяются в конструкциях стен жилых и общественных зданий в виде стеновых камней и блоков. Отходы горнодобывающей и камнеобрабатывающей промышленности используются в качестве заполнителя для бетонов, изготовления других искусственных каменных изделий [1].

2.5.1. Характеристика и применение природных каменных изделий

2.5.1.1. Грубообработанные каменные изделия

Бутовый камень (бут) – куски камня неправильной формы, размером не более 50 см по наибольшему измерению. Бутовый камень может быть рваный (неправильной формы) и постелистый. Для получения рваного бута и щебня разработку пород осуществляют преимущественно взрывным способом. Плитняковый бут получают из пород пластового залегания. Крупные отдельности такой породы, ограниченные трещинами, отделяют экскаватором с последующей развалкой кусков до требуемых размеров камнекольным инструментом. Бутовый камень получают разработкой местных осадочных и изверженных пород, отвечающих проектным требованиям в отношении прочности, морозостойкости, водостойкости. Бут из осадочных пород (известняков, доломитов, песчаников) не должен содержать примесей глины, рыхлых прослоек и включений пирита. Из бута возводят плотины и другие гидротехнические сооружения, его применяют для подпорных стенок, кладки фундаментов и стен неотапливаемых зданий. Большое количество буттового камня перерабатывается в щебень.

Щебень – куски камня размером 5–70 мм (для гидротехнического строительства до 150 мм). Получают его дроблением бутового камня. Для обеспечения нужного зернового состава щебня процесс дробления осуществляют в несколько стадий. Встречается и природный щебень, называемый дресвой.

Гравий состоит из окатанных зерен тех же размеров, что и у щебня. Его получают просеиванием рыхлых осадочных пород, в необходимых случаях применяют промывку для удаления вредных примесей (глины, пыли).

Песок состоит из зерен различных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и др.) с размерами 0,16–5 мм. Применяют природные и искусственные (дробленые) пески.

Щебень, гравий и песок используют в качестве заполнителей для бетонов.

2.5.1.2. Камни и плиты

Стеновые камни получают из туфов и пористых известняков путем выпиливания механизированным способом из массива горной породы или распиловки блоков-заготовок. Камни применяют для кладки наружных и внутренних стен и перегородок. Основные размеры стеновых камней: 390х190х188; 490х240х188; 390х190х288 мм. Каждый такой камень заменяет в кладке 8–12 кирпичей. Целесообразно изготовлять и применять стеновые блоки объемом не менее 0,1 м³ из туфа, известняка, доломита, песчаника или пористого андезита (рис. 2.4). Укрупнение камней уменьшает затраты труда, позволяет перейти к индустриальным методам строительства. Стены из мелкопористого природного камня не требуют наружной штукатурки или облицовки.

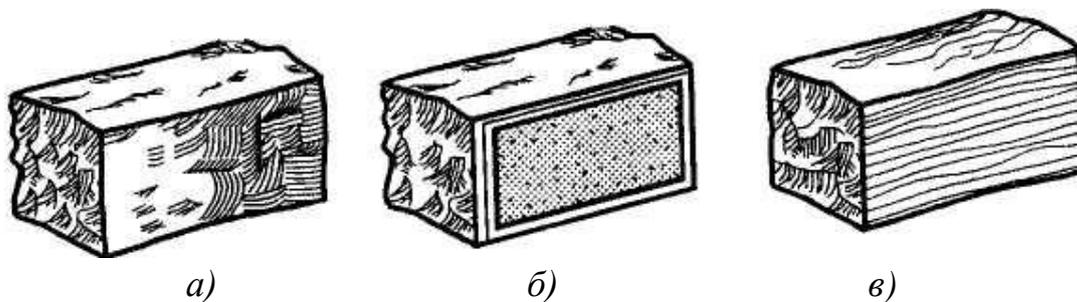


Рис. 2.4. Блоки:
а – колотый; б – тесаный; в – пиленый

Для наружных стен применяют камни плотностью не более 2300 кг/м³. Водопоглощение камня должно быть не более 30 %, морозостойкость – не менее F15.

Для облицовки гидротехнических сооружений, набережных, устоев мостов, цокольной части монументальных зданий применяют камни и плиты из гранита и других изверженных пород, которым свойственна высокая морозостойкость, прочность и твердость. Камни для облицовки могут быть плитообразные (толщиной 15–25 см), утолщенные пирамидального вида (толщиной 30 см и более).

Наружная облицовка зданий может выполняться из атмосферостойких осадочных пород (известняков, доломитов, песчаников, туфов), которые легче поддаются обработке и экономнее гранитных пород. Для внутренней облицовки общественных зданий и сооружений (например, станций метрополитена) широко используют плиты, получаемые из хорошо распиливаемых пород: мрамора, ангидрида, гипса. Плиты для наружной облицовки имеют толщину 4–8 см, для внутренней – 1,2–4 см. Применение алмазных резцов позволяет изготавливать тонкие (5–10 мм) экономичные плиты, стоимость которых в 2–4 раза ниже обычных. Тонкие плиты находят широкое применение, особенно для внутренней облицовки.

Специальные облицовки применяют для защиты от коррозии и действия высоких температур. Для защиты от растворов кислот (кроме плавиковой и кремнефтористоводородной) используют андезит, гранит, сиенит, диабаз, кварцит, кремнистый песчаник и другие кислотоустойчивые породы.

Цокольные плиты, а также детали карнизов, поясков и других выступающих частей сооружений изготавливают из стойких пород. Эти изделия не должны иметь волосных трещин, им придается такая форма, чтобы на них не задерживалась вода от дождя и тающего снега.

Плиты для полов и каменных ступеней внутренних лестниц должны иметь высокие износостойкость и декоративные свойства, соответствующие архитектуре интерьера.

Природные каменные материалы применяют в больших количествах для гидротехнических сооружений. В зоне переменного уровня воды условия службы материала особенно неблагоприятны: камень

испытывает многократное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии. Защитную облицовку в этой зоне устраивают из плотных изверженных пород, имеющих водопоглощение не более 1 %, марку по прочности – не ниже 80–100 МПа и по морозостойкости – F150–F500 в зависимости от класса сооружения, климатических и других условий эксплуатации. Соответствующим требованиям должны удовлетворять и материалы для каменных набросных плотин. Внутренние части набросок можно сделать из камня, полученного из осадочных пород марок 30–60 МПа с коэффициентом размягчения не менее 0,7–0,8. Каменные материалы проверяют на влияние веществ, растворенных в воде (морской, грунтовой, речной, болотной).

Бортовые камни, отделяющие проезжую часть дороги от тротуара, изготавливают из плотных изверженных пород (гранита, диабазы и т. п.), отличающихся высокой морозо- и износостойкостью и прочностью. Бортовые камни бывают прямые и лекальные, высокие – до 40 см и низкие – до 30 см. Эти камни применяют вместо бетонных при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Брусчатка для мощения дорог имеет форму бруска, слегка суживающегося книзу. Брусчатку изготавливают механизированным способом из однородных мелко- и среднезернистых пород (диабазы и др.). Из таких пород изготавливают шашку для мозаичной мостовой (приближающуюся по форме к кубу) и шашку для мощения (в виде усеченной пирамиды).

Тротуарные плиты изготавливают из гнейсов и подобных им слоистых горных пород. Они имеют форму прямоугольной или квадратной плиты со стороной 20–80 см, с ровной поверхностью, толщиной не менее 4 см и не более 15 см.

2.5.1.3. Каменные кислотоупорные изделия

Некоторые магматические и метаморфические (кварциты) горные породы используют для футеровки разнообразных установок и аппаратов, подвергающихся действию кислот, щелочей, солей и агрессивных газов, а также испытывающих влияние высоких и резко меняющихся температур и давлений. Кислотоупорные породы идут на изготовление тесаных плит, кирпичей, брусков и фасонных изделий,

а в дробленном и размолотом виде служат в качестве заполнителей и наполнителей в кислотоупорном бетоне, являются составными частями кислотоупорных цементов. В соответствии с назначением применяемые горные породы должны удовлетворять определенным требованиям, а именно: быть кислотоупорными, т. е. хорошо сопротивляться воздействию различных кислот и других реагентов (это свойство оценивается по растворимости порошка породы в концентрированных кислотах (соляной, серной) при нагревании); иметь высокую огнеупорность; обладать достаточным сопротивлением сжатию и изгибу, а также вязкостью; выдерживать резкие колебания температур. Из изверженных горных пород кислотоупорными являются, главным образом, кислые мелкокристаллические, к которым относятся бештаунит, андезиты, граниты и некоторые туфы, а из метаморфических – кварциты [1].

Применение кислотоупорного штучного камня ограничено его высокой стоимостью, обусловленной трудностью добычи и обработки, а также малым выходом готовой продукции из горной массы. Полноценным заменителем камня служит значительно более дешевый кислотоупорный бетон. Со штучным тесаным камнем соперничает также искусственный литой камень (базальтовый, диабазовый).

2.6. Коррозия каменных материалов

Основные причины разрушения природных каменных материалов в сооружениях: замерзание воды в порах и трещинах, вызывающее внутренние напряжения; частое изменение температуры и влажности, вызывающее появление в материале микротрещин; растворяющее действие воды и понижение прочности при водонасыщении; химическая коррозия, происходящая под действием газов, содержащихся в атмосфере (SO_2 , CO_2 и др.), и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде.

Конструктивную защиту открытых частей сооружений (цоколей, карнизов, поясков, столбов, парапетов) сводят к приданию им такой формы, которая облегчает отвод воды. Этому же способствует гладкая полированная поверхность облицовки и профилированных деталей.

Стойкость пористых каменных материалов, которые не полируются, повышают путем пропитки поверхностного слоя уплотняющими составами и нанесения на лицевую поверхность гидрофобизирующих (водоотталкивающих) составов [1]. Кремнефторизацию (или флюатирование) применяют для повышения стойкости наружной облицовки и других материалов, полученных из карбонатных пород. При пропитывании известняка раствором флюата (соли кремнефтористоводородной кислоты) происходит химическая реакция:



Полученные нерастворимые в воде вещества CaF_2 , MgF_2 и SiO_2 отлагаются в порах и уплотняют лицевой слой камня. В результате этого уменьшается его водопоглощение и возрастает морозостойкость, а облицовка из камня меньше загрязняется пылью.

Некарбонатные пористые каменные материалы предварительно обрабатывают водными растворами кальциевых солей (например, CaCl_2), а после этого пропитывают флюатами [1].

Гидрофобизация, т. е. пропитка гидрофобными составами (например, кремнийорганическими жидкостями), понижает проникновение влаги в пористый камень, в частности, при капиллярном подсосе. Для защиты камня от коррозии применяют пленкообразующие полимерные материалы – прозрачные и окрашенные. Кроме того, поверхность камня пропитывают мономером с последующей его полимеризацией.

3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

3.1. Общие сведения

Керамическими называют изделия и материалы, получаемые из глиняных масс или из их смесей с минеральными добавками путем формования с последующей сушкой и обжигом.

Название «керамика» происходит от греческого слова «keramos» – глина. Поэтому под технологией керамики всегда подразумевали производство материалов и изделий из глинистого сырья и смесей его с органическими и минеральными добавками. Материал, из которого

состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют *керамическим черепком*.

Глины всегда в истории человечества были и являются одним из основных видов строительных материалов. Вначале – 8000 лет до н. э. – глины применялись в необожженном виде для глинобитного строительства и изготовления саманного и сырцового кирпича. 3500 лет до н. э. отмечается начало применения керамического кирпича, а 1000 лет до н. э. – глазурованного кирпича и черепицы. С середины первого тысячелетия в Китае начинается производство изделий из фарфора. В России первый кирпичный завод был построен в Москве в 1475 г., а в 1744 г. в Петербурге начал работать первый фарфоровый завод. В конце XVIII – середине XIX в. бурное развитие металлургической, химической и электротехнической промышленности привело к развитию производства огнеупорной, кислотоупорной, электроизоляционной керамики и плиток для полов. С начала текущего столетия получило развитие производство эффективного кирпича и пустотелых камней для возведения стен и перекрытий, а также керамических плиток для внутренней и наружной отделки и санитарно-технических изделий. В последнее время получило распространение производство специальной керамики с уникальными свойствами для нужд ядерной энергетики, машиностроения, электронной, ракетной и других отраслей промышленности. Большой практический интерес имеют керметы, состоящие из металлической и керамической частей.

Несмотря на большое разнообразие, керамические материалы имеют много общих признаков, в соответствии с которыми их можно классифицировать. Их классифицируют по ряду признаков [3].

По **назначению** керамические изделия подразделяют на следующие виды: стеновые, отделочные, кровельные, для полов, для перекрытий, дорожные, санитарно-технические, кислотоупорные, теплоизоляционные, огнеупорные и заполнители для бетонов.

По **структуре** различают керамические изделия с пористым и спекшимся (плотным) черепком. Пористыми считают изделия с водопоглощением по массе более 5 %. К ним относятся изделия как грубой (керамические стеновые кирпич и камень, изделия для кровли и перекрытий, дренажные трубы), так и тонкой (облицовочные плитки, фаянсовые) керамики. К плотным относят изделия с водопоглощением

по массе менее 5 %. К ним принадлежат также изделия и грубой (клинкерный кирпич, крупноразмерные облицовочные плиты), и тонкой (фаянс, полуфарфор, фарфор) керамики.

По **температуре плавления** керамические материалы и изделия подразделяются на легкоплавкие (с температурой плавления ниже 1350 °С), тугоплавкие (с температурой плавления 1350–1580 °С), огнеупорные (1580–2000 °С), высшей огнеупорности (более 2000 °С).

Возможность получения любых заданных свойств, широкая номенклатура, большие запасы повсеместно распространенного сырья, сравнительная простота технологии, высокая долговечность и экологическая безвредность керамических материалов обеспечивают им одно из первых мест по значимости и объемам производства среди других строительных материалов. Так, выпуск керамического кирпича составляет около половины объема всех стеновых материалов.

3.2. Сырье для производства керамических материалов

Основным сырьевым материалом для производства строительных керамических изделий является глинистое сырье, применяемое в чистом виде, а чаще в смеси с добавками – отощачивающими, порообразующими, плавнями, пластификаторами и др.

3.2.1. Глинистое сырье

Глинистое сырье (глины) – продукт выветривания изверженных полевошпатных горных пород, содержащий примеси других горных пород. Глинистые минеральные частицы диаметром 0,005 мм и менее обеспечивают способность при затворении водой образовывать пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную форму, а после обжига приобретающее водостойкость и прочность камня. Помимо глинистых частиц в составе сырья имеется определенное содержание пылевидных частиц с размерами зерен 0,005–0,16 мм и песчаных частиц с размерами зерен 0,16–2 мм [2].

Глинистые частицы имеют пластинчатую форму, между которыми при смачивании образуются тонкие слои воды, вызывая набухание частиц и способность их к скольжению относительно друг друга без потери связности. Поэтому глина, смешанная с водой, дает легко

формуемую пластичную массу. При сушке глиняное тесто теряет воду и уменьшается по объему. Этот процесс называется *воздушной усадкой*. Чем больше в глинистом сырье глинистых частиц, тем выше пластичность и воздушная усадка глин.

В зависимости от этого глины подразделяются на высокопластичные, среднепластичные, умеренно-пластичные, малопластичные и непластичные [2]. **Высокопластичные** глины имеют в своем составе до 80–90 % глинистых частиц, число пластичности более 25, водопотребность более 28 % и воздушную усадку 10–15 %. **Средне- и умеренно-пластичные** глины имеют в своем составе 30–60 % глинистых частиц, число пластичности 15–25, водопотребность 20–28 % и воздушную усадку 7–10 %. **Малопластичные** глины имеют в своем составе от 5 до 30 % глинистых частиц, водопотребность менее 20 %, число пластичности 7–15 и воздушную усадку 5–7 %. Непластичные глины не образуют пластичное удобоформуемое тесто.

Глины с содержанием глинистых частиц более 60 % называют «жирными», отличаются высокой усадкой, для снижения которой в глины добавляют отощающие добавки. Глины с содержанием глинистых частиц менее 10–15 % – «тощие» глины, в них при производстве изделий вводят тонкодисперсные добавки, например, бентонитовую глину.

Различное сочетание химического, минералогического и гранулометрического состава компонентов обуславливает различные свойства глинистого сырья и пригодность его для получения керамических изделий тех или иных свойств и назначения.

Гранулометрический состав глин тесно связан с минералогическим составом. Песчаные и пылевидные фракции представлены, главным образом, в виде остатков первичных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и др.). Глинистые частицы в большинстве своем состоят из вторичных минералов: каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O$, гидрослюдистых и их смесей в различных сочетаниях [3].

Глины с преобладающим содержанием каолинита имеют светлую окраску, слабо набухают при взаимодействии с водой, характеризуются тугоплавкостью, малопластичны и малочувствительны к сушке.

Глины, содержащие монтмориллонит, весьма пластичны, сильно набухают, при формовке склонны к свилеобразованию, чувствительны к сушке и обжигу с проявлением искривления изделий и растрескивания. Высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонита называют *бентонитами*. Содержание в них частиц размером менее 0,001 мм достигает 85–90 %. Образцы с преобладанием в глинистой части гидрослюдистых минералов характеризуются промежуточными показателями пластичности, усадки и чувствительности к сушке.

Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов. В керамическом сырье содержание важнейших оксидов колеблется в широких пределах: SiO_2 – 40–80 %; Al_2O_3 – 8–50 %; Fe_2O_3 – 0–15 %; CaO – 0,5–25 %; MgO – 0–4 %; R_2O – 3–5 %. С увеличением содержания Al_2O_3 повышается пластичность и огнеупорность глин, а с повышением содержания SiO_2 – пластичность глин снижается, увеличивается пористость, снижается прочность обожженных изделий. Присутствие оксидов железа снижает огнеупорность глин, присутствие тонкодисперсного известняка придает светлую окраску и понижает огнеупорность глин, а камневидные включения известняка являются причинами появления «дутиков» и трещин в керамических изделиях. Оксиды щелочных металлов (Na_2O и K_2O) являются сильными плавнями, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка и повышению его прочности. Наличие в глинистом сырье растворимых солей сульфатов и хлоридов натрия, кальция, магния и железа вызывает появление белых выцветов на поверхности изделий.

