

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**С.В.Черкасов, Л.Н.Адоньева**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Конспект лекций

*Рекомендовано научно-методическим советом  
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по специальностям:  
«Промышленное и гражданское строительство»,  
«Водоснабжение и водоотведение»,  
«Экспертиза и управление недвижимостью»*

Воронеж 2010

УДК 691.1:666.972

ББК 38.37+38.33

Ч-48

**Черкасов, С.В.**

**Материаловедение. Строительные материалы** : конспект лекций /  
Ч-48 С.В.Черкасов, Л.Н.Адоньева; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. — Воронеж,  
2010. — 148 с.

Изложены основы строительного материаловедения, свойства и применение наиболее распространенных строительных материалов: вяжущих веществ, керамических, природных каменных, полимерных, древесных, теплоизоляционных, акустических, стекла, бетона, железобетона.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям.

Ил. 15. Табл. 12. Библиогр.: 11 назв.

ISBN 978-5-89040-301-8

© С.В. Черкасов, Л.Н. Адоньева, 2010

© Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении почти всей истории своего существования человечество занималось строительством. И в настоящее время строительство является одним из основных видов деятельности человеческого бытия.

Сегодня строительный комплекс включает в себя предприятия различного назначения, обладает мощным машинным парком, современными технологиями, в нем трудятся миллионы людей

Возведение зданий и сооружений требует от инженеров-строителей знания строительных материалов, их достоинств, недостатков, особенностей использования. Это позволяет, с одной стороны, выпускать строительную продукцию (здания и сооружения), отвечающую современным требованиям по архитектурной привлекательности, комфортабельности и надежности, а с другой стороны, используя дешевые материалы, снижать ее себестоимость.

Промышленность строительных материалов является наиболее емкой, ежегодно в РФ перерабатывается для этих целей более 1 млрд. т различных материалов.

Стоимость материалов в общих затратах на строительство составляет более 50 %.

Знание строительных материалов нужно не только на стадии проведения строительных работ. Дальнейший срок «жизни» объекта — эксплуатационный, также во многом зависит, от того, какие специалисты будут осуществлять мониторинг и ремонт его строительных конструкций, заниматься системами отопления, вентиляции, тепло- и газоснабжения, электроснабжения и т.д.

Дисциплина, посвященная строительным материалам, преподается при подготовке инженеров-строителей уже более 100 лет.

Материаловедение является одной из базисных инженерных дисциплин для изучения других: строительных конструкций, технологии строительного производства, архитектуры и др.

Значение курса "Материаловедение" в общей подготовке строителей важно потому, что ни одно сооружение нельзя правильно спроектировать, построить и эксплуатировать без наличия соответствующих строительных материалов и всестороннего знания их свойств.

В пособии приведены основы строительного материаловедения и основы технологии применительно к строительным материалам (сырье, производство, свойства, области применения). Поясняется взаимосвязь состава сырья, структуры, свойств и особенностей технологии получения строительных материалов, изделий и конструкций.

Конспект лекций предназначен для студентов высших и средних учебных заведений строительных специальностей, обучающихся по заочной (в т.ч. и дистанционной) форме обучения, а также может быть полезен студентам-очникам и другим лицам, связанным со строительной индустрией.

# 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.

Изделия, конструкции строительного сооружения должны обеспечивать надежность при длительной эксплуатации.

*Надежность* представляет собой способность изделия сохранять в процессе эксплуатации долговечность, безотказность, ремонтпригодность и сохраняемость.

*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. Например, для железобетонных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I — соответствует сроку службы не менее 100 лет, II — 50 лет, III — 20 лет.

*Безотказностью* называют свойство изделия сохранять работоспособность в условиях эксплуатации в течение некоторого времени без перерывов на ремонт.

*Ремонтпригодность* — свойство изделия, характеризующее его способность к восстановлению и сохранению исправности.

*Сохраняемость* — свойство изделия сохранять эксплуатационные показатели после срока хранения и транспортирования.

Любое строительное сооружение является комплексом систем, обеспечивающих его долговечность и функционирование. Основной системой является каркас (остов) сооружения. Также важную роль выполняют системы защиты и жизнеобеспечения.

Остов сооружения, например, жилого здания включает в себя фундамент, стены, перекрытия и покрытие, его создают из конструкционных (прочных) материалов.

Систему защиты сооружения (здания) создают при помощи материалов обладающих *стойкостью*, т.е. способностью сопротивляться физическим и химическим воздействиям среды: воздуху и содержащимся в нем парам и газам, воде и растворенным в ней веществам, колебаниям температуры и влажности, совместному действию воды и мороза при многократном замораживании и оттаивании, воздействию химически агрессивных веществ — кислот, щелочей и др.

Систему жизнеобеспечения образуют линии (сети) электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения, водоотведения, отопления и др.

В общих сметах строительного объекта на стоимость материалов обычно приходится 50...65 %, поэтому экономия при возведении строительного объекта во многом зависит от эффективности применяемых строительных материалов и изделий. Постоянно ищутся различные способы снижения себестоимости материалов, увеличения их эффективности за счет уменьшения материалоемкости и массы конструкций,

выпуска строительных изделий и деталей повышенной заводской готовности, дальнейшего расширения ассортимента.

## 1.2 Классификация строительных материалов

Огромное количество строительных материалов обычно представляют в виде системных классификаций.

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

*Первую группу* составляют *конструкционные* материалы, применяемые для несущих конструкций: природные каменные материалы; искусственные каменные материалы, получаемые на основе вяжущих веществ без обжига (бетоны, строительные растворы) и с помощью термической обработки минерального сырья (керамика, стекло, ситаллы); металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы); конструкционные пластмассы; лесные материалы и др.

*Вторая группа* объединяет 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, герметизирующие, отделочные, антикоррозионные, огнеупорные и др.

По *формированию структуры* материалы можно разделить на две группы: природные и искусственные.