Для изготовления отдельных видов огнеупорных теплоизоляционных изделий применяют глинистое сырье из трепелов и диатомитов, состоящее в основном из аморфного кремнезема, а для производства легких заполнителей используют перлит, пемзу, вермикулит.

В настоящее время природные глины в чистом виде редко являются кондиционным сырьем для производства керамических изделий. В связи с этим их применяют с введением добавок различного назначения.

3.2.2. Добавки к глинам

Отощающие добавки. Их вводят в пластичные глины для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях. К ним относятся: дегидратированная глина, шамот, шлаки, золы, кварцевый песок.

Порообразующие добавки. Их вводят для повышения пористости черепка и улучшения теплоизоляционных свойств керамических изделий. К ним относятся: древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль. Эти добавки являются одновременно и отощающими.

Плавни. Их вводят с целью снижения температуры обжига керамических изделий. К ним относятся: полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк, песчаник, пегматит, стеклобой, перлит.

Пластифицирующие добавки. Их вводят с целью повышения пластичности сырьевых смесей при меньшем расходе воды. К ним относятся высокопластичные глины, бентониты, поверхностно-активные вещества.

Специальные добавки. Для повышения кислотостойкости керамических изделий в сырьевые смеси добавляют песчаные смеси, затворенные жидким стеклом. Для получения некоторых видов цветной керамики в сырьевую смесь добавляют оксиды металлов (железа, кобальта, хрома, титана и др.).

3.2.3. Глазури и ангобы

Некоторые виды керамических изделий для повышения санитарно-гигиенических свойств, водонепроницаемости, улучшения внешнего вида покрывают декоративным слоем – глазурью или ангобом.

Глазурь – стекловидное покрытие толщиной 0,1–0,2 мм, нанесенное на изделие и закрепленное обжигом. Глазури могут быть прозрачными и глухими (непрозрачными) различного цвета. Для изготовления глазури используют: кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных и щелочноземельных металлов. Сырьевые смеси размалывают в порошок и наносят на поверхность изделий в виде порошка или суспензии перед обжигом.

Ангобом называется нанесенный на изделие тонкий слой беложгущейся или цветной глины, образующей цветное покрытие с матовой поверхностью. По свойствам ангоб должен быть близок к основному черепку.

3.3. Общая схема производства керамических изделий

При всем многообразии керамических изделий по свойствам, формам, назначению, виду сырья и технологии изготовления основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: добыча сырьевых материалов, подготовка массы, формование изделий, их сушка и обжиг [2].

Добыча глины осуществляется на карьерах обычно открытым способом экскаваторами, затем она транспортируется на предприятие керамических изделий рельсовым, автомобильным или другим видом транспорта. Разработке карьера предшествуют подготовительные работы: геологическая разведка с установлением характера залегания, полезной толщи и запасов глин; счистка поверхности от растений за год-два до начала разработки, удаление пород, непригодных для производства.

3.3.1. Подготовка глин и формование изделий

Карьерная глина в естественном состоянии обычно непригодна для получения керамических изделий. Поэтому проводится ее обработка с целью подготовки массы. Подготовку глин целесообразно вести сочетанием естественной и механической обработки. Естественная обработка подразумевает собой вылеживание предварительно добытой глины в течение 1-2 лет при периодическом увлажнении атмосферными осадками, а искусственная обработка предполагает замачивание, периодическое замораживание и оттаивание. Механическая обработка глин производится с целью дальнейшего разрушения их природной структуры, удаления или измельчения крупных включений, удаления вредных примесей, измельчения глин и добавок и перемешивания всех компонентов до получения однородной и удобоформуемой массы с использованием специализированных машин (глинорыхлителей; камневыделительных, дырчатых, дезинтеграторных, грубого и тонкого помола вальцов; бегунов, глинорастирочных машин, корзинчатых дезинтеграторов, роторных и шаровых мельниц, одно- и двухвальных глиномешалок, пропеллерных мешалок и др.).

В зависимости от вида изготавливаемой продукции, вида и свойств сырья массу приготавливают пластическим, жестким, полусухим, сухим

и шликерным способами. Способ приготовления массы определяет и способ формования, и название в целом способа производства.

При **пластическом способе** подготовки массы и формования исходные материалы при естественной влажности или предварительно высушенные смешивают с добавками воды до получения теста с влажностью от 18 до 28 %. Этот способ производства керамических строительных материалов является наиболее простым, наименее металлоемким и потому наиболее распространенным. Он применяется в случаях использования среднепластичных и умеренно-пластичных, рыхлых и влажных глин с умеренным содержанием посторонних включений, хорошо размокающих и превращающихся в однородную массу. Формование при пластическом способе всегда производится на ленточном шнековом прессе с вакуумированием и подогревом или без них. Вакуумирование и подогрев массы при прессовании позволяет улучшить ее формовочные свойства, увеличить прочность обожженного изделия до двух раз. В корпусе пресса вращается шнек-вал с винтовыми лопастями. Глиняная масса перемещается с помощью шнека к сужающейся переходной головке, уплотняется и выдавливается через мундштук в виде непрерывного бруса или ленты, или трубы под давлением 1,6–7 МПа. Производительность современных ленточных прессов по производству кирпича достигает 10000 штук в час.

Жесткий способ формования является разновидностью современного развития пластического способа. Влажность формуемой массы при этом способе колеблется от 13 до 18 %. Формование осуществляется на мощных вакуумных шнековых или гидравлических прессах. Вакуум-пресс итальянской фирмы «Бонджени», например, создает давление прессования до 20 МПа. В связи с тем, что «жесткое» формование осуществляется при относительно высоких (10–20 МПа) давлениях, могут быть использованы менее пластичные и с естественной низкой влажностью глины. При этом способе требуются меньшие энергетические затраты на сушку, а получение изделия сырца с повышенной прочностью позволяет избежать некоторых операций в технологии производства, обязательных при пластическом способе. Формование при пластическом и жестком способах завершается разрезкой непрерывной ленты отформованной массы на отдельные изделия на резательных устройствах. Эти способы формования наиболее распространены при выпуске полнотелых и пустотелых кирпичей, камней, блоков и панелей, черепицы и т. п.

Полусухой способ производства строительных керамических изделий распространен меньше, чем способ пластического формования. Керамические изделия по этому способу формуют из шихты с влажностью 8–12 % при давлениях 15–40 МПа. Недостаток способа в том, что его металлоемкость почти в 3 раза выше, чем пластического. Но вместе с тем он имеет и преимущества. Длительность производственного цикла сокращается почти в 2 раза: изделия имеют более правильную форму и более точные размеры; до 30 % сокращается расход топлива; в производстве можно использовать малопластичные тощие глины с большим количеством добавок отходов производства – золы, шлаков и др. Сырьевая масса представляет собой порошок, который должен иметь около 50 % частиц менее 1 мм и 50 % – размером 1–3 мм.

Прессование изделий производится в прессформах на одно или несколько отдельных изделий на гидравлических или механических прессах. По этому способу делаются все виды изделий, которые изготавливаются и пластическим способом.

Сухой способ является разновидностью современного развития полусухого производства керамических изделий. Пресс-порошок при этом способе готовится с влажностью 2–6 %. При этом устраняется полностью необходимость операции сушки. Таким способом изготавливают плотные керамические изделия-плитки для полов, дорожный кирпич, материалы из фаянса и фарфора.

Шликерный способ применяется, когда изделия изготавливаются из многокомпонентной массы, состоящей из неоднородных и трудноспекающихся глин и добавок, и когда требуется подготовить массу для изготовления керамических изделий сложной формы методом литья. Отливка изделий производится из массы с содержанием воды до 40 %. Этим способом изготавливаются санитарно-технические изделия, облицовочные плитки.

3.3.2. Сушка изделий

Перед обжигом изделия должны быть высушены до содержания влаги 5–6 % во избежание неравномерной усадки, искривлений и растрескивания при обжиге [2].

Прежде сырец сушили преимущественно в естественных условиях в сушильных сараях в течение 2-3 недель в зависимости от климатических условий. В настоящее время сушка производится преимущественно искусственная в туннельных непрерывного действия или камерных периодического действия сушилах в течение нескольких (вплоть до 72) часов в зависимости от свойств сырья и влажности сырца. Сушка производится при начальной температуре теплоносителя (отходящих газов от обжиговых печей или подогретого воздуха) 120–150 °С.

3.3.3. Обжиг изделий

Обжиг – важнейший и завершающий процесс в производстве керамических изделий. Этот процесс можно разделить на три периода: прогрев сырца, собственно обжиг и регулируемое охлаждение [2]. При нагреве сырца до 120 °С удаляется физически связанная вода и керамическая масса становится непластичной. Но если добавить воду, пластические свойства массы сохраняются. При температурном интервале от 450 до 600 °С происходит отделение химически связанной воды, разрушение глинистых минералов и глина переходит в аморфное состояние. При этом, при дальнейшем повышении температуры, выгорают органические примеси и добавки, а керамическая масса безвозвратно теряет свои пластические свойства. При 800 °С начинается повышение прочности изделий, благодаря протеканию реакций в твердой фазе на границах поверхностей частиц компонентов.

В процессе нагрева до 1000 °С возможно образование новых кристаллических силикатов, например силлиманита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$, а при нагреве до 1200 °С – и муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Одновременно с этим легкоплавкие соединения керамической массы и минералы плавни создают некоторое количество расплава, который обволакивает нерасплавившиеся частицы, стягивает их, приводя к уплотнению и усадке массы в целом. Эта усадка называется огневой усадкой. В зависимости от вида глин она составляет от 2 до 8 %. После остывания изделие приобретает камневидное состояние, водостойкость и прочность. Свойство глин уплотняться при обжиге и образовывать камнеподобный черепок называется *спекаемостью глин*.

В зависимости от назначения обжиг изделий ведется до различной степени спекания. Спекшимся считается черепок с водопоглощением менее 5 %. Большинство строительных изделий обжигается до получения черепка с неполным спеканием в определенном температурном интервале – от температуры огнеупорности до начала спекания, – называемом *интервалом спекания*. Интервал спекания для легкоплавких глин составляет 50–100 °С, а для огнеупорных – до 400 °С. Чем шире интервал спекания, тем меньше опасность деформаций и растрескивания изделий при обжиге. Интервал температур обжига лежит в пределах: от 900 до 1100 °С – для кирпича, камня, керамзита; от 1100 до 1300 °С – для клинкерного кирпича, плиток для полов, гончарных изделий, фаянса; от 1300 до 1450 °С – для фарфоровых изделий; от 1300 до 1800 °С – для огнеупорной керамики.

3.4. Стеновые керамические изделия

К группе стеновых изделий относятся: кирпич керамический обыкновенный, эффективные керамические материалы (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий, пустотелые камни, блоки и плиты), а также крупноразмерные блоки и панели из кирпича и керамических камней [1].

Керамический кирпич. Керамические кирпич и камни изготавливают из легкоплавких глин с добавками или без них и применяются для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений, а также для изготовления стеновых панелей и блоков.

В зависимости от размеров кирпич и камни подразделяются на виды: кирпич, утолщенный, модульный, камень обыкновенный, укрупненный, модульный и с горизонтальным расположением пустот.

Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень – только пустотелым. Пустоты в изделиях могут быть сквозными или несквозными и располагаться перпендикулярно (вертикальные) или параллельно постели (горизонтальные). Поверхность граней может быть гладкой и рифленой. Кирпич и камень должны быть нормально обожжены, так как недожог (алый цвет) обладает недостаточной прочностью, малой водостойкостью и морозостойкостью, а пережженный кирпич (железняк) отличается повышенной плотностью, теплопроводностью и, как правило, имеет искаженную форму. По внешнему виду кирпич и камень должны удовлетво-

рять определенным требованиям. Это устанавливается путем осмотра и обмера определенного количества кирпича от каждой партии (0,5 %, но не менее 100 шт.) на предмет отклонений от установленных размеров, непрямолинейности ребер и граней, отбитости углов и ребер, наличия сквозных трещин, проходящих через всю толщину и протяженностью до половины и более ширины изделия. Общее количество изделий с отклонениями, выше допустимых, должно быть не более 5 %.

По прочности кирпич подразделяют на марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; крупноформатные камни – М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300; кирпич и камень с горизонтальными пустотами – М25, М35, М50, М75, М100.

По морозостойкости кирпич выпускается четырех марок: F25; F35; F50. Водопоглощение кирпича должно быть не менее 6 %.

По средней плотности изделия подразделяют на классы: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0, которые должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 3.1 [3].

Таблица 3.1

Классы стеновых изделий по средней плотности

Классы изделий по средней плотности	Средняя плотность, кг/м ³
0,8	До 800
1,0	801–1000
1,2	1001–1200
1,4	1201–1400
2,0	Свыше 1400

В зависимости от теплопроводности и класса по средней плотности стеновые изделия подразделяют на группы, приведенные в табл. 3.2 [3].

Таблица 3.2

Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии λ , Вт/(м·°С)	Класс средней плотности изделия
Высокой эффективности	До 0,20	0,8
Повышенной эффективности	Свыше 0,20 до 0,24	1,0
Эффективные	Свыше 0,24 до 0,36	1,2
Условно-эффективные	Свыше 0,36 до 0,46	1,4
Малоэффективные (обыкновенные)	Свыше 0,46	2,0

Применение эффективных стеновых керамических материалов позволяет уменьшить толщину наружных стен, снизить материалоемкость ограждающих конструкций до 40 %, сократить транспортные расходы и нагрузки на основание.

3.5. Облицовочные керамические изделия

Керамические облицовочные изделия применяются для наружной и внутренней облицовки конструкций зданий и сооружений с целью не только декоративно-художественной отделки, но и повышения их долговечности [4].

Керамические изделия для внешней облицовки зданий подразделяются на кирпич и камни лицевые, крупноразмерные плиты, плитки керамические фасадные и ковры из них.

Кирпич и камни лицевые являются не только облицовочными изделиями. Они укладываются вместе с кладкой стены и одновременно служат конструктивным несущим элементом вместе с обычным кирпичом. Лицевые кирпич и камни выпускаются тех же размеров и форм, что и обычные, и отличаются от последних более высокой плотностью и однородностью цвета. Производятся по прочности марок М100, М125 и М150, а по морозостойкости – не менее F50. Регулируя состав сырья и режим обжига, получают от белого, кремового до светло-красного и коричневого цветов. При отсутствии высококачественного сырья изготавливаются с лицевой поверхностью офактуренной: ангобированием, двухслойным формованием, глазурованием и торкретированием цветной минеральной крошкой. Двухслойные изделия изготавливают формованием из двух масс: основной части – из местных красножгущихся глин и лицевого слоя толщиной 3–5 мм – из светложгущихся окрашенных или неокрашенных глин. Применяется и рельефное офактуривание, которое производится путем обработки еще влажных сырцовых изделий специальными металлическими ершами, гребенками, рифлеными валиками. Для зданий, возводимых из кирпича, лицевые кирпичи являются наиболее экономичным видом облицовки зданий.

Крупноразмерные облицовочные керамические плиты типа «плинк» универсального назначения выпускаются глазурованные и

неглазурованные с гладкой, шероховатой или рифленой, одно- или многоцветной поверхностью. Плиты имеют водопоглощение менее 1 % и морозостойкость F50 и более. Изготавливаются квадратной или прямоугольной формы. Применяются для облицовки фасадов и цоколей зданий, подземных переходов.

Плитки керамические фасадные и ковры применяются для облицовки наружных стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, цоколей, подземных переходов и оформления других элементов зданий. Плитки выпускаются глазурованные и неглазурованные, рядовые и специального назначения, с гладкой и рельефной поверхностью и различными размерами. Водопоглощение стеновых плиток до 12 %, а цокольных – не более 5 %. Морозостойкость для стеновых плиток должна быть не менее F40, а для цокольных – не менее F50. Плитки могут поставляться в коврах. Заводы выпускают ковры с наклейкой плиткой их лицевой стороной на крафт-бумагу.

Сырьем для производства плиток являются светложгущиеся спекающиеся глины повышенной пластичности, хорошо переносящие сушку и обжиг без коробления и трещин. В зависимости от содержания красящих окислов цвет обожженных изделий может быть от белого до светло-кремового, желтого и красного.

В современной технологии производство плиток осуществляют как полусухим прессованием из порошков, так и пластическим формованием. В отечественной промышленности наиболее распространен метод полусухого прессования из порошков, полученных по шликерному способу подготовки масс. Прессуют плитки на коленно-рычажном прессе при удельном давлении прессования 3–5 МПа, а на гидравлическом прессе – 27–30 МПа. Отпрессованные плитки раскладочным устройством распределяются в несколько рядов на транспортном устройстве, с помощью которого направляются в конвейерную сушилку, после чего подвергаются утильному обжигу, а затем глазированию и повторному обжигу в щелевой печи. Обожженные плитки после сортировки и упаковки поступают на склад готовой продукции.

Керамические плитки для внутренней облицовки подразделяются на две группы – для облицовки стен и для покрытия полов. Эти изделия не подвергаются в условиях эксплуатации действию отрицательных температур, поэтому требования морозостойкости к ним не предъявляются.

Плитки для облицовки стен применяются двух видов – *майоликовые* и *фаянсовые*. Фаянсовые плитки изготавливаются из сырьевой смеси каолина, полевого шпата и кварцевого песка, а майоликовые – из краснойжгущихся глин с последующим покрытием глазурью. Плитки классифицируют: по характеру поверхности – на плоские рельефно-орнаментированные и фактурные; по виду глазурного покрытия – прозрачные и глухие, блестящие и матовые, одноцветные и декорированные многоцветными рисунками. По форме, назначению и характеру кромок плитки производятся следующих видов: квадратные, прямоугольные, фасонные угловые, фасонные карнизные прямые, для отделки внешних и внутренних углов; фасонные плитусные – прямые, для отделки внешних и внутренних углов.

Плитки керамические глазурованные для внутренней облицовки стен отличаются по форме, фактуре и виду материала, образующего фактурный слой (50 типов). Керамические плитки должны иметь водопоглощение не более 16 %, предел прочности при изгибе не менее 15 МПа, а глазурное покрытие должно обладать термостойкостью не менее 150 °С и твердостью не менее 5 по шкале Мооса.

Плитки керамические для полов производятся из высокосортных пластичных спекающихся тугоплавких и огнеупорных глин. Подготовку пресс-порошка осуществляют сухим, пластическим или шликерным способом.

Прессование плиток осуществляется на фрикционных, коленно-рычажных и гидравлических прессах, как правило, в две ступени: 1-я ступень 4–6 МПа, 2-я ступень – 22–30 МПа. Сушка плиток до влажности 1-2 % производится в конвейерных радиационных сушилках и реже на стеллажах в отопляемых помещениях. Обжиг производят в туннельных и щелевых печах с газовым отоплением или электрообогревом и реже в печах периодического действия при температуре 1150–1250 °С.

Плитки для полов могут быть неглазурованные и глазурованные, одноцветные и многоцветные, с гладкой, шероховатой (тисненой) или рифленой лицевой поверхностью. По форме плитки бывают квадратные, прямоугольные, треугольные, четырех-, пяти-, шести- и восьмигранные, а также фигурные, прямые и угловые плинтусные изделия. Водопоглощение их должно быть не более 3,8–5 %, истираемость не более 0,07–0,06 г/см².

3.6. Кровельные керамические изделия

К кровельным керамическим материалам относят **черепицу**. Черепица, имея долговечность до 300 лет, по этому показателю значительно превышает любые другие кровельные материалы, а по текстурным качествам и по стоимости не уступает им. К недостаткам черепицы относятся необходимость большого уклона (не менее 30 %) кровли и значительный вес кровли, что требует особой прочности конструкции стропил, а также высокая трудоемкость кровельных работ. Однако высокая долговечность, огнестойкость, устойчивость к атмосферным воздействиям и распространенность сырья делают керамическую черепицу одним из самых эффективных кровельных материалов [1].

По назначению черепицу подразделяют на: рядовую, коньковую, разжелобочную, концевую для замыкания рядов и черепицу специального назначения.

Сырьем для изготовления черепицы служат легкоплавкие глины с повышенной пластичностью, незасоренные, обладающие хорошими сушильными свойствами и дающие после обжига прочный некоробящийся черепок.

Ленточную и коньковую черепицу формируют на ленточных вакуумных прессах с последующей резкой ленты на изделия. Пазовую штампованную черепицу штампуют на рычажно-салазочных, эксцентриковых и револьверных прессах. Сформованную черепицу укладывают на рамки и направляют на сушку. После сушки и тщательной сортировки сырцовые изделия поступают в обжиг при температурах 950–1050 °С.

При монтаже черепица укладывается друг на друга и в связи с этим полезная площадь составляет, соответственно, у плоской – 50 %, у штампованной и ленточной пазовой – 75–85 %. При испытании черепица должна иметь однородную структуру на изломе и обладать пределом прочности на излом в сухом состоянии не менее 70 кг/см², масса 1 м² кровли должна быть не более 45 кг; морозостойкость – не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания, водопоглощение – не более 10 % по массе.

Камни и плиты для перекрытий. Перекрытия из пустотелых камней и плит огнестойки, долговечны, обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Для их устройства требуется небольшой расход цемента и стали и не требуется дополнительная засыпка.

Камни керамические для перекрытий по назначению подразделяются на предназначенные для: сборных элементов настилов, часторб-ристых сборных или монолитных перекрытий, накатов (заполнение между балками). Пустотность керамических камней для перекрытий составляет 50–75 %.

3.7. Санитарно-технические керамические изделия и трубы

Изделия санитарные керамические предназначены для оборудования санитарных узлов жилых, общественных и промышленных зданий. К ним относятся ванны, умывальники, унитаза, смывные бачки, керамическая арматура и др. Эти изделия изготавливают из фарфоровых, полуфарфоровых, фаянсовых и шамотированных масс, которые получают из одинаковых материалов (табл. 3.3) [1].

Ассортимент изделий, а также требования к их качеству регламентируются соответствующими нормативными документами. При этом они должны соответствовать по форме эталонному образцу, не иметь трещин и при постукивании издавать чистый звук, что указывает на качественный обжиг изделий и отсутствие нарушений сплошности черепка. Обязательным условием является равномерность покрытия изделий трещиностойкой глазурью. Водопоглощение фаянсовых изделий не должно превышать 12 %, а из полуфарфора – 5 %.

Таблица 3.3

Типовые составы масс для производства
санитарно-технических изделий (% по массе)

Материалы	Фарфор	Полуфарфор	Фаянс
Каолин	28–30	28–32	32–34
Пластическая беложгущаяся глина	20–22	20–22	22–24
Полевой шпат	20–24	10–12	2–4
Песок кварцевый	20–22	25–28	26–30
Бой обожженный	6–10	8–12	26–30
Жидкое стекло	0,15–0,3	0,15–0,3	0,15–0,3
Сода	0,07–0,15	0,07–0,15	0,07–0,1

Формование изделий санитарно-технического назначения осуществляется литьем из шликера. При этом предусматриваются следующие основные операции: подготовка сырьевых материалов, приготовление литейного и глазурного шликеров, формование (литье) изделий, их оправка, сушка, глазурирование, обжиг и установка арматуры. Вспомогательной производственной операцией при этом служит изготовление гипсовых форм. Подготовка сырьевых материалов и приготовление литейного шликера осуществляются способами, присущими технологии производства тонкокерамических изделий. Процесс отливки может производиться на ручных стендах, ленточно-подвальных конвейерах и механизированных стендах.

Все разновидности санитарно-строительной керамики, освобожденные из гипсовой формы (независимо от способа отливки), обязательно проходят оправку, в которую входят следующие операции: обрезка следов швов формы, обработка поверхностей и отверстий, при ставка отдельно формуемых частей, нарезка резьбы и др. После этого изделия направляются на подвялку до влажности 16–18 %, после чего их вторично оправляют и отправляют на повторную сушку.

Сушат изделия до влажности 0,8–1 % в искусственных конвективных многозонных туннельных сушилах. Высушенные изделия глазурируют методом погружения или пульверизации. После глазурирования изделия направляют на обжиг в туннельных печах. Температура обжига определяется составом массы: фаянсовые изделия обжигают при 1190–1280 °С, шамотированные – при 1280–1300 °С, полуфарфоровые – при 1320–1380 °С.

После обжига производится сортировка изделий; кондиционную продукцию направляют в отделение, где ее укомплектовывают всей необходимой арматурой. Затем изделия упаковывают и отправляют на склад готовой продукции.

Трубы керамические канализационные применяют для строительства безнапорных сетей канализации, транспортирующих промышленные, бытовые, дождевые, агрессивные и неагрессивные воды. Трубы изготавливаются из пластичных тугоплавких и огнеупорных глин цилиндрической формы, длиной 1000–1500 мм, с внутренним диаметром 150–600 мм. На одном конце имеется раструб для соединения отдельных звеньев трубопровода. Водопоглощение труб должно быть не более 8 %, а кислотостойкость – не ниже 93 %. Трубы должны быть водонепроницаемыми и выдерживать внутреннее давление не менее 0,15 МПа.

Трубы керамические дренажные изготавливаются из глины с добавками и без них и применяются в мелиоративном строительстве для устройства закрытого дренажа с защитой стыков фильтрующими материалами.

Трубы производятся с цилиндрической, шести- и восьмигранной поверхностью с внутренним диаметром 50–250 мм и длиной 333 мм. Морозостойкость их – не менее F15, а разрушающая внешняя нагрузка – от 3,5 до 5,0 кН в зависимости от диаметра. Внешняя поверхность труб покрывается глазурью. Вода в трубы поступает через круглые или щелевидные отверстия в стыках, а также через стыки труб.

3.8. Специальные керамические изделия

К специальным керамическим изделиям относятся кирпич для дымовых труб, клинкерный кирпич и кислотоупорные изделия [1].

Кирпич для дымовых труб применяется для кладки кирпичных и футеровки железобетонных промышленных дымовых труб при температуре нагрева кирпича не более 700 °С. Кирпич изготавливается марок от М125 до М300. Размеры кирпича: длина 120 и 250 мм, ширина 120 или 250 мм, толщина 65 или 88 мм. Кирпич бывает прямоугольный или клинообразный. Меньшую длину клинообразного кирпича принимают 70, 100, 200 и 225 мм. Водопоглощение кирпича должно быть не менее 6 %, а морозостойкость – F25, F35 и F50.

Клинкерный кирпич получают обжигом глин до полного спекания, но без остекловывания поверхности, поэтому он отличается от обычного высокой прочностью и морозостойкостью. Номинальные размеры кирпича указывает изготовитель. Форму и размеры кирпича указывают в рабочих чертежах (проектной документации) и согласовывают с заказчиком. Толщина кирпича должна быть не менее 40 мм, соотношение длины к толщине кирпича не должно превышать 6. Средняя плотность кирпича должна быть не менее 2100 кг/м³. По прочности клинкерный кирпич подразделяют на марки: М300, М400, М500, М600, М800, М1000. Предел прочности кирпича при изгибе – не менее 7,5 МПа. Водопоглощение кирпича при атмосферном давлении – не более 2,5 %. Кирпич должен быть морозостойким и в насыщенном водой состоянии должен выдерживать без видимых признаков повреждений или разрушений (растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы) не менее 200 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Истираемость кирпича должна быть не более 1,5 г/см², кислотостойкость – не менее 95 %. Клинкерный кирпич называют также дорожным и применяют для покрытия дорог и мостовых, обмуровки канализационных коллекторов и облицовки набережных. Применяется он и в химической промышленности как кислотостойкий материал.

Кислотоупорный кирпич применяется для защиты аппаратов и строительных конструкций, работающих в условиях кислых агрессивных сред, и при футеровке дымовых труб, которые служат для отвода дымовых газов, содержащих агрессивные среды. Кирпич изготавливается высшей и первой категории качества трех классов А, Б и В и четырех форм: прямой, клиновой (торцовый и ребровый), радиальный (поперечный и продольный) и фасонный (слезник). Размеры кирпича 230x113x65 и 230x113x55 мм. Свойства кирпича имеют следующие значения: кислотостойкость – 98,5–96 %, прочность при сжатии – 60–35 МПа, термическая стойкость – 5–25 теплосмен.

Кислотоупорные плитки применяются для футеровки оборудования и защиты строительных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред. Плитки производятся высшего и первого сортов 6 марок: кислотоупорные фарфоровые (КФ), термокислотоупорные дунитовые (ТКД), термокислото-

упорные для гидролизной промышленности (ТКГ), кислотоупорные для строительных конструкций (КС), кислотоупорные шамотные (КШ) и термокислотоупорные шамотные (ТКШ).

По форме плитки бывают: квадратные плоские, квадратные радиальные, прямоугольные, клиновые и спаренные. С одной стороны плитки имеют ребристую поверхность, обеспечивающую лучшее сцепление с футерируемой конструкцией. Свойства плиток: водопоглощение 0,4–8 %; кислотостойкость 97–99 %; предел прочности при сжатии 10–150 МПа, а при изгибе – 10–40 МПа; термическая стойкость 2–10 теплосмен; морозостойкость 15–20 циклов.

4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

4.1. Общие сведения

Неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать в результате физико-химических процессов. Переходя из тестообразного в камневидное состояние, вяжущее вещество скрепляет между собой камни либо зерна песка, гравия, щебня. Это свойство вяжущих используют для изготовления бетонов, силикатного кирпича, асбоцементных и других необожженных искусственных материалов; строительных растворов – кладочных, штукатурных и специальных.

Неорганические вяжущие вещества делят на воздушные и гидравлические.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и длительное время сохранять прочность только на воздухе. По химическому составу они делятся на четыре группы [1]:

1) *известковые вяжущие*, состоящие, главным образом, из оксида кальция CaO ;

2) *гипсовые вяжущие*, основой которых является сернокислый кальций CaSO_4 ;

3) *магнезиальные вяжущие*, содержащие каустический магнезит MgO ;

4) *жидкое стекло* – силикат натрия (Na_2SiO_3) или калия (K_2SiO_3) (в виде водного раствора).

Гидравлические вяжущие твердеют и длительное время сохраняют прочность (или даже повышают ее) не только на воздухе, но и в воде. По своему химическому составу гидравлические вяжущие вещества представляют собой сложную систему, состоящую в основном из соединений четырех видов: $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$. Эти соединения образуют три основные группы гидравлических вяжущих: силикатные цементы, состоящие преимущественно (на 75 %) из силикатов кальция – к ним относятся портландцемент и его разновидности; алюминатные цементы, вяжущей основой которых являются алюминаты – главным из них является глиноземистый цемент и его разновидности; гидравлическая известь и романцемент [1].

В отдельную группу выделяют **вяжущие автоклавного твердения** – это вещества, способные при автоклавном синтезе, происходящем в среде насыщенного водяного пара, затвердевать с образованием плотного, прочного камня. В эту группу входят: известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие, нефеленовый цемент и др., хотя по существу они тоже относятся к гидравлическим вяжущим [1].

4.2. Воздушные вяжущие вещества

4.2.1. Строительная воздушная известь

Известь (как и гипс) – древнейшее вяжущее вещество. Ее применяли за несколько тысяч лет до нашей эры.

Воздушная известь – продукт умеренного обжига кальциево-магниевого карбонатных горных пород: мела, известняка, доломитизированного известняка, доломита с содержанием глины не более 6 %.

Основной составляющей известняка является карбонат кальция CaCO_3 . Обжигают известняк при температуре 900–1200 °С до возможно более полного удаления CO_2 по реакции:



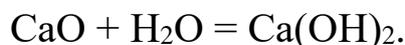
Продукт обжига содержит, кроме CaO (основной составной части), также и некоторое количество оксида магния, образовавшегося в результате термической диссоциации карбоната магния:



Чем выше содержание основных оксидов (CaO + MgO) в извести, тем пластичнее известковое тесто и тем выше ее сорт. Содержание непогасившихся частиц, к которым относятся частицы недожога и пережога, снижает качество извести. Недожогом называют оставшиеся зерна сырья (известняка), которые отощают известковое тесто, ухудшают его пластичность и пескостойкость. Пережог представляет собой остеклованный трудногасящийся оксид кальция, уплотненный при высокой температуре. Частицы пережога гидратируются очень медленно с увеличением своего объема, что может вызвать растрескивание штукатурки, известковых изделий.

Обжиг известняка чаще всего производят в шахтных печах, в которые известняк поступает в виде кусков размером 8–20 см, обжиг мелких кусков известняка может производиться во вращающихся печах. При обжиге известняка удаляется углекислый газ, составляющий 44 % от массы CaCO₃, поэтому комовая негашеная известь получается в виде пористых кусков, активно взаимодействующих с водой.

Гашение воздушной извести заключается в гидратации оксида кальция при действии воды на комовую негашеную известь:



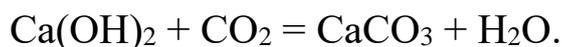
Гашение сопровождается разогревом массы вследствие выделения значительного количества тепла – 950 кДж/кг. В процессе гашения куски негашеной извести самопроизвольно диспергируются, распадаясь на тонкие частицы Ca(OH)₂ размером в несколько микронов (тоньше, чем у цемента). Воздушная известь является единственным вяжущим веществом, которое превращается в тонкодисперсное состояние химическим диспергированием. Высокая удельная поверхность частиц Ca(OH)₂ обуславливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. После отстаивания известковое тесто содержит около 50 % твердых частиц Ca(OH)₂ и 50 % воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной гидродинамической смазки, обеспечивающей высокую пластичность известкового теста в смеси с песком при изготовлении строительных растворов.

Гашение комовой извести в тесто на специализированных растворных заводах производят в известегасильных машинах.

Механизированное гашение ускоряет процесс, повышает качество известкового теста. На небольших стройках комовую известь сначала гасят в творилах, и известковое тесто через сетку сливают в известега-сильную яму, в которой завершается гашение. Известковое тесто выдерживают в яме не менее двух недель. Нельзя применять известковое тесто, в котором осталась непогасившаяся известь, так как ее гашение в штукатурке и кладке вызовет растрескивание затвердевшего известкового раствора.

В зависимости от количества воды, добавляемой к комовой извести, можно получить известковое тесто или гидратную известь (пушонку). Гашение извести в пушонку осуществляют в гидраторах непрерывного действия, в которых выделяющееся тепло и водяные пары используются для превращения комовой извести в тончайший порошок плотностью 400–450 кг/м³. При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2–3,5 раза; в большей степени «распушивается» высокоактивная известь с высоким содержанием СаО.

Твердение гашеной извести. Известь применяется на строительстве в виде строительных растворов, т. е. с песком и другими заполнителями. На воздухе известковый раствор постепенно отвердевает под влиянием двух одновременно протекающих процессов: высыхание раствора, сближение кристаллов Са(ОН)₂ и их срастание, а также карбонизация извести под действием углекислого газа, который в небольшом количестве содержится в воздухе:



В результате этой реакции образующийся карбонат кальция СаСО₃ срастается с кристаллами Са(ОН)₂ и упрочняет известковый раствор. Однако процесс карбонизации происходит очень медленно, так как на поверхности слоя известкового раствора образуется плотная корка из углекислого кальция, затрудняющая проникание углекислого газа внутрь. Этим объясняется исключительно медленное нарастание прочности известковых растворов.

Так как при карбонизации выделяется вода, штукатурку и стены, в которых применены известковые растворы, подвергают сушке. Сушка ускоряет процесс их твердения.