*Природные*, или естественные, строительные материалы и изделия получают непосредственно из недр земли или путем переработки лесных массивов в «деловой» лес. Этим материалам с помощью простой механической обработки придают определенную форму и размеры, не изменяя их внутреннего строения и состава. Чаще других из природных в строительстве используют лесные (древесные) и каменные материалы и изделия. Кроме них, в сравнительно небольших количествах в строительстве применяются природный битум, солома, камыш, костра, торф.

*Искусственные* строительные материалы, в основном, представляют собой композиты (конгломераты), получаемые из нескольких ингредиентов с помощью химических, физико-химических, тепловых и других воздействий. Производственный цикл искусственных материалов включает несколько переделов. К типичным переделам относятся: *подготовка* (просев, промывка, измельчение, помол, увлажнение, сушка) сырьевых компонентов; *перемешивание* отдозированных сырьевых компонентов; *формование* изделий; *специальная обработка* изделий до полного их отвердевания.

На долю искусственных композитов и их компонентов приходится примерно 90 % всех строительных материалов. К основным композитам относятся: материалы и изделия на основе органических и минеральных вяжущих веществ, керамические изделия, стеклянные и др.

## 1.3 Стандартизация свойств

В строительстве применяют много материалов с различными свойствами, однако существуют основные свойства, важные для всех строительных материалов. К таким

свойствам можно отнести: плотность, пористость, прочность, стойкость в эксплуатационных условиях. Указанные свойства определяют качество материала и возможность его применения.

Свойства материала всегда оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем испытаний. Испытания обязательно проводят в соответствии с *государственными стандартами* (ГОСТами).

ГОСТ — это документ, имеющий силу закона для всех предприятий, организаций и учреждений народного хозяйства. В обозначении ГОСТа первое число означает порядковый номер стандарта, второй — год его утверждения. В области строительных материалов и изделий наиболее распространены стандарты: технических условий, типов изделий и их основных параметров, методов испытаний. Большинство стандартов на строительные материалы и изделия — это стандарты технических условий. Стандарты технических условий нормируют область применения, показатели качества и надежности продукции, ее внешний вид, методы контроля, правила приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения. Кроме стандартов в строительстве действует система нормативных документов, объединенная в *Строительные нормы и правила* (СНиП). СНиП — это свод нормативных документов по проектированию, строительству и строительным материалам.

Отступления от ГОСТов и СНиПов возможны только в сторону повышения качества и художественно-эстетической выразительности конструкций.

#### 1.4. Связь строения, состава и свойств

Знание строения и состава строительного материала позволяет прогнозировать его свойства, и главное, где и как использовать материал.

Строение материала изучают на трех уровнях: 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 рентгенофазового анализа, электронной микроскопии и др.

Макроструктура строительных материалов может быть: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, рыхлозернистая.

*Искусственные конгломераты* — это обширная группа, объединяющая, в основном, бетоны различного вида.

*Ячеистая структура* характеризуется наличием овальных макропор, свойственных ячеистым бетонам и пластмассам.

*Мелкопористая структура* свойственна керамическим материалам, формируемым из смеси высокого водозатворения с 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.).

*Рыхлозернистая структура* присуща зернистым порошкообразным материалам типа: заполнители для бетона, теплоизоляция, засыпки и др.

*Микроструктура* веществ, составляющих материал, может быть кристаллическая и аморфная. Кристаллическая форма всегда более устойчива. Особенностью кристаллического вещества является определенная температура плавления.

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

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составом.

*Химический состав* строительных материалов позволяет судить о ряде свойств материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других свойствах. Химический состав минеральных веществ (цемента, извести и др.) и каменных материалов обычно выражают 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 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* указывает содержание в материале твердых, жидких и газообразных веществ. Твердые вещества, образуют стенки пор, т.е. "каркас" материала. Пores заполнены воздухом и водой. От их содержания и фазовых переходов воды зависят важнейшие эксплуатационные свойства материала.

Свойства материала определяются его составом и структурой. Поэтому всегда важно иметь четкие представления о процессах формирования структуры и возникающих новообразованиях, что изучается на микро- и молекулярно-ионном уровне с помощью специальных методов.

Петрографический метод используется для исследования цементов, бетонов, стекла, огнеупоров, шлаков, керамики и т.д.

С помощью электронного микроскопа с увеличением до 300000 раз можно изучать: форму и размеры отдельных кристаллов; процессы роста и разрушения кристаллов; процессы диффузии; фазовые превращения при термической обработке и охлаждении; механизм деформации и разрушения.

Рентгенофазовый анализ используется для контроля сырья и готовой продукции, для наблюдения за ходом технологических процессов.

Дифференциально-термический анализ позволяет определить минеральный и фазовый состав материала.

## **1.5. Параметры состояния строительных материалов**

Истинная и средняя плотности, пористость являются параметрами состояния любого строительного материала. Они обуславливают отношение материалов к действию факторов окружающей среды: влаги, температуры, газов и др. и учитываются при про-

ектировании строительных конструкций и сооружений, при определении области применения материалов, при их производстве, хранении, транспортировке и т.д.

Истинная плотность – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот).

Истинную плотность материала определяют делением его массы ( $m$ ) на объем в абсолютно плотном состоянии (объем твердой фазы –  $V_{тф}$ ):

$$\rho = \frac{m}{V_{тф}}, \quad \text{г/см}^3 \text{ или кг/м}^3. \quad (1)$$

Средняя плотность – это масса единицы объема материала в естественном состоянии.

Среднюю плотность определяют отношением массы материала ( $m$ ) ко всему занимаемому им объему ( $V_{мат}$ ), включая поры и пустоты ( $V_{пор}$ ):

$$\rho_m = \frac{m}{V_{мат}} = \frac{m}{V_{тф} + V_{пор}}, \quad \text{г/см}^3 \text{ или кг/м}^3. \quad (2)$$

Пористость - это степень заполнения материала порами:

$$П = \frac{V_{пор}}{V_{мат}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

На практике пористость определяют с помощью средней и истинной плотностей, рассчитывая по формуле

$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100\%. \quad (4)$$

От величины пористости, размера и формы пор, равномерности распределения их в материале зависят важнейшие его свойства: прочность, плотность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость и др.

Таблица 1

Показатели физических свойств важнейших строительных материалов

Наименование материала	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м · °С)
	Истинная	Средняя		
Сталь	7,85	7,85	0	58
Гранит	2,8	2,77	1	3,5
Железобетон	2,6	2,5	5	2,0
Бетон тяжелый	2,6	2,4	5	1,80
Бетон ячеистый	2,6	0,6	80	0,24
Кирпич керамический	2,6	1,8	30	0,75
Кирпич силикатный	2,6	1,8	30	0,81
Стекло оконное	2,65	2,65	0	0,76
Минераловатная плита	2,55	0,2	90	0,078
Сосна	1,53	0,5	67	0,16
Древесноволокнистая плита	1,5	0,6	60	0,15
Пенопластовая плита	1,20	0,10	92	0,064



Обычно материал содержит и открытые, и закрытые поры. Открытые поры при контакте материала с водой впитывают воду, закрытые – не впитывают. Открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала, понижают его морозостойкость и долговечность. Однако в звукопоглощающих материалах специально создается открытая пористость и перфорация, необходимые для поглощения звуковой энергии.

## 1.6. Гидрофизические свойства строительных материалов

Гигроскопичностью называется способность материала поглощать влагу из влажного воздуха. При увеличении относительной влажности воздуха и снижении его температуры, а также при уменьшении размера пор в материале гигроскопичность повышается. Равновесная влажность воздушно-сухой древесины составляет 12...18 %, стеновых материалов – 5...7 % по массе.

Капиллярное всасывание воды материалом происходит, когда часть конструкции находится в воде. Так, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия воды в материале и определяется по формуле

$$h = 2 \sigma \cos \theta / (r \rho g), \quad (5)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение;  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $r$  – радиус капилляра;  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

Чтобы не допустить сырости в помещении, устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундаментную часть стены от ее наземной части.

Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Водопоглощение характеризует максимальную степень увлажнения материала, т.е. такое состояние, при котором все открытые поры заполнены водой. Различают водопоглощение по массе ( $B_m$ ) и объему ( $B_v$ ).

$$B_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{мат}}} 100\%, \quad (6) \quad B_v = \frac{V_{\text{воды}}}{V_{\text{мат}}} 100\%, \quad (7)$$

где  $m_{\text{воды}}$  – масса поглощенной материалом воды;  $m_{\text{мат.}}$  – масса сухого материала;  $V_{\text{воды}}$  – объем поглощенной материалом воды;  $V_{\text{мат.}}$  – объем материала.

Водопоглощение материала по объему и массе связаны между собой следующей зависимостью:

$$B_v = B_m \cdot \rho_m . \quad (8)$$

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах: гранита – 0,02... 0,7 %, тяжелого бетона – 3...5 %, кирпича – 8...15 %, пористых теплоизоляционных материалов – 100 % и более.

Влажность – это степень увлажнения материала в естественном состоянии.

Абсолютную влажность вычисляют по формуле

$$W = \frac{m_{\text{воды}}}{m_{\text{сух}}} 100\%, \quad (9)$$

где  $m_{\text{воды}}$  – масса воды в материале;  $m_{\text{мат.}}$  – масса сухого материала.

Абсолютная влажность, в зависимости от окружающих условий, может меняться

в пределах от 0 до  $V_m$ .

*Увлажнение отрицательно влияет на основные свойства материала: увеличивает его плотность, теплопроводность, материал набухает, а прочность и морозостойкость понижаются.*

Водопроницаемость — это свойство материала пропускать воду под давлением.

Водопроницаемость не допускают при строительстве гидротехнических сооружений, резервуаров, коллекторов, стен подвалов зданий. С этой целью применяют достаточно плотные материалы с замкнутыми порами, устраивают гидроизоляционные слои, экраны.

Газо- и паропроницаемость характеризуют способность материала пропускать газ или пар под давлением.

Стеновой материал должен обладать определенной проницаемостью, чтобы наружная стена "дышала", т.е. через нее осуществлялась бы естественная вентиляция, что особенно важно для жилых зданий, в которых отсутствует кондиционирование воздуха. Стены и покрытия влажных производственных помещений необходимо защищать от проникновения водяного пара, иначе при его конденсации резко повышается влажность, особенно в холодный период.

Паронепроницаемые материалы должны располагаться с той стороны ограждения, где содержание водяного пара в воздухе больше.

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

Усадка — уменьшение размеров материала при его высыхании.

Усадка возникает, когда из материала удаляется вода, расположенная в мелких порах (табл. 2). Испарение воды из крупных пор не вызывает объемных изменений.

Таблица 2

Величина усадки материалов

Вид материала	Усадка, мм/м
Древесина (поперек волокон)	30...100
Ячеистый бетон	1...3
Строительный раствор	0,5...1
Кирпич	0,03...0,1
Тяжелый бетон	0,3...0,7
Гранит	0,02...0,06

Набухание — увеличение размеров материала при его увлажнении.

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

Водостойкость — способность материала сохранять прочностные свойства при увлажнении.

Водостойкость материала характеризуется коэффициентом размягчения.

$$K_{разм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}, \quad (10)$$

где  $R_{нас}$  — прочность материала, насыщенного водой;  $R_{сух}$  — прочность сухого материала.

Коэффициент размягчения изменяется от 0 (размокающие глины и др.) до 1 (металлы и др.). Каменные материалы не применяют в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их коэффициент размягчения меньше 0,8.

Морозостойкость — способность насыщенного водой материала выдерживать определенное количество циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Разрушение пористого материала происходит под влиянием совместного действия на него воды и мороза. Например, осенью наружная часть стены промерзает. В это время происходит перемещение пара "от тепла к холоду". Пар стремится наружу, поскольку его давление при отрицательной температуре ниже, чем при положительной. Попадая в зону низких температур, водяной пар конденсируется в порах возле наружной грани стены. В эту же зону поступает влага внешних осадков. Таким образом, поры наружной промерзающей части стены обводняются. При наступлении даже небольших морозов (от  $-5$  до  $-8$  °C) вода в крупных порах замерзает и при переходе в лед увеличивается в объеме на 9 %. Если коэффициент насыщения водой хотя бы части пор приблизится к 1, то в стенках пор возникнут значительные растягивающие напряжения. Разрушение начинается в виде "шелушения" поверхности бетона, затем оно распространяется вглубь.