Молотая негашеная известь. Молодую негашеную известь получают путем тонкого размола комовой извести без предварительного гашения. Строительные растворы и бетоны, приготовленные на молотой негашеной извести, быстро схватываются и отвердевают вследствие гидратационного твердения негашеной извести. При правильно подобранном водоизвестковом отношении (0,9–1,5) кристаллы гидроксида кальция, получившиеся при гидратации оксида кальция непосредственно в материале ($\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$), срастаются между собой и быстро образуют прочный кристаллический сросток. Саморазогревание материала (раствора или бетона) со своей стороны способствует ускорению твердения и росту прочности раствора, что особенно важно при зимних работах (каменной кладке, штукатурке и др.).

Во избежание чрезмерного разогрева нужно позаботиться об отводе излишнего экзотермического тепла. При этом никаких трещин от гашения извести не образуется, а воздушная известь ведет себя как быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество.

В молотую негашеную известь и гидратную известь (пушонку) разрешается вводить тонкомолотые минеральные добавки: доменные и топливные шлаки, золы, известняк. Продукт совместного помола негашеной извести и карбонатной породы называют карбонатной известью. Молотую негашеную известь обычно используют сразу после помола, так как вследствие поглощения влаги из воздуха она теряет свои вяжущие свойства.

Виды и применение воздушной извести. В зависимости от содержания оксида магния воздушная известь разделяется на кальциевую ($\text{MgO} < 5\%$), магнезиальную ($\text{MgO} = 5\text{--}20\%$) и высокомагнезиальную, или доломитовую ($\text{MgO} = 20\text{--}40\%$) [3].

Наиболее важными показателями качества извести являются:

- активность – процентное содержание оксидов, способных гаситься;
- количество непогасившихся зерен (недожог и пережог);
- время гашения.

В зависимости от времени гашения извести всех сортов различают: быстрогасящуюся известь с временем гашения до 8 мин, среднегасящуюся – ее время гашения не превышает 25 мин и медленногасящуюся с временем гашения не менее 25 мин.

Строительные растворы на воздушной извести имеют невысокую прочность. Так, известковые растворы через 28 суток воздушного твердения имеют предел прочности при сжатии: на гашеной извести – 0,4–1,0 МПа, на молотой негашеной извести – до 5 МПа. Поэтому сорт воздушной извести устанавливают не по прочности, а по характеристикам ее состава. Чем меньше глинистых и других примесей в исходном известняке, тем выше активность извести, быстрее происходит ее гашение и больше выход известкового теста.

Большое количество извести идет на изготовление силикатного кирпича и силикатных бетонов: ячеистых, легких, тяжелых, а также используется в смешанных вяжущих [4].

Известково-шлаковые и известково-пуццолановые вяжущие. Получение известково-шлаковых вяжущих основано на способности тонкоизмельченных гранулированных доменных шлаков твердеть при добавке извести. Обычно шлак размалывают совместно с воздушной известью, содержание которой в вяжущем составляет 20–30 %. При помоле добавляют до 3–5 % гипса для улучшения процессов твердения. Известь, реагируя с низкоосновными алюминатами и силикатами шлака, способствует образованию высокоосновных гидроалюминатов и гидросиликатов кальция. Добавляемый гипс реагирует в водном растворе с алюминатами кальция, образуя гидросульфоалюминат кальция. В результате обоих этих процессов возрастает прочность вяжущего.

Известково-шлаковые вяжущие схватываются и твердеют медленно, но при тепловлажностной обработке твердение ускоряется. Они стойки в пресной воде, но имеют низкую морозостойкость. Известково-шлаковые вяжущие применяют в бетонах невысоких марок и в строительных растворах.

Известково-пуццолановые вяжущие изготавливают путем совместного помола трепелов, диатомитов и других активных минеральных добавок с известью. При твердении во влажных условиях или в воде образуются низкоосновные гидросиликаты кальция. На воздухе в сухих условиях гидросиликаты способны дегидратироваться, при этом прочность изделия может сильно снижаться. Прочность этих вяжущих невысока, и они применяются там же, где и известково-шлаковые вяжущие.

4.2.2. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества – это воздушные вяжущие, состоящие в основном из полуводного гипса или ангидрида и получаемые тепловой обработкой сырья и помолом.

Сырьем для получения гипсовых вяжущих чаще всего служит горная порода – гипсовый камень, состоящий преимущественно из минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Используют и ангидрит CaSO_4 , отходы промышленности (фосфогипс – от переработки природных фосфатов в суперфосфат, борогипс и др.).

Гипсовые вяжущие вещества подразделяются, в зависимости от температуры тепловой обработки, на две группы: низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой природного гипса при низких температурах 110–180 °С. Они состоят в основном из полуводного гипса, так как дегидратация сырья при указанных температурах приводит к превращению двухводного гипса в полугидрат:



К низкообжиговым гипсовым вяжущим веществам относят строительный, формовочный и высокопрочный гипс.

Строительный гипс изготавливают низкотемпературным обжигом гипсовой породы (гипсового камня) в варочных котлах или печах. В первом случае гипсовый камень сначала размалывают, а потом в виде порошка нагревают в котлах. Имеются промышленные установки, в которых совмещены помол и обжиг. При обжиге в незамкнутом пространстве вода выделяется и удаляется в виде пара.

Строительный гипс состоит в основном из кристаллов β -модификации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, содержит также некоторое количество ангидрида CaSO_4 и частицы неразложившегося сырья $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Свойства строительного гипса. Строительный гипс представляет собой порошок белого цвета. Плотность его в рыхлом состоянии колеблется в пределах 800–1100 кг/м³, а в уплотненном – 1250–1450 кг/м³, истинная плотность – 2,6–2,75 г/см³. Он является быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим веществом, к основным свойствам которого относят водопотребность, сроки схватывания, тонкость помола и предел прочности при сжатии и изгибе [3].

Нормальная густота гипсового теста характеризуется количеством воды (в %), при котором получается тесто заданной подвижности. Строительный гипс обладает большой водопотребностью. Для получения теста нормальной густоты необходимо 50–70 % воды по массе гипса.

Сроки схватывания гипсового теста (т. е. такой густоты тесто, при которой механическое перемешивание его затруднено или невозможно) определяются на приборе Вика по глубине погружения иглы в гипсовое тесто нормальной густоты.

По срокам схватывания гипсовые вяжущие делят на три группы: А – быстротвердеющие (начало схватывания не ранее 2 мин и конец схватывания не позднее 15 мин); Б – нормальнотвердеющие (соответственно, начало не ранее 6 мин и конец не позднее 30 мин); В – медленнотвердеющие (начало схватывания не ранее 20 мин с момента затворения гипсового теста и конец схватывания не нормируется).

Быстрое схватывание гипса затрудняет работу, поэтому в случае необходимости к гипсовому тесту добавляют замедлители схватывания в количестве 0,1–0,3 % по массе гипса. При производстве гипсобетонных изделий может возникнуть необходимость в ускорении схватывания гипса, тогда к нему добавляют в небольшом количестве двуводный гипс и поваренную соль.

Прочность гипса характеризуется пределом прочности при сжатии образцов-балочек размером 40x40x160 мм из гипсового теста нормальной густоты, испытанных через 2 ч после изготовления. По пределу прочности при сжатии установлено 12 марок гипса: Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25, при этом минимальный предел прочности при изгибе для каждой марки должен соответствовать значению, соответственно, от 1,2 до 8 МПа. В строительстве используется в основном гипс марок от Г-4 до Г-7.

По *тонкости помола*, определяемой максимальным остатком пробы гипса при просеивании на сите с отверстиями 0,2 мм, гипсовые вяжущие делят на три группы: грубый, средний, тонкий.

Вследствие сравнительно высокой растворимости двуводного гипса прочность гипсовых изделий при увлажнении резко снижается

(на 40–70 %) и обнаруживаются пластические деформации. Водостойкость гипса повышают добавлением молотого гранулированного доменного шлака. Кроме того, водостойкость гипсовых изделий увеличивают, покрывая их поверхности различными составами, образующими водонепроницаемые пленки.

Гипсовое вяжущее – одно из немногих вяжущих, расширяющихся при твердении: увеличение в объеме достигает 0,2 %. Эта особенность гипсовых вяжущих позволяет применять их без заполнителей, не боясь растрескивания от усадки.

Высокопрочный гипс получают термической обработкой высококачественного гипсового камня в герметичных аппаратах под давлением пара. Он состоит в основном из α -модификации полуводного сульфата кальция, более активной, чем β -модификация. Поэтому прочность высокопрочного гипса при сжатии составляет 15–25 МПа, а при специальной технологии производства до 60 МПа превышает прочность строительного гипса. Из него изготавливают элементы стен и сборных перегородок, камни для стен.

Формовочный гипс состоит в основном из модификации полугидрата. Он содержит незначительное количество примесей и тонко размалывается. Применяют в керамической и фосфоро-фаянсовой промышленности для изготовления форм.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества изготавливают путем обжига гипсового камня при высоких температурах 600–900 °С, поэтому они состоят преимущественно из ангидрита CaSO_4 , который частично подвергается термической диссоциации с образованием CaO . Небольшое количество оксида кальция в составе вяжущего играет роль активизатора вяжущего с водой. Можно получить ангидритовое вяжущее и без обжига – помолом природного ангидрита с активизаторами твердения (известью, обожженным доломитом и т. п.).

Высокообжиговый гипс (в отличие от строительного гипса) медленно схватывается и твердеет, но его водостойкость и прочность при сжатии выше – 10–20 МПа. Поэтому его применяют при устройстве бесшовных полов, в растворах для штукатурки и кладки, для изготовления «искусственного мрамора».

Твердение и применение гипсовых вяжущих веществ.

При твердении строительного гипса происходит химическая реакция присоединения воды и образования двуводного сульфата кальция:



При гидратации 1 кг полугидрата выделяется 133 кДж тепла.

Поскольку растворимость полугидрата в воде 8 г/л (считая на CaSO_4), а двугидрата – 2 г/л, то вскоре после затворения строительного гипса водой создаются условия для образования в пересыщенном растворе зародышей кристаллов двугидрата. Схватывание (загустевание) гипсового теста начинается с образования рыхлой пространственной коагуляционной структуры, в которой кристаллики двугидрата связаны слабыми вандерваальсовыми силами молекулярного сцепления. После схватывания происходит твердение, обусловленное ростом кристаллов новой фазы, их срастанием и образованием кристаллизационной структуры. Свежеизготовленные гипсовые изделия сушат (при температуре 60–70 °С), что повышает прочность контактов срастания кристаллов и самих изделий вследствие удаления пленочной воды. Можно обойтись и без сушки, если уменьшить количество воды затворения за счет введения в гипсовые растворы и бетоны пластифицирующих добавок и применения интенсивного уплотнения.

Гипсовые вяжущие применяют для изделий и деталей, используемых в конструкциях зданий и сооружений при относительной влажности воздуха не более 60 %. Главнейшая область применения гипса – устройство перегородок. Они могут быть заводского изготовления в виде панелей «на комнату», из гипсовых камней или из гипсокартонных листов для отделки стен и потолков. Гипсоволокнистые материалы используют как выравнивающий слой под чистые полы. Из гипса делают акустические плиты. В различных вариантах его применяют для огнезащитных покрытий металлических конструкций. Из строительного гипса изготавливают гипсовые и известково-гипсовые штукатурные растворы, декоративные, теплоизоляционные и отделочные материалы, а также различные архитектурные детали (лепнина) и скульптура. Гипс используют для изготовления форм (например, для керамики) – *формовочный гипс*, а также в медицине для фиксации при переломах – *медицинский гипс*. Два последних вида гипса отличаются от строительного несколько

повышенными требованиями к тонкости помола и химическому составу. Гипс не рекомендуется долго хранить, даже при хранении в сухих условиях активность его постепенно снижается.

4.2.3. Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальные вяжущие вещества представляют собой тонкомолотые порошки, содержащие оксид магния и твердеющие при затворении водными растворами хлористого или сернокислого магния. Магнезиальные вяжущие вещества в зависимости от применяемого сырья разделяют на два вида: каустический магнезит и каустический доломит [1].

Каустический магнезит – порошок, состоящий в основном из оксида магния. Его получают обжигом горной породы, магнезита $MgCO_3$, в шахтных или вращающихся печах при 700–800 °С с последующим измельчением продукта обжига в тонкий порошок. При обжиге магнезит разлагается по реакции:



Готовое вяжущее упаковывают в стальные барабаны или бумажные мешки и направляют к месту применения. Из-за высокой гигроскопичности каустический магнезит не подлежит длительному хранению.

Каустический магнезит затворяют не водой, а водными растворами хлористого или сернокислого магния. Это ускоряет твердение и значительно повышает прочность, так как наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрохлорида магния $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$. При затворении же водой оксид магния гидратируется очень медленно. Каустический магнезит твердеет сравнительно быстро. Схватывание его должно наступать не ранее 20 мин, а конец – не позднее 6 ч с момента затворения. Марки каустического магнезита – М400, М500 и М600.

Каустический доломит – порошок, состоящий из оксида магния и углекислого кальция, получаемый обжигом природного доломита $CaMg(CO_3)_2$ с последующим измельчением в порошок. В связи с содержанием инертного $CaCO_3$ каустический доломит по качеству уступает каустическому магнезиту. Марки каустического доломита – М100, М150, М200 и М300.

Магнезиальные вяжущие вещества обладают способностью прочно сцепляться с древесными опилками, стружками и другими ор-

ганическими заполнителями, которые в изделиях не подвергаются разложению и загниванию. Эти вяжущие применяют для изготовления теплоизоляционных материалов (фибrolита и др.), устройства теплых и износостойких ксилолитовых полов, ступеней, плиток.

4.2.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент

Жидкое стекло представляет собой натриевый $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ или калиевый силикат $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ желтого цвета, который получают сплавлением в стекловаренных печах при температуре 1300–1400 °С измельченного чистого кварцевого песка с содой Na_2CO_3 или поташем K_2CO_3 . Образовавшиеся после быстрого охлаждения расплава прозрачные куски и глыбы синеватого, зеленоватого и желтоватого цвета под действием пара (в автоклаве) под давлением 0,4–0,6 МПа растворяются, превращаясь в вязкий раствор, обычно называемый жидким стеклом.

Силикаты натрия и калия в воде подвергаются гидролизу:



Выделяющийся гель кремневой кислоты $\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладает вяжущими свойствами, а водный раствор имеет щелочную реакцию. Процесс твердения жидкого стекла значительно ускоряется за счет введения катализатора – кремнефтористого натрия Na_2SiF_6 , ускоряющего выпадение геля кремневой кислоты и гидролиз жидкого стекла.

Натриевое жидкое стекло, как более дешевое, с истинной плотностью 1,32–1,50 г/см³ применяют для изготовления кислотоупорных цементов и жароупорных бетонов, для уплотнения (силикатизации) грунтов. Оно твердеет только на воздухе.

Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных огнезащитных красках.

Кислотоупорный цемент – это порошкообразный материал, получаемый путем совместного помола чистого кварцевого песка и кремнефтористого натрия (возможно смешение отдельно измельченных компонентов). Кварцевый песок можно заменить в кислотоупорном цементе порошком бештаунита или андезита. Кислотоупорный цемент затворяют водным раствором жидкого стекла, которое и является вяжущим веществом. Сам же порошок вяжущими свойствами не обладает. Схватывание и твердение кислотоупорного цемента происходит при температуре не ниже 10 °С, при этом начало схватывания

должно наступать не ранее 30 мин, а конец – не позднее 6 ч с момента затворения. Кислотоупорный цемент неводостоек и сравнительно быстро разрушается от действия воды и слабых растворов кислот.

Кислотоупорный цемент применяют для изготовления кислотоустойких растворов и бетонов, замазок. При этом берут кислотостойкие заполнители: кварцевый песок, гранит, андезит и т. п. Растворы и бетоны на кислотоупорном цементе обладают высокой стойкостью против действия ряда минеральных и органических кислот, но разрушаются в щелочах, а также в фосфорной, фтористоводородной и кремнефтористоводородной кислотах. Их применяют для футеровки химической аппаратуры, возведения резервуаров и других сооружений химической промышленности [1].

4.3. Гидравлические вяжущие вещества

4.3.1. Гидравлическая известь

Гидравлическую известь получают обжигом в шахтных печах не до спекания (900–1100 °С) мергелистых известняков с содержанием глины 6–20 %. Полученную известь размалывают и применяют в виде порошка либо гасят в пушонку.

В процессе обжига мергелистых известняков после разложения углекислого кальция (900 °С) часть образующегося СаО остается в свободном состоянии, а часть соединяется с оксидами SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃, входящими в состав глинистых материалов. При этом образуются низкоосновные силикаты (2СаО·SiO₂), алюминаты (СаО·Al₂O₃) и ферриты (СаО·Fe₂O₃) кальция, которые и придают извести гидравлические свойства.

Гидравлическая известь начинает твердеть на воздухе (первые 7 суток) и продолжает твердеть и увеличивать свою прочность в воде. Предел прочности при сжатии после 28 суток комбинированного хранения образцов из раствора 1:3 по массе (7 суток во влажном воздухе и 21 суток в воде) 2–10 МПа.

Гидравлическую известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатируемых как в сухих, так и во влажных средах, а также для приготовления бетонов низких марок.

Растворы и бетоны на гидравлической извести в первые сутки твердения необходимо защищать от воздействия воды, так как они легко размываются. Гидравлическую известь хранят в закрытых помещениях, при перевозке предохраняют от увлажнения [1].

4.3.2. Романцемент

Романцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом обожженных не до спекания (при температуре 900 °С) известняковых или магнезиальных мергелей, содержащих более 20 % глины. Образующиеся при обжиге низкоосновные силикаты и алюминаты кальция придают романцементу свойство твердеть и сохранять прочность в воде. Романцемент выпускают трех марок: М25, М50 и М100. Он должен выдерживать испытание на равномерность изменения объема. Применяется для изготовления строительных растворов, бетонов, бетонных камней [4].