Морозостойкость материала оценивается маркой. За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания (при температуре  $-15$  °C) и оттаивания (при температуре  $+15$  °C), которое выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более, чем на 15 % и видимых повреждений.

От морозостойкости зависит долговечность строительных материалов в конструкциях, подвергающихся действию атмосферных факторов и воды.

Легкие бетоны, кирпич, для наружных стен зданий обычно имеют морозостойкость 15, 25, 35. Бетон, применяемый в строительстве мостов и дорог, должен иметь марку 50, 100, 200, а гидротехнический бетон — 500.

### 1.7. Теплофизические свойства

Теплопроводность — способность материала проводить через себя теплоту.

Это свойство является главным для теплоизоляционных материалов, применяемых для устройства ограждающих конструкций зданий. Тепловой поток проходит через твердый "каркас" и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха  $\lambda = 0,023$  Вт/(м·°C) значительно меньше, чем у твердого вещества, из которого состоит "каркас" строительного материала. Поэтому увеличение пористости материала является основным способом уменьшения теплопроводности. Чтобы снизить количество теплоты, передаваемой конвекцией и излучением, следует создавать в материале мелкие закрытые поры. Теплопроводность связана с плотностью материала: чем выше плотность, тем выше теплопроводность. Теплопроводность материала также возрастает при увлажнении материала, т.к. теплопроводность воды  $\lambda = 0,59$  Вт/(м·°C).

О теплопроводности материала можно судить по его плотности. Известна форму-

ла В.П.Некрасова, связывающая теплопроводность с относительной плотностью каменного материала:

$$\lambda = 1,1 \sqrt{0,01960,22^2} - 0,1 \epsilon, \quad (11)$$

где  $d$  – относительная плотность материала по отношению к плотности воды (безразмерная величина).

Теплоемкость – это способность материала поглощать и удерживать в себе теплоту.

Теплоемкость определяется количеством теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг материала, чтобы повысить его температуру на 1°C. Теплоемкость стали – 0,48 кДж/(кг · °С), неорганических строительных материалов (бетонов, кирпича, природных каменных материалов) изменяется в пределах 0,75...0,92 кДж/(кг · °С). Теплоемкость сухих органических материалов (например, древесины) – 2,39...2,72 кДж/(кг · °С), вода имеет наибольшую теплоемкость – 4,19 кДж/(кг · °С), поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает.

Огнеупорность – свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580 °С и выше), не размягчаясь и не деформируясь.

*Огнеупорные* материалы (шамот, диас, магнезитовый кирпич) применяют для труб, внутренней футеровки промышленных печей.

*Тугоплавкие* материалы выдерживают температуры до 1350 °С.

*Жаростойкие* материалы (жаростойкий бетон, керамический кирпич) выдерживают температуры до 1000 °С.

Огнестойкость – свойство материала сопротивляться действию огня при пожаре в течение определенного времени.

В зависимости от степени огнестойкости строительные материалы разделяют на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.

*Несгораемые материалы* в условиях высоких температур не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию. При этом некоторые материалы почти не деформируются (керамический кирпич, черепица), другие могут сильно деформироваться (сталь) или разрушаться, растрескиваться (природные камни, например, гранит), особенно при одновременном воздействии воды, применяемой при тушении пожаров.

*Трудносгораемые материалы* под воздействием высоких температур тлеют и обугливаются, но при удалении огня процессы горения, тления и обугливания полностью прекращаются. К таким материалам относятся фибролит, гидроизол, асфальтовый бетон и др.

*Сгораемые материалы* воспламеняются и горят или тлеют под воздействием огня или высокой температуры, причем горение или тление продолжается также после удаления источника огня. Среди них – древесина, войлоку битумы, смолы и др.

Температурное расширение – свойство материала увеличивать размеры и объем при нагревании.

Коэффициент линейного температурного расширения бетона и стали составляет  $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , 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 примерно 0,5-1 мм/м. Во избежание растрескивания в сооружениях большой протяженности устраивают деформационные швы.

## 1.8. Механические свойства

Строительные материалы и конструкции подвергаются различным внешним силам — нагрузкам, которые вызывают в них внутренние напряжения и деформации. Нагрузки делятся на статические, действующие постоянно, и динамические, которые возникают внезапно и вызывают силы инерции.

На статические нагрузки рассчитываются здания и сооружения промышленного и гражданского строительства. Это нагрузки от оборудования, мебели, людей, самих конструкций и т.д. Ряд сооружений — мосты, тоннели, дорожные и аэродромные покрытия, кузнечные и прессовые цеха — предназначен для восприятия не только статических, но и динамических нагрузок.

Нагрузки динамического характера образуются от природных катастроф (землетрясения, ураганы, наводнения, селевые потоки, оползни и др.), а также от аварий на предприятиях (взрывы, удары).

Механические свойства выражают способность материала сопротивляться внутренним напряжениям без нарушения установившейся структуры.

Механические свойства делятся на деформационные и прочностные.

Деформационные свойства характеризуют способность материала менять форму или размеры без изменения массы. Основными деформативными свойствами являются упругость, пластичность, хрупкость, ползучесть.

**Упругость** называют способность твердого тела самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы.

**Пластичность** называют способность твердого тела изменять форму или размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, причем после прекращения действия силы тело не может самопроизвольно восстанавливать свои размеры и форму.

**Хрупкость** твердого тела называют его способность разрушаться без образования значительных пластических деформаций.

**Ползучесть** выражается в непрекращающемся изменении размера твердого тела под влиянием растягивающих или сжимающих силовых воздействий (напряжений ниже предела прочности).