4.3.3. Портландцемент

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом портландцементного клинкера с гипсом, а иногда и со специальными добавками.

Портландцементный клинкер – продукт обжига до спекания (при 1450 °С) тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины и некоторых других материалов (мергеля, доменного шлака и пр.). При обжиге обеспечивается преимущественное содержание в клинкере высокоосновных силикатов кальция (70–80 %).

Для регулирования сроков схватывания портландцемента в клинкер при помоле вводят двуводный гипс в количестве 1,5–3,5 % (по массе цемента в пересчете на SO₃).

Название портландцемент связано с полуостровом на юге Великобритании – Portland, где началось промышленное производство цемента.

4.3.3.1. Принципы производства

Производство портландцемента – сложный технологический и энергоемкий процесс, включающий: добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов известняка и глины; приготовление сырь-

евой смеси; обжиг сырьевой смеси до спекания – получение клинкера; помол клинкера с добавкой гипса – получение портландцемента. Обеспечению заданного состава и качества клинкера подчинены все технологические операции [1].

Сырьевые материалы. Исходным сырьем для производства портландцемента служат горные породы – мергели, известняковые (известняки, мел, ракушечник, известковый туф и др.) и глинистые горные породы. С известняком в состав цемента вносится основной оксид CaO ; с глиной – оксиды кремния, алюминия, железа; с мергелем – все необходимые оксиды. Примерное соотношение между карбонатным и глинистым составляющими сырьевой смеси 3:1 (т. е. около 75 % известняка и 25 % глины). В природе редко встречаются горные породы, химический состав которых обеспечивал бы получение после обжига портландцементного клинкера необходимого качества, поэтому сырьевую смесь составляют из двух или нескольких компонентов. Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы полученный при обжиге портландцементный клинкер имел следующий химический состав: 63–68 % CaO ; 4–8 % Al_2O_3 ; 19–24 % SiO_2 , 2–6 % Fe_2O_3 .

В сырьевую смесь вводят добавки, корректирующие химический состав, регулирующие температуру спекания смеси и кристаллизацию минералов клинкера. Например, количество SiO_2 повышают, добавляя в сырьевую массу трепел, опоку. Добавление колчеданных огарков увеличивает содержание Fe_2O_3 . Весьма ценным сырьем являются доменные шлаки, содержащие необходимые для получения клинкера составные части (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Нефелиновый шлам, получающийся при производстве глинозема, содержит 25–30 % SiO_2 и 50–55 % CaO ; достаточно к нему добавить 15–20 % известняка, чтобы получить сырьевую смесь.

Подготовка сырья. Приготовление сырьевой массы состоит в тонком измельчении и смешении взятых в установленном соотношении компонентов, что обеспечивает полноту прохождения химических реакций между ними и однородность клинкера. Приготовление сырьевой смеси осуществляется сухим, мокрым и комбинированным способами [3].

Сухой способ заключается в измельчении и смешении сухих (или предварительно высушенных) сырьевых материалов, поэтому сырьевая смесь получается в виде минерального порошка, называемого сырьевой мукой. Тонкое совместное измельчение известняка и глины осуществляют в трубных (шаровых) мельницах, в которых совмещаются помол и сушка сырьевых материалов до остаточной влажности 1-2 %.

Сырьевую муку направляют в силосы, в них корректируется состав сырья и создается запас, необходимый для бесперебойной работы печей. Наиболее энергоемкий процесс – декарбонизация сырья – вынесен в специальное устройство – декарбонизатор, в котором он протекает быстрее и где CaCO_3 разлагается. При сухом способе производства затраты тепла на обжиг клинкера в 1,5–2 раза меньше, чем при мокром способе. Сухой способ наиболее выгоден при использовании известняка и глины с невысокой влажностью (10–15 %), однородного состава и физической структуры, когда можно получить гомогенную сырьевую муку при сухом помоле.

Мокрый способ приготовления сырьевой смеси применяют, если мягкое сырье имеет значительную влажность (мел, глины). Тонкое измельчение и смешение исходных материалов осуществляется в водной среде, поэтому сырьевая смесь получается в виде жидкотекучей массы – шлама с большим содержанием воды (35–45 %).

Совместное измельчение известняка, глины и корректирующих добавок (например, пиритных огарков, содержащих Fe_2O_3) обеспечивает тщательное смешение исходных материалов и получение однородной сырьевой смеси. Помол сырья производят до остатка на сите 008 не более 8–10 %, следовательно, более 90 % частиц смеси имеют размер менее 80 мкм. Из трубных мельниц известково-глиняный шлам перекачивают насосами в вертикальные или горизонтальные резервуары (шламбассейны), в них корректируют и усредняют химический состав шлама. Применение разжижителей шлама позволяет снизить влажность шлама, но не устраняет основной недостаток мокрого способа производства цемента – высокую энергоемкость процесса получения клинкера. Пока наша цементная промышленность применяет производство «по мокрому способу», в условиях резкого удорожания энергоносителей стоимость 1 т цемента значительно выше по сравнению с сухим способом.

Применение «комбинированного способа» дает возможность на 20–30 % снизить расход топлива по сравнению с мокрым способом. Сущность этого способа заключается в том, что приготовленный шлам до поступления в печь обезвоживается на специальных установках. Однако при этом возрастает расход электроэнергии, т. е. энергоемкость производства в целом остается высокой.

Обжиг сырьевой смеси как при сухом, так и при мокром способе производства осуществляется в основном во вращающихся печах [2]. Шахтные печи применяют иногда только при сухом способе производства. Вращающаяся печь представляет собой длинный, расположенный слегка наклонно цилиндр (барабан), сваренный из листовой стали с огнеупорной футеровкой внутри (рис. 4.1). Длина печей: при сухом способе – 95 м, а при мокром способе – 185–230 м. Диаметр печи 5–7 м.

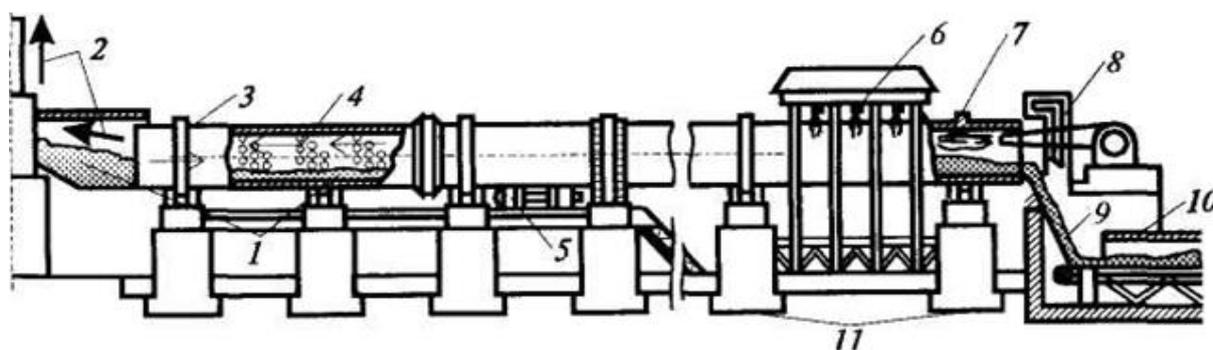


Рис. 4.1. Схема вращающейся печи:

- 1 – сырьевая шихта; 2 – горячие газы; 3 – вращающаяся печь;
- 4 – цепные завесы, улучшающие теплообмен; 5 – привод;
- 6 – водяное охлаждение зоны спекания печи; 7 – факел; 8 – подача топлива через форсунку; 9 – клинкер; 10 – холодильник; 11 – опоры

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Сырье в виде порошка (сухой способ) или в виде шлама (мокрый способ) подается автоматическим питателем в печь со стороны ее верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца вдувается топливо (природный газ, мазут, воздушно-угольная смесь), сгорающее в виде факела на протяжении 20–30 м длины печи. Горячие газы поступают навстречу сырью. Сырье занимает только часть печи по поперечному сечению и при ее вращении со скоростью 1–2 об/мин медленно движется к нижнему концу, проходя различные температурные зоны.

В *зоне испарения* происходит высушивание поступившего сырья при постепенном повышении температуры с 70–80 °С (в конце этой зоны), поэтому первую зону называют еще зоной сушки. Подсушенный материал комкуется, при перекачивании комья распадаются на более мелкие гранулы.

В *зоне подогрева*, которая следует за сушкой сырья, при постепенном нагревании сырья от 200 до 700 °С, сгорают находящиеся в нем органические примеси, из глинистых минералов удаляется химически связанная вода (при 450–500 °С) и образуется каолинитовый ангидрит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и другие подобные соединения.

В *зоне кальцинирования* температура обжигаемого материала поднимается от 700 до 1100 °С, здесь завершается процесс диссоциации углекислых солей кальция и магния и появляется значительное количество свободного оксида кальция. В этой же зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , которые вступают в химическое взаимодействие с CaO . В результате этих реакций, происходящих в твердом состоянии, образуются минералы $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и частично $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит).

В *зоне экзотермических реакций* (1100–1250 °С) проходят твердофазовые реакции образования $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

В *зоне спекания* (1300–1450 °С) температура обжигаемого материала достигает наивысшего значения, необходимого для частичного плавления материала и образования главного минерала клинкера – алита $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, почти до полного связывания оксида кальция (в клинкере $\text{CaO}_{\text{свобод}}$ – не более 0,5–1 %).

В *зоне охлаждения* температура клинкера понижается с 1300 до 1000 °С; здесь полностью формируется его структура и состав.

Цементный клинкер выходит из вращающейся печи в виде мелких камнеподобных зерен-гранул темно-серого или зеленовато-серого цвета. По выходе из печи клинкер интенсивно охлаждается с 1000 до 100–200 °С. После этого клинкер выдерживается на складе 1–2 недели.

Помол клинкера в тонкий порошок производится преимущественно в трубных (шаровых) мельницах. Трубная мельница представляет собой стальной барабан, облицованный внутри стальными броневыми плитами и разделенный дырчатыми перегородками на 2–4

камеры. Крупнейшими помольными агрегатами являются мельницы размером 3,95x11 м, производительностью 100 т/ч и размером 4,6x16,4 м, производительностью 135 т/ч.

Материал в трубных мельницах измельчается под действием загруженных в барабан мелющих тел – стальных шаров (в камерах грубого помола) и цилиндров (в камерах тонкого помола). При вращении мельницы мелющие тела поднимаются на некоторую высоту и падают, дробя и истирая зерна материала.

Готовый портландцемент – очень тонкий порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета; по выходе из мельницы он имеет высокую температуру (80–120 °С) и направляется пневматическим транспортом для хранения в силосы, которые обычно выполняются в виде железобетонных банок диаметром 8–15 м и высотой 25–30 м. Большие силосы вмещают 4000–10000 т цемента.

Цемент в силосах выдерживают до его охлаждения и гашения остатков свободного оксида кальция, которое происходит под действием влаги воздуха. Из силосов цемент погружается в автоцементовозы, в вагоноцементовозы или крытые железнодорожные вагоны. Часть цемента поступает на отвешивающие и упаковывающие машины и поставляется в мешках по 50 кг.

4.3.3.2. Химический состав клинкера

Химический состав клинкера выражают содержанием оксидов (% по массе). Главными являются: CaO – 63–66 %, SiO₂ – 21–24 %, Al₂O₃ 4–8 % и Fe₂O₃ – 2–4 %, суммарное количество которых составляет 95–97 %. В небольших количествах в виде различных соединений могут входить MgO, SiO₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, Cr₂O₃ и P₂O₅. В процессе обжига, доводимого до спекания, главные оксиды образуют силикаты, алюминаты и алюмоферрит кальция в виде минералов кристаллической структуры, а некоторая часть их входит в стекловидную фазу [3].

4.3.3.3. Минералогический состав клинкера

Клинкер состоит из следующих основных клинкерных минералов: трехкальциевого силиката 3CaO·SiO₂ (алит), двухкальциевого силиката 2CaO·SiO₂ (белит), трехкальциевого алюмината 3CaO·Al₂O₃, четырехкальциевого алюмоферрита 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ [3].

Алит $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (или C_3S) содержится в клинкере в количестве 45–60 %, является химически активным минералом, оказывает решающее влияние на прочность и скорость твердения цемента. Взаимодействие его с водой происходит с большим тепловыделением. Алит обладает способностью быстро твердеть и набирать высокую прочность, поэтому повышенное содержание трехкальциевого силиката обеспечивает получение из данного клинкера высокомарочного портландцемента.

Белит $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (или C_2S) содержится в клинкере в количестве 20–30 %. Двухкальциевый силикат (белит), затворенный водой, в начальный период твердеет медленно, при этом выделяется очень мало теплоты. Продукт твердения в течение первого месяца обладает невысокой прочностью, но затем на протяжении нескольких лет при благоприятных условиях прочность его неуклонно возрастает.

Трехкальциевый алюминат (или C_3A) в клинкере содержится в количестве 4–12 %, характеризуется высокой химической активностью, в первые сутки твердения выделяет наибольшее количество теплоты гидратации и быстро твердеет. Продукт его твердения имеет низкую долговечность и является причиной сульфатной коррозии бетона, поэтому в сульфатостойком портландцементе содержание C_3A ограничено 5 %.

Четырехкальциевый алюмоферрит (или C_4AF) в клинкере содержится в количестве 10–20 %. Характеризуется умеренным тепловыделением и по скорости твердения занимает промежуточное положение между C_3S и C_2S .

Клинкерное стекло присутствует в промежуточном веществе в количестве 5–15 %, состоит в основном из CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O .

Содержание свободных CaO и MgO не должно превышать, соответственно, 1 % и 5 %. При более высоком их содержании снижается качество цемента и может проявиться неравномерное изменение его объема при твердении, связанное с переходом CaO в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и MgO в $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Щелочи (Na_2O , K_2O) входят в алюмоферритную фазу клинкера, а также присутствуют в цементе в виде сульфатов. Содержание щелочей в портландцементе ограничивается до 0,6 % в случае применения заполнителя (песка, гравия), содержащего реакционноспособные опаловидные модификации двуоксида кремния, из-за опасности растрескивания бетона в конструкции.

Располагая данными о минералогическом составе портландцементного клинкера и зная свойства клинкерных минералов, можно заранее составить представление об основных свойствах портландцемента и особенностях его твердения в различных условиях.

4.3.3.4. Твердение портландцемента

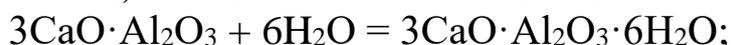
При затворении портландцемента водой сначала образуется пластичное клейкое цементное тесто, которое затем постепенно густеет, переходя в камневидное состояние. Твердение и есть процесс превращения цементного теста в цементный камень [2].

При смешивании портландцемента с водой в начальный период происходит растворение клинкерных минералов с поверхности цементных зерен, взаимодействие минералов с водой и образование насыщенного по отношению к клинкерным минералам раствора. По достижении насыщения растворение клинкерных минералов прекращается, но реакции между ними и водой продолжают. Реакции присоединения воды к клинкерным минералам называют реакциями гидратации, а реакции разложения клинкерных минералов под действием воды на другие соединения – реакциями гидролиза.

Во втором периоде в насыщенном растворе идут реакции гидратации клинкерных минералов в твердом состоянии, т. е. происходит прямое присоединение воды к твердой фазе вяжущего без предварительного его растворения. Продуктами этих реакций являются гидратные новообразования в коллоидном виде. Период коллоидации сопровождается повышением вязкости цементного теста, обуславливающим схватывание цемента.

В третьем периоде протекают процессы перекристаллизации мельчайших коллоидных частиц новообразований, т. е. растворение мельчайших частиц и образований крупных кристаллов. Кристаллизация сопровождается твердением цементного теста и ростом прочности образовавшегося цементного камня.

Взаимодействие клинкерных минералов с водой протекает по следующим реакциям:



где m и n – изменяемые коэффициенты.

Приведенные химические реакции показывают, что в результате взаимодействия клинкерных минералов с водой образуются новые соединения – гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция. Минералы C_3S и C_4AF , взаимодействуя с водой, подвергаются гидролизу, т. е. разложению, а минералы C_2S и C_3A гидратируются, т. е. присоединяют воду.

По скорости взаимодействия с водой клинкерные минералы располагаются в следующей последовательности: C_3A , C_4AF , C_3S и C_2S . Скорость гидратации клинкерных минералов в значительной мере определяет и скорость их твердения. Чем быстрее гидратирует минерал, тем быстрее происходит его схватывание и твердение.

В случае твердения цемента на воздухе рассмотренные выше процессы дополняются карбонизацией гидроксида кальция: $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$. Она происходит, главным образом, на поверхности цементного камня с образованием тонкой корки из углекислого кальция, способствующей повышению стойкости и прочности цементного камня.

В результате процессов коллоидации, кристаллизации, уплотнения гидратных новообразований и карбонизации образуется прочный цементный камень. Прочность цементного камня нарастает довольно быстро в течение первых 3–7 суток, затем в интервале 7–28 суток рост прочности замедляется. В дальнейшем повышение прочности относительно невелико, но может продолжаться в течение многих лет, особенно во влажной и теплой среде. В сухой среде или при отрицательных температурах процессы твердения цементного камня приостанавливаются, и рост прочности прекращается. Замерзший цементный камень обладает способностью после оттаивания продолжать набирать прочность [2].

Твердение портландцемента можно ускорить за счет повышения температуры окружающей среды и введения химических веществ-ускорителей твердения (хлористого кальция, хлористого натрия и др.) в количестве 1-2 % по массе цемента.

Твердение портландцемента сопровождается выделением теплоты. Это свойство портландцемента является положительным при бетонировании монолитных конструкций в зимних условиях и отрица-

тельным в тех случаях, когда разогрев массивных бетонных конструкций (плотин, массивных фундаментов и т. п.) может привести к появлению в них трещин от температурного расширения.

4.3.3.5. Коррозия цементного камня

Коррозия цементного камня вызывается воздействием агрессивных газов и жидкостей на составные части затвердевшего портландцемента, главным образом, на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Основные причины коррозии можно разделить три вида [3]:

– разложение составляющих цементного камня, растворение и вымывание гидроксида кальция (коррозия выщелачивания);

– образование легкорастворимых солей в результате взаимодействия гидроксида кальция и других составных частей цементного камня с агрессивными веществами и вымывание этих солей (кислотная, магниезиальная коррозия);

– образование в порах новых соединений, занимающих больший объем, чем исходные продукты реакции, это вызывает появление внутренних напряжений в бетоне и его растрескивание (сульфоалюминатная коррозия).

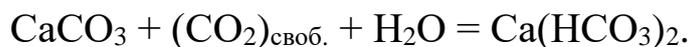
Коррозия первого вида возникает при действии на цементный камень бетона проточных пресных вод (с малой временной жесткостью). К ним относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных рек и равнинных рек в половодье, болотная вода. Эти воды растворяют и вымывают гидроксид кальция, выделяющийся при гидролизе трехкальциевого силиката. В результате такого выщелачивающего действия воды повышается пористость цементного камня и снижается его прочность на 40–50 % и более, что, в свою очередь, приводит к постепенному разрушению бетона. Выщелачивание можно заметить по появлению белых подтеков на поверхности бетона.

Для ослабления коррозии выщелачивания ограничивают содержание трехкальциевого силиката C_3S в клинкере до 50 %. Для повышения стойкости цементного камня в пресных водах рекомендуется вводить в портландцемент гидравлические добавки, которые связывают гидроксид кальция в малорастворимые соединения – гидросиликаты кальция, и применять плотный бетон. Процесс выщелачивания гид-

роксиды кальция замедляется, когда в поверхностном слое бетона образуется малорастворимый CaCO_3 вследствие карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при взаимодействии с CO_2 воздуха. Выдерживание на воздухе бетонных блоков и свай, применяемых для сооружения оснований, а также портовых и других гидротехнических сооружений повышает их стойкость.

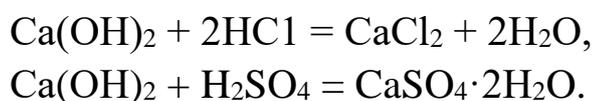
Коррозия второго вида происходит при действии на цементный камень бетона минерализованных вод, содержащих химические соединения, которые вступают в обменные реакции с составляющими цементного камня. Образующиеся при этом продукты реакции либо легко растворяются и уносятся водой, либо выделяются в виде аморфной массы, не обладающей связующими свойствами.

Углекислотная коррозия развивается при действии на цементный камень воды, содержащей свободный диоксид углерода в виде слабой угольной кислоты. Избыточный (сверх равновесного количества) диоксид углерода разрушает карбонатную пленку бетона вследствие образования хорошо растворимого бикарбоната кальция по реакции:



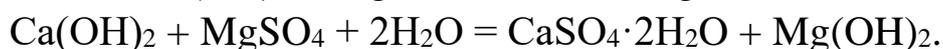
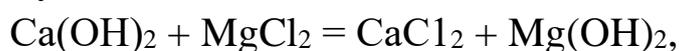
Общекислотная коррозия происходит при действии растворов любых кислот, имеющих значения водородного показателя $\text{pH} < 7$; исключения составляют поликремневая и кремнефтористоводородная кислоты. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий, они могут проникать в почву и разрушать бетонные фундаменты, коллекторы и другие подземные сооружения. Кислота образуется также из сернистого газа, выходящего из топок, и в атмосфере промышленных предприятий, кроме SO_2 , могут содержаться ангидриды других кислот, а также хлор и хлористый водород. При растворении его во влаге, адсорбированной на поверхности железобетонных конструкций, образуется соляная кислота.

Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например, CaCl_2) и соли, увеличивающиеся в объеме ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$):



Кроме того, кислоты могут разрушать и силикаты кальция. Бетон на портландцементе защищают от непосредственного действия кислот с помощью защитных слоев из кислотостойких материалов.

Магнезиальная коррозия наступает при воздействии на гидроксид кальция магнезиальных солей, которые встречаются в растворенном виде в грунтовых водах и всегда содержатся в большом количестве в морской воде. Содержание солей в воде мирового океана составляет (г/л): NaCl – 27,2; MgCl₂ – 3,8; MgSO₄ – 1,7; CaSO₄ – 1,2. Разрушение цементного камня вследствие реакции обмена протекает по следующим формулам:



В результате этих химических реакций образуется растворимая соль (хлористый кальций или двуводный сульфат кальция), вымываемая из бетона. Гидроксид магния представляет собой бесвязную массу, не растворимую в воде, поэтому реакция идет до полного израсходования гидроксида кальция.

Коррозия под действием минеральных удобрений. Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения – аммиачная селитра и сульфат аммония. Аммиачная селитра, состоящая в основном из нитрата аммония NH₄NO₃, подвергается гидролизу и поэтому дает в воде кислую реакцию. Нитрат аммония действует на гидроксид кальция:



Образующийся нитрат кальция хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона. Хлористый калий KCl повышает растворимость Ca(OH)₂ и ускоряет коррозию. Из числа фосфорных удобрений агрессивен суперфосфат, состоящий в основном из монокальциевого фосфата Ca(H₂PO₄)₂ и гипса, но содержащий еще и некоторое количество свободной фосфорной кислоты.

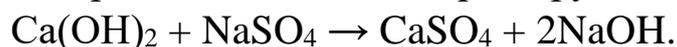
Коррозия под влиянием органических веществ. Органические кислоты, как и неорганические, быстро разрушают цементный камень. Большой агрессивностью отличаются уксусная, молочная и винная кислоты. Жирные насыщенные и ненасыщенные кислоты (олеиновая, стеариновая, пальмитиновая и др.) разрушают цементный камень, так как при действии на них гидроксида кальция они омыляются. Поэтому

вредны для бетона и масла, содержащие кислоты жирного ряда: льняное, хлопковое, а также рыбий жир. Нефть, нефтяные продукты (керосин, бензин, мазут, нефтяные масла) не представляют опасности для бетона, если они не содержат нефтяных кислот или соединений серы. Однако надо учитывать, что нефтепродукты легко проникают через бетон. Продукты разгонки каменноугольного дегтя, содержащие фенол, могут агрессивно влиять на бетон.

Коррозия третьего вида. *Сульфатоалюминатная коррозия* возникает при действии на гидроалюминат цементного камня воды, содержащей сульфатные ионы:



Образование в порах цементного камня малорастворимого трехсульфатного гидросульфатоалюмината кальция (этtringита) сопровождается увеличением объема примерно в 2 раза. Развивающееся в порах кристаллизационное давление приводит к растрескиванию защитного слоя бетона. Вслед за этим происходит коррозия стальной арматуры, усиление растрескивания бетона и разрушение конструкции. С сульфатоалюминатной коррозией всегда надо считаться при строительстве морских сооружений. Вместе с тем могут оказаться агрессивными сточные воды промышленных предприятий, а также грунтовые воды. Если в воде содержится сульфат натрия, то вначале с ним реагирует гидроксид кальция:



В последующем идет образование гидросульфатоалюмината кальция вследствие взаимодействия получающегося сульфата кальция и гидроалюмината. Для борьбы с сульфатоалюминатной коррозией применяется специальный сульфатостойкий портландцемент.

Щелочная коррозия может происходить в двух формах: под действием концентрированных растворов щелочей на затвердевший цементный камень и под влиянием щелочей, имеющихся в самом цементе. Если бетон насыщается раствором щелочи (едкого натрия или калия), а затем высыхает, то под влиянием углекислого газа в порах бетона образуется сода и поташ, которые, кристаллизуясь, расширяются в объеме и разрушают цементный камень. Сильнее разрушается от действия сильных щелочей цемент с высоким содержанием алюминатов кальция.

Коррозия, вызываемая щелочами цемента, происходит вследствие процессов, протекающих внутри бетона между его компонентами. В составе цементного клинкера всегда содержится разное количество щелочных соединений. В составе заполнителей бетона, в особенности в песке, встречаются реакционно способные модификации кремнезема: опал, халцедон, вулканическое стекло. Они вступают при обычной температуре в разрушительные для бетона реакции со щелочами цемента. В результате образуются набухающие студенистые отложения белого цвета на поверхности зерен реакционно-способного заполнителя, появляется сеть трещин, поверхность бетона местами вспучивается и шелушится. Разрушение бетона может происходить через 10–15 лет после окончания строительства.

4.3.3.6. Технические характеристики портландцемента

Характеристики портландцемента определяют минеральный и вещественный составы, сроки схватывания, класс по прочности, равномерность изменения объема и другие технические свойства [3].

Минеральный состав выражает содержание в клинкере (в % по массе) главных минералов. Применяются расчетные и прямые экспериментальные методы определения минерального состава клинкера. Минеральный состав рассчитывают на основании данных химического анализа, который определяет содержание оксидов (в % по массе).

Прямые экспериментальные методы определения минерального состава клинкера включают: оптическую и электронную микроскопию, рентгеновский фазовый анализ, микрозондирование (лазерный и ионный микрозонды) и др.

Для производства общестроительных цементов применяют портландцементный клинкер, в котором суммарное содержание трехкальциевого и двухкальциевого силикатов ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) составляет не менее $2/3$ массы клинкера, а массовое отношение оксида кальция к оксиду кремния (CaO/SiO_2) – не менее 2,0. Содержание оксида магния MgO в клинкере не должно быть более 5 % массы клинкера.

Вещественный состав портландцемента выражает содержание в цементе (в % по массе) основных компонентов: клинкера, гипса, минеральных добавок.

По вещественному составу цементы подразделяют на типы:

- ЦЕМ 0 – бездобавочный портландцемент;
- ЦЕМ I – портландцемент;
- ЦЕМ II – портландцемент с минеральными добавками.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок цементы типа ЦЕМ II, в зависимости от содержания добавок, подразделяют на подтипы А и В (за исключением цемента ЦЕМ II с добавкой микрокремнезема).

Плотность портландцемента (без минеральных добавок) составляет 3,05–3,15. Его насыпная плотность зависит от уплотнения и у рыхлого цемента составляет 1100 кг/м³.

Прочность портландцемента определяют испытанием стандартных образцов-призм размером 4x4x16 см. Образцы изготавливают из стандартного цементного раствора, состоящего из цемента и стандартного полифракционного песка в соотношении 1:3 по массе при водоцементном отношении, равном 0,5. Образцы изготавливают, укладывая цементный раствор в два приема в отсеки формы и уплотняя каждый слой на встряхивающем столе за рабочий цикл из 60 ударов. Форму с образцами хранят в камере (шкафу) влажного хранения. Через (24±1) ч с момента изготовления образцы расформовывают. Образцы, подлежащие испытанию в суточном возрасте, расформовывают не ранее чем за 20 мин до испытания. Образцы, имеющие через (24±1) ч прочность, недостаточную для их расформовки без повреждения, допускается расформовывать через (48±2) ч с указанием этого срока в рабочем журнале. После расформовки образцы хранят в ванне с водой так, чтобы они не соприкасались друг с другом и уровень воды был выше образцов не менее чем на 2 см. Температура воды должна быть (20±1) °С. Через каждые 14 суток половину объема воды в ванне меняют на свежую воду. Через 28 суток твердения образцы-призмы сначала испытывают на изгиб, затем получившиеся половинки призм – на сжатие.

По прочности на сжатие в возрасте 28 суток портландцементы подразделяют на классы: 32,5; 42,5 и 52,5.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) суток цементы подразделяют на подклассы: Н (нормальнотвердеющие), Б (быстротвердеющие) и М (медленнотвердеющие).

Водопотребность портландцемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста *нормальной густоты*. Нормальной густотой цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, через 30 с после освобождения стержня, не доходит на (6 ± 1) мм до пластинки, на которой установлено кольцо.

Водопотребность портландцемента находится в пределах от 22 до 28 %. При введении активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) водопотребность цемента повышается и может достигнуть 32–37 %.

Сроки схватывания портландцемента определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты.

Началом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на (4 ± 1) мм.

Концом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла проникает в цементное тесто не более чем на 0,5 мм, что соответствует положению иглы, при котором кольцеобразная насадка впервые не оставляет отпечатка на поверхности цементного теста.

Для цементов класса по прочности 32,5 начало схватывания не ранее 75 мин, класса по прочности 42,5 – не ранее 60 мин, класса по прочности 52,5 – не ранее 45 мин.

Равномерность изменения объема цемента характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце Ле Шателье при кипячении.

Готовят цементное тесто нормальной густоты. Кольца устанавливают на пластинки и наполняют в один прием цементным тестом с избытком, но без уплотнения или вибрации. Для одного испытания заполняют два кольца из одного замеса цементного теста.

Кольца, заполненные цементным тестом, накрывают сверху пластинками, на которые устанавливают пригруз, и помещают в камеру влажного хранения, где выдерживают в течение $(24\pm 0,5)$ ч.

После предварительного твердения кольца извлекают из камеры, измеряют штангенциркулем расстояние между концами индикаторных игл с точностью до 0,5 мм (начальное измерение), освобождают

от пластинок и пригруза и помещают в бачок для кипячения индикаторными иглами вверх.

Воду в бачке доводят до кипения за (30 ± 5) мин и выдерживают кольца в кипящей воде в течение (180 ± 5) мин. Уровень воды в бачке должен быть выше размещенных на подставке колец на 4–6 см в течение всего времени кипячения.

После окончания кипячения кольца извлекают из воды, дают им остыть до температуры помещения, после чего измеряют расстояние между концами индикаторных игл (конечное измерение). Вычисляют разность между значениями конечного и начального измерений для каждого кольца.

Равномерность изменения объема (расширение) не должна превышать 10 мм.

4.3.4. Разновидности цементов

Цементы классифицируются по следующим признакам [3]:

По назначению цементы подразделяют:

- на общестроительные;
- специальные.

По виду клинкера цементы подразделяют на изготовленные на основе:

- портландцементного клинкера;
- глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера;
- смеси портландцементного и сульфоалюминатного (сульфоферритного) клинкера.

По вещественному составу цементы на основе портландцементного клинкера подразделяют на типы, характеризующиеся различным видом и содержанием минеральных добавок:

- тип I – портландцемент, содержащий в качестве основного компонента вещественного состава только портландцементный клинкер;
- тип II/A – портландцемент с минеральными добавками, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и минеральную добавку или смесь минеральных добавок в количестве от 6 до 20 %;
- тип II/B – портландцемент с минеральными добавками, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и шлак в количестве от 21 до 35 %;

– тип III – шлакопортландцемент, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и доменный гранулированный, электротермофосфорный или топливный шлак в количестве от 36 до 65 %;

– тип IV – пуццолановый цемент, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и пуццолану в количестве от 21 до 35 %;

– тип V – композиционный цемент, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и смесь шлака и пуццоланы и/или золы-уноса в количестве от 22 до 60 %.

– тип I-C – сульфатированный портландцемент, содержащий в качестве основного компонента портландцементный клинкер, в качестве вспомогательного компонента – сульфоалюминатный (сульфоферритный) клинкер в количестве не более 5 %;

– тип II-C – сульфатированный портландцемент, содержащий в качестве основных компонентов портландцементный клинкер, сульфоалюминатный (сульфоферритный) клинкер в количестве от 6 до 20 %.

По прочности на сжатие цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

По скорости твердения общестроительные цементы подразделяют на подклассы прочности:

– нормальнотвердеющие (Н) с нормированием прочности в возрасте 2 (7) и 28 суток;

– быстротвердеющие (Б) с нормированием прочности в возрасте 2 суток, повышенной по сравнению с нормальнотвердеющими, и 28 суток;

– медленнотвердеющие (М) с нормированием начальной прочности в возрасте 7 (2) суток, пониженной по сравнению с нормальнотвердеющими цементами, и 28 суток.

По срокам схватывания цементы подразделяют:

– на медленносхватывающиеся – с нормируемым сроком начала схватывания более 2 ч;

– нормальносхватывающиеся – с нормируемым сроком начала схватывания от 45 мин до 2 ч;

– быстросхватывающиеся – с нормируемым сроком начала схватывания менее 45 мин.

4.3.4.1. Шлакопортландцемент

Шлакопортландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, содержащее в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и доменный гранулированный, электротермофосфорный или топливный шлак в количестве от 36 до 65 %.

Гранулированный доменный шлак получают путем быстрого охлаждения шлакового расплава соответствующего состава, который образуется в доменной печи при плавке чугуна.

Гранулированный электротермофосфорный шлак получают путем быстрого охлаждения силикатного расплава, образующегося при производстве фосфора методом возгонки в электропечах.

Доменные и электротермофосфорные гранулированные шлаки содержат по меньшей мере 2/3 остеклованного шлака и при определенных условиях проявляют гидравлические свойства.

Химический состав доменного гранулированного шлака близок к составу клинкера. К самостоятельному твердению шлак не способен, но в присутствии портландцемента и гипса он проявляет вяжущие свойства.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок шлакопортландцемент относится к типу ЦЕМ III и в зависимости от содержания добавок подразделяется на подтипы:

- А (портландцементного клинкера 35–64 %, шлаков 36–65 %);
- В (портландцементного клинкера 20–34 %, шлаков 66–88 %);
- С (портландцементного клинкера 5–19 %, шлаков 81–95 %).

По прочности на сжатие в возрасте 28 суток шлакопортландцементы подразделяют на классы: 32,5; 42,5 и 52,5.

Плотность в рыхлом состоянии 1000–1300 кг/м³, а в уплотненном – 1400–1800 кг/м³, сроки схватывания и равномерность изменения объема такие же, как и у портландцемента.

Тепловыделение шлакопортландцемента при твердении меньше, чем у портландцемента, но он обладает большей жаро-, водо- и сульфатостойкостью. Морозостойкость шлакопортландцемента несколько ниже.