Главные виды деформаций — растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб. Они могут быть обратимыми и необратимыми. Обратимые деформации полностью исчезают при прекращении силового действия на материал. Необратимые или пластические деформации накапливаются в период действия силы, а после снятия силы сохраняются. Обратимые деформации, исчезающие мгновенно, называются упругими; исчезающие в течение некоторого времени — эластическими.

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

Основными характеристиками деформативных свойств строительного материала

являются модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, объемный модуль упругости (модуль всестороннего сжатия), предельные деформации (растяжения, сжатия и др.), ползучесть.

Рассмотрим связь строения и деформативных свойств материала.

Внешние силы, приложенные к телу, вызывают изменение межатомных расстояний, отчего происходит изменение размеров деформируемого тела на величину  $\Delta\ell$  в направлении действия силы (при сжатии — укорочение, при растяжении — удлинение).

Относительная деформация равна отношению абсолютной деформации  $\Delta\ell$  к первоначальному линейному размеру тела  $\ell$ :

$$\varepsilon = \Delta\ell / \ell . \quad (12)$$

**Напряжение** — мера внутренних сил, возникающих в деформируемом теле под воздействием внешних сил.

Модуль упругости  $E$  (модуль Юнга) связывает упругую деформацию и одноосное напряжение линейным соотношением, выражающим закон Гука:

$$\varepsilon = \sigma / E . \quad (13)$$

При одноосном растяжении (сжатии) напряжение определяется по формуле

$$\sigma = P/F . \quad (14)$$

где  $P$  — действующая сила;  $F$  — площадь первоначального поперечного сечения элемента.

Модуль упругости представляет собой меру жесткости материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей (они характеризуются высокой температурой плавления) обладают и большим модулем упругости.

Механические свойства характеризуются диаграммой "напряжение—относительная деформация" ( $\sigma - \varepsilon$ ). На рис. 1 представлены кривые " $\sigma - \varepsilon$ " для строительных материалов: упругих, пластичных, хрупких и эластомеров.

Стекло деформируется как упругий хрупкий материал (рис. 1, а). Поликристаллические изотропные материалы (металлы) сохраняют упругость при значительных напряжениях; для многих из них характерно пластическое разрушение с наличием площадки текучести  $A-B$  на диаграмме " $\sigma - \varepsilon$ " (рис. 1, б). При хрупком же разрушении пластические деформации невелики (рис. 1, а)

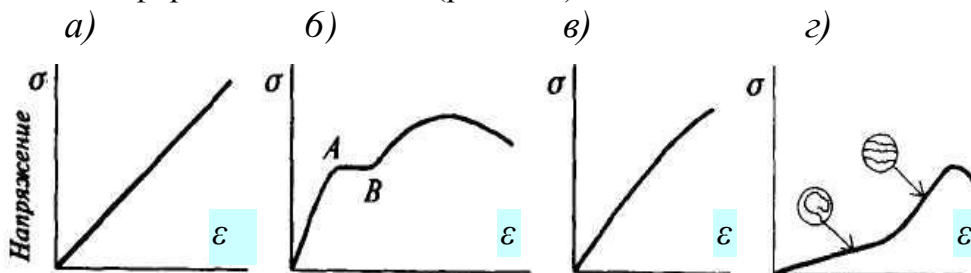


Рис. 1 Схема диаграмм деформации: а) стекла; б) стали; в) бетона; з) эластомера

Нелинейное соотношение между напряжением и деформацией у некоторых материалов проявляется при относительно невысоких напряжениях. Так, у материалов с конгломератным строением (бетонов различного вида) оно отчетливо наблюдается (рис. 1, в) уже при напряжениях, больших 0,2 предела прочности.

Упругая деформация эластомеров (каучуков) может превышать 100 % (рис. 1, з).

**Прочность** — это способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних сил или других факторов.

Прочность строительных материалов оценивается пределом прочности  $R$ , т.е. напряжением в материале, соответствующим нагрузке, при которой происходит разрушение образца.

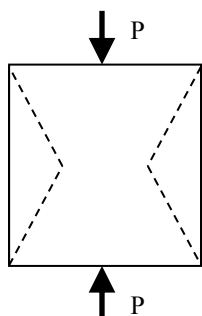


Рис. 2. Схема разрушения хрупких материалов: сжатие куба

Для хрупких материалов (бетонов, строительных растворов, кирпича, изделий из природного камня и др.) основной прочностной характеристикой является *предел прочности при сжатии*. Предел прочности определяют как средний результат испытания серии образцов-близнецов (обычно не менее трех). Форма и размеры образцов, состояние их опорных поверхностей существенно влияют на результаты испытания.

При испытании кубов из хрупких материалов (бетона, раствора, камня и др.) получается характерная форма разрушения: образуются две усеченные пирамидки, сложенные вершинами (рис. 2). На результаты испытания влияет скорость нагружения образца. Если нагрузка возрастает быстрее, чем установлено стандартом, то результат получается завышенным, так как не успевают развиваться пластические деформации.

Показатели прочности строительного материала являются условными величинами, получаемыми по стандартным методикам, единым для всей страны.

На практике в материалах строительных сооружений, допускаются напряжения, составляющие только часть предела прочности. То есть, допускаемое напряжение:  $\sigma = R/z$ , где  $z$  — запас прочности обычно 2,3 и более.

В зависимости от прочности строительные материалы разделяются на марки. Марка материала по прочности является важнейшим показателем его качества. В нормативных документах марка указывается в кг/см<sup>2</sup>; например, марки портландцемента М400, М500, М550 и М600. Чем выше марка, тем выше качество конструкционного строительного материала. Единая шкала марок охватывает все строительные материалы.

**Предел прочности при осевом сжатии**  $R_{сж}$ , (МПа) равен частному от деления разрушающей силы  $P_{разр}$  на первоначальную площадь  $F$  поперечного сечения образца (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж} = P_{разр} / F . \quad (15)$$

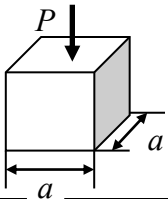
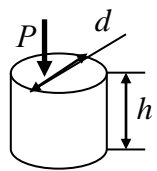
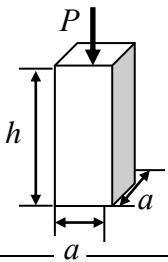
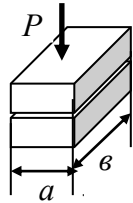
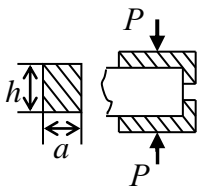
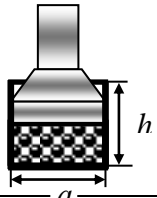
В табл. 3 систематизированы характерные образцы, применяемые для определения предела прочности строительных материалов при сжатии.

**Предел прочности при изгибе**  $R_{пн}$ , (МПа) определяют путем испытания образца материала в виде призмы квадратного сечения, расположенной на двух опорах. Образец нагружают одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения. Предел прочности условно вычисляют по той же формуле сопротивления материалов, что и напряжение при изгибе:

$$R_{пн} = M/W , \quad (16)$$

где  $M$  — изгибающий момент;  $W$  — момент сопротивления.

Схемы стандартных методов определения прочности сжатии

Форма образца	Схема испытания	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб		$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон	$a = 7, 10, 15, 20, 30$
			Раствор	$a = 7$
			Природный камень	$a = 5, 7, 10$
Цилиндр		$R = \frac{4P}{\pi d^2}$	Бетон	$d = 7, 10, 15, 20, 30;$ $h = d$ или $2d$
			Природный камень	$d = 5, 7, 10, 15;$ $h = d$
Призма		$R = \frac{P}{a^2}$	Бетон	$a = 10, 15, 20;$ $h = 4a$
			Древесина	$a = 2;$ $h = 3$
Составной образец		$R = \frac{P}{a \cdot b}$	Кирпич	$a = 2;$ $h = 14;$ $b = 12,5; 25$
Половинка призмы		$R = \frac{P}{a \cdot b}$	Цемент	$a = 4;$ $b = 6,25;$ $h = a$
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$	Щебень, гравий	$d = 15;$ $h = 15$

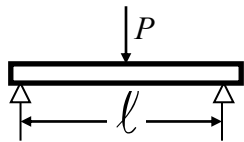
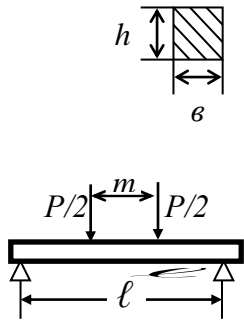
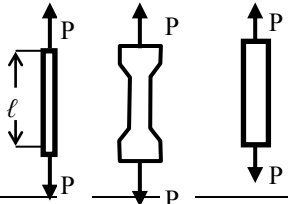
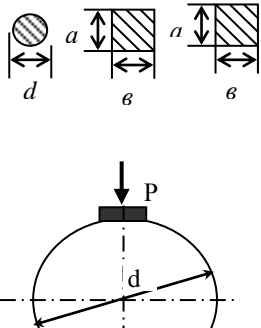
В табл. 4 приведены схемы испытания и соответствующие им расчетные формулы. Эти формулы справедливы в пределах упругой работы материала и при одинаковом



его сопротивлению сжатию и растяжению. Поэтому по формулам вычисляют условное значение предела прочности при изгибе, являющееся стандартной прочностной характеристикой кирпича, строительного гипса, цемента, дорожного бетона.

Таблица 4

Схемы стандартных методов определения прочности при изгибе и растяжении

Форма образца	Схема испытания	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Испытание на изгиб				
Призма		$R_u = \frac{3}{2} \cdot \frac{P\ell}{b\ell^2}$	Бетон	$a = 7, 10, 15;$ $b = 7, 10, 15;$ $\ell = 3,5a$
			Цемент	$a = 4; b = 4;$ $\ell = 12$
			Кирпич	$a = 12;$ $b = 6,5 (8,8);$ $\ell = 20$
Призма		$R_u = \frac{P(\ell - m)}{bh}$	Бетон	$a = 7, 10, 15;$ $b = 7, 10, 15;$ $\ell = 3,5a$
			Древесина	$a = 2; b = 2;$ $\ell = 24$
Испытание на растяжение				
Стержень, восьмерка, призма		$R_p = \frac{4P}{\pi d^2}$  $R_p = \frac{P}{a^2}$	Сталь	$\ell = 1; d = 5$
			Бетон	$a = 5, 10;$ $b = 5, 10;$ $\ell = 50, 80$
Цилиндр		$R_p = \frac{P}{hca}$	Бетон	$d = 15$
			Асфальтобетон	$d = 7; h = 7$

**Предел прочности при осевом растяжении**  $R_p$  (МПа) равен частному от деления разрушающей силы  $P_{разр}$  на первоначальную площадь  $F$  поперечного сечения образца (цилиндра, призмы):

$$R_p = P_{разр} / F . \quad (17)$$

Этот показатель используется в качестве прочностной характеристики стали, бетона, волокнистых и других материалов (табл. 1.4). 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.);  $R_p = R_{сж}$  (сталь);  $R_p < R_{сж}$  (хрупкие материалы — природные камни, бетон, кирпич.

**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 (Дж/м<sup>3</sup>) или площади поперечного сечения образца (Дж/м<sup>2</sup>). Сопротивление удару важно для материалов, используемых при устройстве фундаментов машин, полов промышленных зданий, дорожных покрытий и т.п.

**Удельная прочность** (коэффициент конструктивного качества) материала равна отношению показателя прочности  $R$  (МПа) к относительной плотности  $d$  (безразмерная величина):

$$R_y = R/d , \quad (18)$$

Следовательно, это прочность, отнесенная к единице плотности. Лучшие конструктивные материалы имеют высокую прочность при малой собственной плотности.