У шлакопортландцемента по сравнению с портландцементом несколько замедлено нарастание прочности в начальные сроки твердения. В более отдаленные сроки твердения прочность возрастает и через

2-3 мес. превосходит прочность портландцемента той же марки. Замедление твердения особенно ярко проявляется при пониженных температурах, однако это не является препятствием к широкому применению шлакопортландцемента, а повышение температуры при достаточной влажности окружающей среды резко ускоряет твердение.

Шлакопортландцемент с успехом можно применять для изготовления сборных железобетонных изделий и конструкций, твердеющих в пропарочных камерах. Целесообразно использовать шлакопортландцемент в конструкциях горячих цехов и в гидротехнических сооружениях, подвергающихся сульфатной агрессии. Из него готовят строительные кладочные и штукатурные растворы. Не рекомендуется шлакопортландцемент для конструкций, которые находятся под систематическим воздействием попеременного замораживания и оттаивания или увлажнения и высушивания [1].

4.3.4.2. Пуццолановый портландцемент

Пуццолановый портландцемент содержит в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и пуццолану, микрокремнезем или глиеж в количестве от 21 до 35 %.

Пуццолана – материал силикатного или алюмосиликатного состава или их комбинация. Пуццоланы не твердеют самостоятельно при затворении водой, однако в тонкоизмельченном виде и в присутствии воды при нормальной температуре реагируют с раствором гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, обуславливающие прочность твердеющего материала. Образующиеся гидросиликаты и гидроалюминаты кальция аналогичны тем, которые образуются при твердении гидравлических вяжущих веществ.

Пуццоланы состоят преимущественно из реакционно-способных диоксида кремния SiO_2 и оксида алюминия Al_2O_3 , остальное – оксид железа Fe_2O_3 и другие оксиды. Массовая доля реакционноспособного диоксида кремния SiO_2 – не менее 25 %.

Пуццоланы подготавливают следующим образом: в зависимости от природного и производственного состояния их гомогенизируют, высушивают или подвергают термообработке и измельчению.

Природная пуццолана является материалом осадочного (диатомиты, трепелы, опоки) или вулканического (пеплы, туфы, трассы, вулканические шлаки, цеолиты и цеолитизированные породы) происхождения соответствующего химико-минералогического состава.

Глиежи – термически активированные вулканические породы и глины, горелые породы, сланцы или осадочные породы.

Микрокремнезем образуется при восстановлении высокочистого кварца углем в дуговых печах при изготовлении кремния и ферросилиция и состоит из очень мелких сферических частиц, содержащих аморфный или стеклообразный диоксид кремния SiO_2 в количестве не менее 85 % массы добавки. Для совместного измельчения с клинкером микрокремнезем допускается применять в исходном, уплотненном состоянии либо в виде брикетов, полученных прессованием с увлажнением.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок пуццолановый портландцемент относится к типу ЦЕМ IV и в зависимости от содержания добавок подразделяется на подтипы:

– А (портландцементного клинкера 65–89 %, пуццоланы, глиежа или микрокремнезема 11–35 %).

– В (портландцементного клинкера 45–64 %, пуццоланы, глиежа или микрокремнезёма 36–55 %).

По прочности на сжатие в возрасте 28 суток пуццолановый портландцемент подразделяют на классы: 32,5; 42,5 и 52,5. Сроки схватывания и равномерность изменения объема такие же, как и у портландцемента.

Пуццолановый портландцемент следует применять для бетонов, постоянно находящихся во влажных условиях (подводные и подземные части сооружений). На воздухе бетон на пуццолановом портландцементе дает большую усадку и в сухих условиях частично теряет прочность, что объясняется «выветриванием» воды из гидратных соединений. Кроме того, бетоны на этом цементе имеют низкую морозостойкость и не годятся для сооружений, подвергающихся замораживанию и оттаиванию. Пуццолановый портландцемент твердеет в нормальных условиях медленнее, чем портландцемент. Поэтому его не следует применять при зимних бетонных работах. Пуццолановый портландцемент обладает сравнительно небольшим тепловыделением и часто применяется для бетонов внутренних частей массивных сооружений (плотин, шлюзов и т. п.) [1].

4.3.4.3. Композиционный цемент

Композиционный цемент содержит в качестве основных компонентов портландцементный клинкер и смесь шлака и пуццоланы и/или золы-уноса в количестве от 22 до 60 %.

По содержанию портландцементного клинкера и добавок композиционный портландцемент относится к типу ЦЕМ V и в зависимости от содержания добавок подразделяется на подтипы:

- А (портландцементного клинкера 40–64 %, шлака 18–30 %, пуццоланы 18–30 %);
- В (портландцементного клинкера 20–38 %, шлака 31–49 %, пуццоланы 31–49 %).

Классы прочности, сроки схватывания и равномерность изменения объема такие же, как и у портландцемента.

4.3.5. Специальные цементы

4.3.5.1. Цементы сульфатостойкие

Сульфатостойкий портландцемент (СПЦ) изготавливают 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 в цемент инертных и активных минеральных добавок не допускается. При таком минералогическом составе цемента уменьшается возможность образования в цементном камне (бетоне) под действием сульфатных вод гидросульфатоалюмината кальция – «цементной бациллы».

По вещественному составу сульфатостойкие цементы подразделяют на типы:

- ЦЕМ I СС – сульфатостойкий портландцемент;
- ЦЕМ II/A СС и ЦЕМ II/B СС – сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками;
- ЦЕМ III/A СС – сульфатостойкий шлакопортландцемент.

Основные типы, классы и подклассы прочности сульфатостойких цементов, а также разрешенные к применению добавки – основные компоненты цемента приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики сульфатостойких цементов

Наименование цемента	Тип цемента	Применяемые классы и подклассы прочности	Разрешенные минеральные добавки – основные компоненты
Сульфатостойкий портландцемент	ЦЕМ I СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б	Не допускаются
Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	ЦЕМ II/A-III СС ЦЕМ II/B-III СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	Доменный гранулированный шлак
	ЦЕМ II/A-II СС		Пуццолана
	ЦЕМ II/A-K (Ш-II) СС ЦЕМ II/A-K (Ш-II, МК) СС		Смесь шлака с пуццоланой или микрокремнеземом
Сульфатостойкий шлакопортландцемент	ЦЕМ III/A СС	32,5Н; 32,5Б; 42,5Н	Доменный гранулированный шлак

В цемент допускается вводить при помоле пластифицирующие добавки в количестве не более 0,5 % массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки. Пластифицирующие добавки не следует применять, если они плохо сочетаются с супер- или гиперпластификаторами, вводимыми в бетонную или растворную смесь при их изготовлении для снижения водопотребности или повышения живучести этих смесей. Для защиты от воздействия влаги и CO_2 воздуха и удлинения сроков хранения цемента допускается вводить в цемент при помоле гидрофобизирующие добавки в количестве не более 0,3 % массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки. Гидрофобизированный цемент не должен впитывать воду в течение 5 мин от момента нанесения капли воды на поверхность цемента.

При производстве цемента для интенсификации процесса помола допускается вводить технологические добавки, не ухудшающие качество цемента, в количестве не более 0,5 %, органические добавки – не более 0,1 % массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки. При этом суммарное содержание всех видов органических добавок, вводимых в цемент, не должно быть более 0,5 %.

По прочности на сжатие в возрасте 28 суток сульфатостойкие цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5 и 52,5. По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) суток цементы подразделяют на подклассы Н (нормальнотвердеющие) и Б (быстротвердеющие).

Сульфатостойкий цемент должен выдерживать испытания на равномерность изменения объема. Расширение образцов не должно быть более 10 мм. Для цементов класса по прочности 32,5 начало схватывания не ранее 75 мин, класса по прочности 42,5 – не ранее 60 мин, класса по прочности 52,5 – не ранее 45 мин.

Тонкость помола сульфатостойкого цемента, определяемая по удельной поверхности методом воздухопроницаемости, должна быть не менее 250 м²/кг. Для цементов, содержащих добавки пуццоланы, тонкость помола определяют по остатку на сите с сеткой № 009. Остаток на сите не должен быть более 10 % массы просеиваемой пробы. Допускается проводить определения на сите с сеткой № 008. Остаток на сите № 008 не должен быть более 12 % массы просеиваемой пробы.

Сульфатостойкий портландцемент характеризуется повышенной сульфато-, морозо- и водостойкостью, пониженным тепловыделением в процессе схватывания и твердения. Сульфатостойкий портландцемент применяют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций наружных зон гидротехнических массивных сооружений, работающих в условиях многократного замораживания и оттаивания в пресной или слабоминерализованной воде [1].

4.3.5.2. Белый и цветные цементы

Белый и цветные портландцементы изготавливают из сырьевых материалов, характеризующихся малым содержанием окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома), из чистых известняков, мраморов и белых каолиновых глин.

Белый портландцемент выпускают марок М300, М400 и М500 и по степени белизны разделяют на три сорта: БЦ-1, БЦ-2 и БЦ-3.

Цветные портландцементы получают совместным помолом клинкера белого портландцемента со свето- и щелочестойкими пигментами (суриком, охрой, ультрамарином и др).

Белый и цветные цементы используют при архитектурно-отделочных работах, для получения фактурного слоя стеновых панелей, а также для изготовления искусственного мрамора и облицовочных плиток [1].

4.3.5.3. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент – быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция [3]. Однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ определяет быстрое твердение и другие свойства глиноземистого цемента. В сравнительно небольших количествах в нем также содержатся другие алюминаты кальция, например $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$. Влияние на качество цемента оказывает алюмосиликат кальция – геленит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Силикаты кальция представлены небольшим количеством белита.

Для получения клинкера глиноземистого цемента в качестве главных компонентов сырьевой массы берут известняк CaCO_3 и породы, содержащие глинозем ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), например, бокситы.

В России разработан способ производства глиноземистого цемента путем плавки в доменной печи бокситовой железной руды с добавкой известняка и железного лома. При этом доменная печь одновременно выдает чугуна и шлак, представляющий собой клинкер глиноземистого цемента.

Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах, не выше 25°C . Поэтому глиноземистый цемент нельзя применять для бетонирования массивных конструкций из-за разогрева бетона, а также подвергать тепловлажностной обработке.

Глиноземистый цемент является быстротвердеющим вяжущим. По прочности при сжатии в возрасте 3 суток цементы подразделяют на марки: ГЦ-40, ГЦ-50 и ГЦ-60.

При столь быстром твердении глиноземистый цемент обладает нормальными сроками схватывания, почти такими же, как и портландцемент. Начало схватывания глиноземистого цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения. Тепловыделение глиноземистого цемента при твердении примерно в 1,5 раза больше, чем

у портландцемента. В продуктах гидратации глиноземистого цемента не содержится гидроксида кальция и трехкальциевого шестиводного гидроалюмината (если температура не превышает 25 °С), поэтому бетон на глиноземистом цементе более стоек по сравнению с портландцементом против выщелачивания $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также стоек в растворе сульфата кальция и магния (в частности, в морской воде). Однако затвердевший глиноземистый цемент разрушается в растворах кислот и щелочей, поэтому глиноземистый цемент нельзя смешивать с портландцементом и известью.

5. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

5.1. Общие сведения о древесине

Древесина широко распространена по всему земному шару. В России произрастает пятая часть ее мировых запасов. Запасы древесины, млрд м³: Бразилия – 80; Россия – 40; Канада – 27; США – 23; Швеция – 2,5; Финляндия – 1,6. Около 2/3 запасов составляет хвойная древесина. На Балканах растет практически только лиственная древесина, преимущественно ценных пород.

Достоинства древесины: высокая прочность, малая плотность, низкая теплопроводность, легкость обработки, гигиеничность, самовосполняемость запасов.

Недостатками являются: анизотропия строения и свойств, гигроскопичность, загниваемость, горючесть.

Качество древесины определяется породой дерева, его структурой и свойствами, общим состоянием и количеством пороков.

Область применения: из древесины возводят деревянные конструкции, ее используют для наружной и внутренней отделки, из отходов древесины изготавливают композиционные материалы (древесно-стружечные плиты – ДСтП, цементно-стружечные плиты – ЦСП, арболит, ксилолит и др.) [4].

При изготовлении несущих конструкций (фермы, балки, сваи, пролетные строения мостов, опалубка) особенно широко применяют хвойную древесину (сосна, лиственница, пихта, ель).

Твердые лиственные породы (дуб, бук, ясень) используют для изготовления мелких деталей – шпонок, нагелей и как отделочный материал в виде шпона, декоративной фанеры.

При переработке более половины древесины (до 60 %) идет в отходы, которые, в свою очередь, используют при изготовлении древесных плит, бумаги, спиртов, кислоты и т. д.

Мировая тенденция заключается в увеличении масштабов использования древесины, экономном и эффективном ее применении в строительстве, более полном использовании отходов и низкокачественной древесины путем их комплексной переработки с применением достижений современной химии, что предполагает защиту деревянных конструкций от гниения и возгорания; изготовление клееных деревянных конструкций; древесных плит, пластиков, фанеры; химическую переработку отходов (бумаги, спиртов, кормовых добавок для скота).

Для эффективного использования древесины необходимо знание ее свойств, методов рационального применения, средств и способов защиты.

5.2. Строение древесины

Макроструктура древесины – структура, видимая «невооруженным» глазом. Различают три основных разреза ствола [1]: поперечный (торцевой), радиальный – проходящий через ось ствола и тангенциальный – проходящий по хорде вдоль ствола (рис. 5.1).

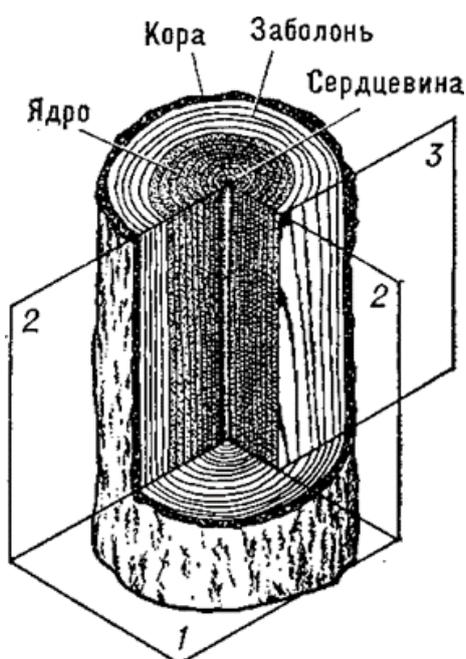


Рис. 5.1. Строение ствола:

1 – поперечный разрез; 2 – радиальный разрез; 3 – тангенциальный разрез

На поперечном срезе древесины просматриваются годовые кольца, которые состоят из светлых и темных полос (ранняя и поздняя древесина) (рис. 5.2).

Микроструктура древесины (видна под микроскопом) – это клетки трубчатой формы (проводящие клетки, сердцевинные лучи) (рис. 5.3).

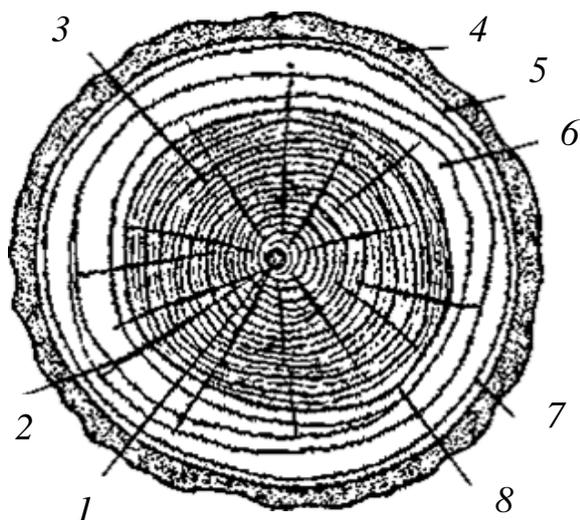


Рис. 5.2. Поперечный разрез ствола:
1 – сердцевина; 2 – сердцевинные лучи; 3 – ядро; 4 – пробковый слой;
5 – лубяной слой; 6 – заболонь;
7 – камбий; 8 – годовичные слои

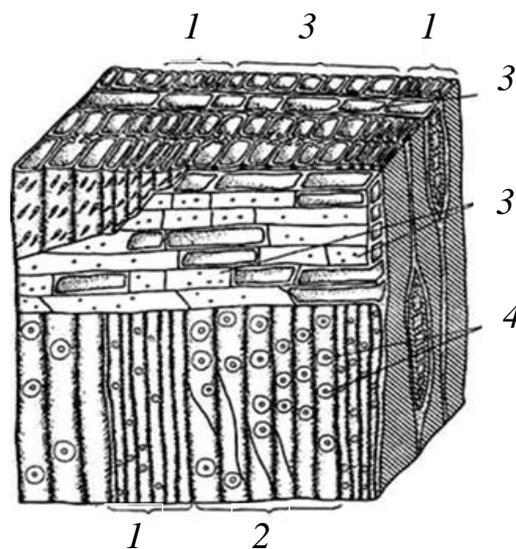


Рис. 5.3. Микроструктура древесины хвойных пород:
1 – клетки (трахеиды) поздней древесины; 2 – клетки ранней древесины; 3 – запасные клетки сердцевинных лучей;
4 – поры в стенках клеток

Основное вещество древесины – это целлюлоза (50 %), а также лигнин (25 %) и гемицеллюлоза (25 %).

Главной составляющей частью клеточных оболочек древесины и всех высших растений является целлюлоза – природный полимер линейного строения (рис. 5.4).