Для некоторых материалов значения  $R_y$  приведены ниже: для стеклопластика —  $450/2 = 225$  МПа, древесины (без пороков) —  $100/0,5 = 200$  МПа, стали высокопрочной —  $1000/7,85 = 127$  МПа, стали —  $390/7,85 = 51$  МПа.

Для каменных материалов значения  $R_y$  составляют: для легкого конструкционного бетона —  $40/1,8 = 22,2$  МПа, тяжелого бетона —  $40/2,4 = 16,6$  МПа, легкого бетона —  $10/0,8 = 12,5$  МПа, кирпича —  $10/1,8 = 5,56$  МПа.

Повышения  $R_y$  можно добиться снижением плотности материала или увеличением его прочности.

**Твердостью** называют способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого материала.

Твердость природных каменных материалов оценивают шкалой Мооса, представленной десятью минералами, из которых каждый последующий царапает все предыдущие. Эта шкала включает минералы в порядке возрастания условной твердости от 1 до 10:

1. Тальк  $Mg_3 [Si_4O_{10}][OH]_2$  — легко царапается ногтем.
2. Гипс  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  — царапается ногтем.
3. Кальцит  $CaCO_3$  — легко царапается стальным ножом.

4. Флюорит (плавиковый шпат)  $\text{CaF}_2$  — царапается стальным ножом под небольшим нажимом.
5. Апатит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$  — царапается ножом под сильным нажимом.
6. Ортоклаз  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
7. Кварц  $\text{SiO}_2$
8. Топаз  $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}][\text{F},\text{OH}]_2$
9. Корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$
10. Алмаз  $\text{C}$

} легко царапают стекло, применяются в качестве абразивных (истирающих) и шлифующих материалов.

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 ( $HB$ ), МПа, по формуле

$$HB = P/F, \quad (19)$$

где  $F$  — площадь поверхности отпечатка.

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

**Истираемость** оценивают потерей массы образца материала при истирающих воздействиях, отнесенной к площади поверхности истирания и вычисляют по формуле

$$M = (m_1 - m_2)/F, \text{ г/см}^2, \quad (20)$$

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 лестниц и т.п.

**Износом** называют свойство материала сопротивляться одновременно ударным и истирающим воздействиям. Износ определяют на образцах материалов, которые испытывают во вращающемся барабане со стальными шарами или без них. Показателем износа служит потеря массы % материала в результате проведенного испытания.

## 2. ЛЕСНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Древесина издавна широко применяется в строительстве, что обусловлено ее положительными свойствами: высокой прочностью, небольшой средней плотностью, долговечностью при благоприятных условиях эксплуатации, малой теплопроводностью, хорошей обрабатываемостью, способностью склеиваться.

Вместе с тем древесина имеет ряд недостатков, которые ограничивают ее применение: неоднородность строения, расположенность к загниванию и горению, способность изменять размеры при высыхании и увлажнении.

В строительстве древесину применяют для устройства полов, оконных и дверных заполнений, устройства лесов, подмостей и др. Кроме того, древесина применяется для изготовления бумаги, картона, целлюлозы.

### 2.1. Строение дерева

Дерево состоит из корней, ствола и кроны. Корни служат для всасывания воды и питательных веществ. Они же удерживают дерево в вертикальном положении. Ствол проводит питательные вещества от корней к листьям.

Ствол имеет и главное промышленное значение.

При изучении строения ствола рассматривают макроструктуру - видимое невооруженным глазом и микроструктуру - видимое под микроскопом.

Изучение ведут по трем разрезам ствола: поперечному (торцовому), радиальному, проходящему через ось ствола, и тангенциальному, проходящему по хорде вдоль ствола (рис. 3, 4).

Различают следующие основные части ствола: кору, камбий, древесину и сердцевину.

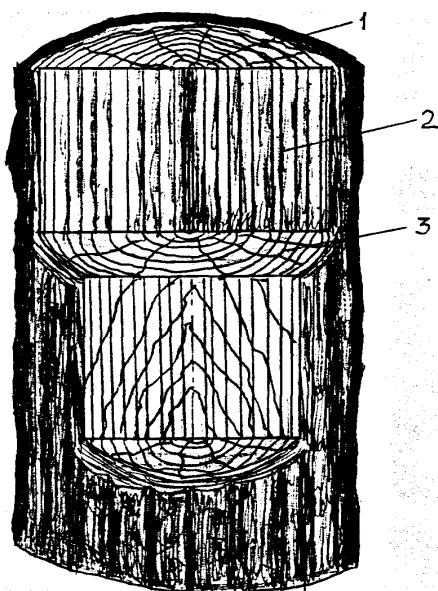


Рис. 3. Главные разрезы ствола дерева:

1 — поперечный (торцовый); 2 — радиальный; 3 — тангенциальный

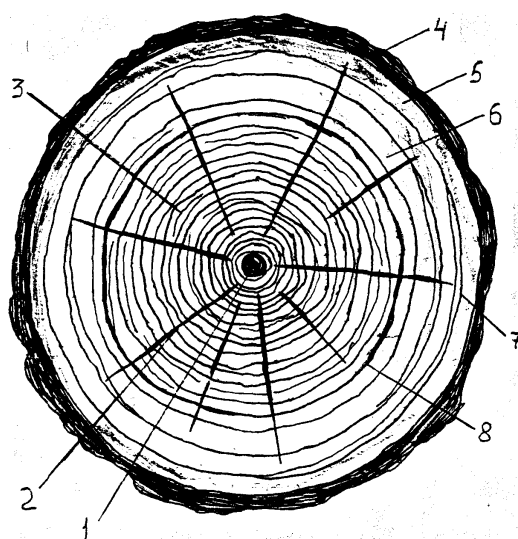


Рис. 4. Поперечный разрез ствола:

1 — сердцевина, 2 — сердцевинные лучи; 3 — ядро, 4 — пробковый слой; 5 — лубяной слой; 6 — заболонь; 7 — камбий; 8 — годовичные слои

Кора состоит из наружного слоя — корки, и внутреннего — пробкового слоя, она предохраняет древесину от внешних воздействий.

Луб проводит питательные вещества.