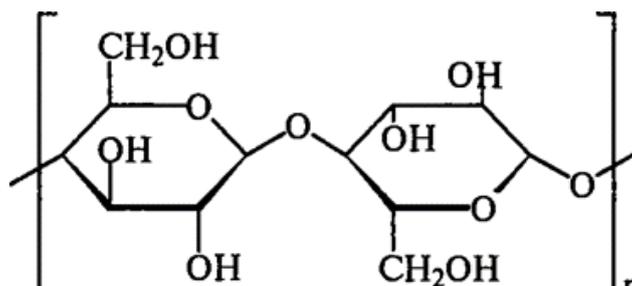


Рис. 5.4. Структура целлюлозы

Древесные породы: ядровые (дуб, сосна, кедр, лиственница, ясень); спелодревесные – ядро и заболонь не отличаются по цвету (ель, пихта, бук, осина); заболонные (береза, клен, ольха, липа).

5.3. Свойства древесины

5.3.1. Физические свойства

Плотность – 400–700 кг/м³ (пихта – 390, сосна – 540, лиственница – 790), истинная плотность – 1,54 г/см³. Плотность, определенную при конкретной влажности древесины, принято пересчитывать при стандартной 12 %-й влажности:

$$\rho_{12\%} = \rho_w \cdot [1 + 0,01 (1 - K_0) (12 - W)], \quad (5.1)$$

где $K_0 = 0,6$ для березы, дуба, бука, лиственницы и $K_0 = 0,5$ для осины, сосны, ели.

Гигроскопичность: предел гигроскопичности (насыщения волокон) – 30 %.

Влажность: свежесрубленной – 50–100 %; воздушно-сухой – 15–20 %; комнатно-сухой – 8–12 %. Влажность сплавной древесины может достигать 200 %.

При высушивании древесины наблюдаются **усушка и коробление** (рис. 5.5): вдоль волокон – 0,1 %; в радиальной плоскости – 3–6 %; в тангенциальной – 6–12 %. Эти процессы происходят при изменении влажности в пределах гигроскопичности от 7 до 30 %.

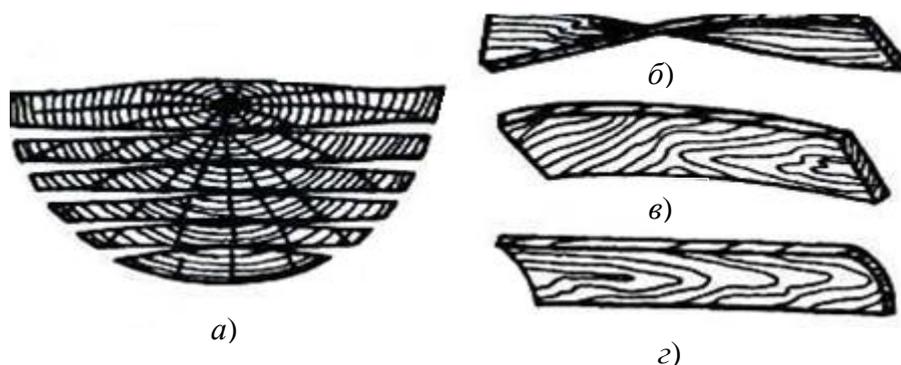


Рис. 5.5. Деформация пиломатериалов при усушке:
a – изменение формы поперечного сечения пиломатериалов при усушке;
б – винтовая; *в* – продольная; *г* – поперечная покоробленность

Теплопроводность сухой древесины поперек волокон – 0,17 Вт/(м·°С), вдоль – 0,35 Вт/(м·°С).

Стойкость древесины, особенно хвойных пород, весьма высока (к растворам солей, щелочей, к органическим и минеральным слабым кислотам). Плохо сохраняется древесина в морской воде, разрушают ее и концентрированные растворы минеральных кислот (азотная – в любой концентрации). Наиболее стойка в агрессивных средах смолистая древесина лиственницы.

Долговечность древесины весьма высока. В воздушно-сухих условиях и в насыщенном водой состоянии древесина сохраняется столетиями.

Цвет древесины определяют дубильные вещества. Текстура (рисунк на поверхности) весьма разнообразна. Древесина, в отличие от других строительных материалов, имеет приятный душистый запах из-за содержащихся в ней смол и эфирных масел.

5.3.2. Механические свойства

Прочность древесины максимальна при нулевой влажности и быстро снижается с ростом влажности до предела гигроскопичности (рис. 5.6).

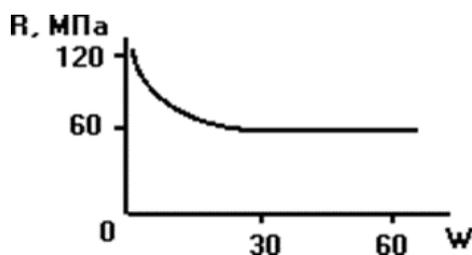


Рис. 5.6. Влияние влажности древесины на ее прочность при статическом изгибе

Показатели прочности древесины также пересчитывают на стандартную влажность:

$$\sigma_{12\%} = \sigma_w [1 + \alpha \cdot (W - 12)], \quad (5.2)$$

где $\alpha = 0,04$ для сжатия и изгиба, $\alpha = 0,03$ для скалывания.

Прочность древесины при сжатии: вдоль волокон – 50–100 МПа; поперек волокон – 20 МПа. Прочность при изгибе – 100–180 МПа. Прочность при растяжении – 130 МПа. Модуль упругости при изгибе – 104 МПа [4].

- Значительно снижают прочность пороки древесины:
- сучки (здоровые, загнившие, сросшиеся, несросшиеся);
 - трещины (метиковые, морозные);
 - пороки формы ствола (кривизна, закомелистость);
 - пороки строения древесины (наклон волокон, двойная сердцевина);
 - химические окраски;
 - грибные поражения; червоточины; механические повреждения.

5.4. Методы повышения долговечности древесины

Известны факты длительного хранения древесины. Тысячелетиями сохранялась древесина в гробницах фараонов и миллионы лет – в окаменевшем состоянии. Сухая древесина может служить очень долго. Для древесины опасно переменное увлажнение, вызывающее ее загнивание.

Химическая стойкость древесины весьма высока, известны случаи многолетней эксплуатации деревянных конструкций в агрессивных средах (лотки сточных вод, чаны, электролизные ванны). Наибольшую стойкость и долговечность в таких условиях показывает лиственница.

Сушка древесины производится следующим образом: 1) естественная сушка (штабельная укладка с защитой торцов известью, клеем, солью) от 2–3 месяцев до 1,5 лет (влажность – 15 %); 2) искусственная сушка (сушильные камеры непрерывного и периодического действия: паром (70–80 °С), горячим воздухом (50–60 °С); аэродинамические сушилки). Продолжительность сушки в таких камерах составляет 3–6 суток до влажности 6–10 %. Существуют и более скоростные способы сушки древесины: контактная сушка шпона в прессе, сушка токами высокой частоты; скоростная сушка в петролатуме (8–12 ч, $t = 130$ °С).

Защита от гниения. Гниение древесины – это увлажнение и деструктивные изменения древесины с разложением целлюлозы на глюкозу. При влажности 18–20 % в ней начинают развиваться споры лесных, складских или домовых грибов.

Существуют простые меры защиты древесины от загнивания [4]: сушка, вентиляция, предохранение от увлажнения. При необходимости могут применяться и более эффективные способы защиты.

Антисептики – химические вещества, которые убивают грибы, вызывающие гнили, или создают среду, в которой их жизнедеятельность прекращается (в Древнем Риме для этих целей использовались нефть, битум). Водорастворимые антисептики: фторид натрия NaF , кремнефторид натрия Na_2SiF_6 , борная кислота и бура техническая. К органикорастворимым антисептикам относятся препараты, состоящие из растворов пентахлорфенола и растворов нафтената меди в легких нефтепродуктах. Они окрашивают древесину в зеленый цвет, затрудняют ее склеивание. Это высокотоксичные антисептики. Маслянистые антисептики: антраценовое масло (получается при перегонке каменного угля), сланцевое, креозотовое масло (получается при дистилляции каменноугольного дегтя).

Способы антисептирования: поверхностная обработка (антисептирующие пасты); горяче-холодные ванны; автоклавная обработка (под давлением до 1,5 МПа); модифицирование синтетическими полимерами.

Предохранение от возгорания. Температура воспламенения древесины – 250–300 °С, самовоспламенения – 350 °С; длительный нагрев древесины при 120–150 °С может также привести к ее самовоспламенению. Конструктивные меры защиты от возгорания [4]: удаление от источника тепла; негорючие перегородки (брандмауэры); покрытие асбестом, штукатуркой (это применялось еще в крепостях Древнего Рима). Эффективны и огнезащитные краски (жидкое стекло, мел, песок, красители). Для огнезащиты применяются также лаки и краски на полимерной основе (меламино-мочевино-формальдегидные смолы) и специальные вещества, такие, как аптипирены, бура и другие.

Антипирены (фосфаты и сульфаты аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_8)_2\text{PO}_3$) разлагаются с выделением серной или фосфорной кислоты с обугливанием древесины; при использовании буры (борно-натриевая соль) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ выделяются пары воды, вспучивающие покрытия (на основе фурановых соединений, полимерсиликатов).

Модифицирование древесины – это пропитка заготовок жидкими олигомерами или мономерами с последующим отверждением в порах древесины. При этом между полимером-модификатором и древесиной образуются химические, физико-химические и механические связи. Модифицированная древесина является композиционным древесно-

полимерным материалом, обладающим свойствами и древесины, и полимера. В клеточные стенки древесины легко проникают фенолоспирты, фурановые смолы, труднее – акрилонитрил, стирол.

Свойства модифицированной древесины: плотность – до 800 кг/м^3 ; прочность при сжатии возрастает в 1,5 раза; древесина темнеет. Обработанная аммиаком и прессованная древесина уплотняется в большей степени: $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$; прочность при сжатии поперек волокон возрастает почти на порядок; прочность при сжатии вдоль волокон $R_{сж} = 180 \text{ МПа}$ (у натуральной древесины – 70 МПа).

Сферы применения модифицированной древесины: строительство, машиностроение, металлообработка, деревообрабатывающая, легкая, горнодобывающая промышленность, транспорт, энергетика, археология.

5.5. Строительные изделия из древесины

К лесоматериалам относятся: кряжи (диаметр – более 20 см), бревна (диаметр – 12–20 см, длина – 3–6,5 м); подтоварник (8–11 см); жерди (3–7 см) (рис. 5.7) [4].

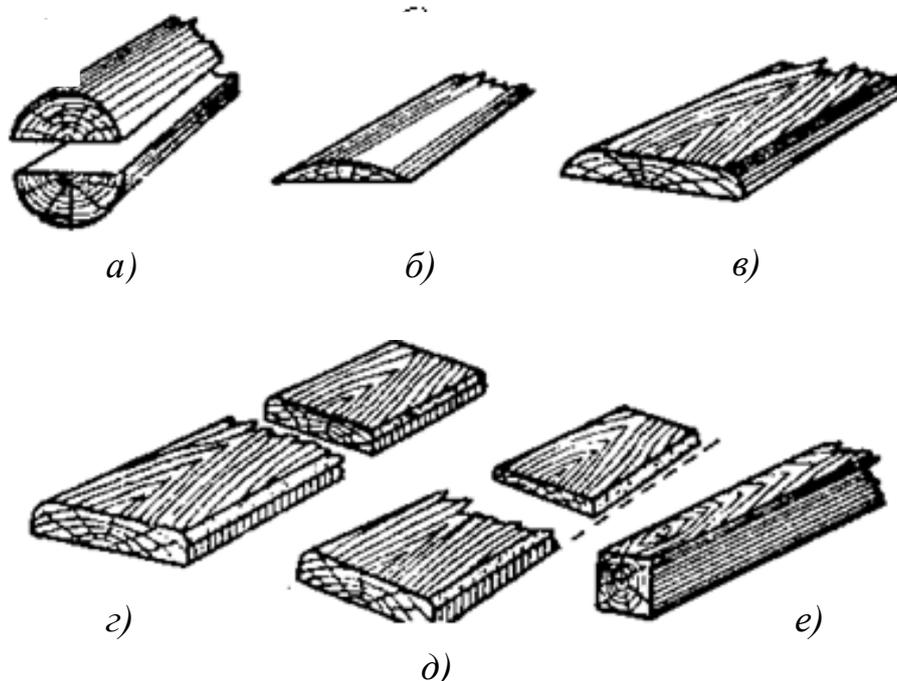


Рис. 5.7. Сортимент пиломатериалов:

a – пластины; *б* – горбыль; *в* – доска необрезная; *г* – доска с тупым обзолом; *д* – доска с острым обзолом; *е* – брусок чистообрезной

Хвойные пиломатериалы поставляются длиной 1–6,5 м (с шагом 0,25 м), отборные и с 1-го по 4-й сорта.

Лиственные пиломатериалы поставляются длиной 0,5–6,5 м (шаг – 0,5 м), с 1-го по 3-й сорта.

Изделия из древесины:

– доски: шпунтованные, фальцованные, фрезерованные (плинтус, наличники);

– паркет: обыкновенный, щитовой из древесины дуба, бука, ясеня, березы, паркетная доска;

– столярно-строительные изделия (оконные и дверные блоки, подоконники);

– фанера;

– древесно-слоистые пластики (прочность – 150–280 МПа);

– древесно-волокнистые плиты: теплоизоляционные и конструкционные;

– древесно-стружечные плиты, в том числе ориентированные ОСП;

– клееные деревянные конструкции (балки, фермы, арки, рамы, прогоны);

– ограждающие конструкции домов заводского изготовления.

Библиографический список

1. Строительные материалы: учебник / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов [и др.]. – Москва: АСВ, 2000. – 536 с.

2. Горчаков Г.И. Строительные материалы: учебник / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – Москва: Стройиздат, 1986. – 686 с.

3. Попов К.Н. Строительные материалы и изделия: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – Москва: Высшая школа, 2001. – 367 с.

4. Воробьев В.А. Строительные материалы: учебник / В.А. Воробьев, А.Г. Комар. – Москва: Стройиздат, 1971. – 496 с.

Оглавление

1. СТРОЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	3
1.1. Общие сведения.....	3
1.2. Связь строения, состава и свойств.....	5
1.2.1. Строение и свойства.....	5
1.2.2. Состав и свойства.....	8
1.3. Физические свойства.....	9
1.3.1. Параметры состояния.....	9
1.3.2. Структурные характеристики.....	11
1.3.3. Гидрофизические свойства.....	12
1.3.4. Теплофизические свойства.....	17
1.4. Механические свойства.....	19
2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	23
2.1. Общие сведения.....	23
2.2. Магматические горные породы (изверженные)	25
2.2.1. Породообразующие минералы.....	26
2.2.2. Глубинные (интрузивные) горные породы.....	28
2.2.3. Излившиеся (эффузивные) горные породы.....	32
2.3. Осадочные горные породы.....	36
2.3.1. Главные породообразующие минералы.....	37
2.3.2. Механические отложения (обломочные породы)...	40
2.3.3. Химические осадки.....	41
2.3.4. Органогенные породы.....	43
2.4. Метаморфические горные породы.....	45
2.4.1. Главные породообразующие минералы.....	45
2.4.2. Основные разновидности метаморфических горных пород.....	46
2.5. Материалы и изделия из природного камня.....	47
2.5.1. Характеристика и применение природных каменных изделий.....	48
2.5.1.1. Грубообработанные каменные изделия...	48
2.5.1.2. Камни и плиты.....	49
2.5.1.3. Каменные кислотоупорные изделия.....	51
2.6. Коррозия каменных материалов	52

3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	53
3.1. Общие сведения.....	53
3.2. Сырье для производства керамических материалов.....	55
3.2.1. Глинистое сырье.....	55
3.2.2. Добавки к глинам.....	58
3.2.3. Глазури и ангобы.....	58
3.3. Общая схема производства керамических изделий.....	59
3.3.1. Подготовка глин и формование изделий.....	59
3.3.2. Сушка изделий.....	61
3.3.3. Обжиг изделий.....	62
3.4. Стеновые керамические изделия.....	63
3.5. Облицовочные керамические изделия.....	65
3.6. Кровельные керамические изделия.....	68
3.7. Санитарно-технические керамические изделия и трубы	69
3.8. Специальные керамические изделия.....	71
4. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	73
4.1. Общие сведения.....	73
4.2. Воздушные вяжущие вещества.....	74
4.2.1. Строительная воздушная известь.....	74
4.2.2. Гипсовые вяжущие вещества	79
4.2.3. Магнезиальные вяжущие вещества.....	83
4.2.4. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент.....	84
4.3. Гидравлические вяжущие вещества.....	85
4.3.1. Гидравлическая известь.....	85
4.3.2. Романцемент.....	86
4.3.3. Портландцемент.....	86
4.3.3.1. Принципы производства.....	87
4.3.3.2. Химический состав клинкера.....	91
4.3.3.3. Минералогический состав клинкера.....	91
4.3.3.4. Твердение портландцемента.....	93
4.3.3.5. Коррозия цементного камня.....	95
4.3.3.6. Технические характеристики портландцемента.....	99
4.3.4. Разновидности цементов.....	102
4.3.4.1. Шлакопортландцемент.....	104
4.3.4.2. Пуццолановый портландцемент.....	105

4.3.4.3. Композиционный цемент.....	107
4.3.5. Специальные цементы.....	107
4.3.5.1. Цементы сульфатостойкие.....	107
4.3.5.2. Белый и цветные цементы.....	109
4.3.5.3. Глиноземистый цемент.....	110
5. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ.....	111
5.1. Общие сведения о древесине.....	111
5.2. Строение древесины.....	112
5.3. Свойства древесины.....	114
5.3.1. Физические свойства.....	114
5.3.2. Механические свойства.....	115
5.4. Методы повышения долговечности древесины.....	116
5.5. Строительные изделия из древесины.....	118
Библиографический список.....	119

Учебное издание

Котляр Владимир Дмитриевич
Курилова Светлана Николаевна
Мальцева Инна Владиславовна
Наумов Алексей Александрович

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Редактор Г.В. Владимирова
Компьютерная обработка: О.И. Пушкина

В печать 26.10.2021.
Формат 60×84/16. Объем 7,7 усл. п. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 294. Цена свободная

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1