Камбий — тонкий слой клеток, способный к делению и росту.

Древесина складывается из годичных слоев в виде концентрических колец, видных у большинства пород невооруженным глазом.

Древесина включает в себя заболонь и ядро, отличающиеся по цвету.

Заболонь состоит из живых клеток, ядро — из мертвых. У таких пород, как береза, клен, ольха, ядро отсутствует, и их называют заболонными.

Сердцевина имеет небольшую прочность и подвержена загниванию.

По радиусам к коре располагаются сердцевинные лучи, которые проводят питательные вещества в горизонтальном направлении.

## 2.2. Породы деревьев

Породы деревьев подразделяют на хвойные и лиственные. Наибольшее хозяйственное значение имеют хвойные породы: сосна, ель, лиственница, пихта, кедр.

**Сосна** является одной из распространенных хвойных пород и занимает около 1/6 площади лесов СНГ. Продолжительность жизни составляет около 300 лет. Имеет высоту 30...40 м и диаметр 40...80 см. Заготавливается в возрасте 80...120 лет. Древесина сосны обладает ценными строительными свойствами. Применяют в виде бревен, столбов, шпал, для изготовления пиломатериалов, столярных изделий.

**Ель** по распространению на территории страны занимает второе место после сосны. Продолжительность жизни составляет 250...300 лет. Высота — 20...40 м, диаметр — до 80 см. Заготавливается в возрасте 100...150 лет. Древесина ели менее долговечна, чем сосны. Применяют для изготовления пиломатериалов, шпал, столярных изделий.

**Лиственница** растет высотой 30...35 м. Заготавливается в возрасте 80...120 лет. Имеет упругую, твердую, долговечную древесину. Применяют в подводном строительстве, для изготовления шпал, столбов.

**Пихта** имеет древесину, по техническим свойствам близкую к древесине ели. Применяют как местный материал наравне с елью.

**Кедр** имеет мягкую, легкую древесину с механическими свойствами несколько ниже, чем древесина сосны. Применяют для изготовления шпал, столярных изделий. Заготовка кедра сейчас ограничена.

Лиственные породы занимают 1/4 площадей лесов страны. Наибольшее применение в строительстве нашли дуб, вяз, ясень, береза, ольха и осина. Однако по хозяйственному значению они уступают хвойным.

**Дуб** является одной из распространенных лиственных пород. Растет высотой 30 м и более. Средняя продолжительность жизни — 500...600 лет. Он имеет прочную и упругую древесину, стойкую против гниения. В воде прочность его увеличивается. Применяют в строительстве для изготовления ответственных несущих конструкций и деталей, паркета, фанеры, в столярно-мебельном производстве.

**Вяз** имеет тяжелую, прочную, вязкую древесину. Применяют для изготовления фанеры и столярных изделий.

**Ясень** обыкновенный имеет твердую, вязкую, с красивой текстурой древесину. Применяют его для изготовления столярных изделий, мебели.

**Береза** является самой распространенной лиственной породой. Имеет высокую прочность, однако подвержена загниванию, растрескиванию, короблению. Применяют, в основном, для изготовления фанеры.

**Ольха** (черная) — порода, распространенная в Беларуси. Имеет белую древесину, быстро краснеющую на воздухе. Древесина мягкая, легкая, склонна к загниванию. Применяют для изготовления фанеры, мебели.

**Осина** имеет мягкую древесину белого цвета. При повышенной влажности быстро загнивает. Применяют для изготовления фанеры, гонга.

### 2.3. Основные физико-механические свойства древесины

*Истинная плотность* древесины колеблется в пределах 1490...1560 кг/м<sup>3</sup>.

*Средняя плотность* зависит от влажности и пористости породы. Значение средней плотности указывается применительно к 12 %-ной влажности.

Все породы по средней плотности условно разделяют на три группы: легкие (с  $\rho_{m12} < 550$  кг/м<sup>3</sup>), средние (с  $\rho_{m12} = 550 \dots 700$  кг/м<sup>3</sup>) и тяжелые (с  $\rho_{m12} > 700$  кг/м<sup>3</sup>).

Значения средней плотности, кг/м<sup>3</sup>, некоторых распространенных пород древесины приведены в табл. 5.

Таблица 5

Виды лесных пород

Легкие породы		Средние породы		Тяжелые породы	
Пихта сибирская	380	Береза	640	Клен	700
Кедр	440	Вяз	660	Дуб	700
Ель	450	Лиственница	670	Граб	810
Тополь	460	Бук	680	Акация белая	810
Липа	500	Ясень обыкновенный	690		
Сосна	510				

*Влажность* древесины существенно влияет на ее физико-механические свойства и в ряде случаев определяет ее пригодность.

По степени влажности древесину подразделяют на мокрую, свежесрубленную, воздушно-сухую, комнатно-сухую и абсолютно сухую. Мокрая имеет влажность свыше 100 %, свежесрубленная — 35 % и выше, воздушно-сухая — 15...20 %, комнатно-сухая — 8...12 % и абсолютно сухая — 0 %.

За стандартную влажность условно принята влажность, равная 12 %.

*Гигроскопичностью* называют способность древесины поглощать из воздуха парообразную воду. Свойство противоположное гигроскопичности — *влагоотдача* — способность древесины отдавать воду в окружающую среду. Гигроскопичность и влагоотдача зависят от температуры и относительной влажности воздуха.

Находясь длительное время на воздухе с постоянной относительной влажностью и температурой, древесина приобретает определенную влажность, которая называется равновесной.

При изменении влажности происходит усушка или набухание древесины.

*Усушкой* называют уменьшение линейных размеров и объема древесины при высыхании. Усушка древесины в различных направлениях неодинакова. Вдоль волокон она составляет 0,1...0,3 %, в радиальном направлении — 3...6 % и в тангенциальном — 7...12 %. Объемная усушка, выражаемая коэффициентом объемной усушки, составляет 0,2...0,75 %. Усушка приводит к появлению щелей между деревянными элементами, образованию трещин.

*Набуханием* называют способность древесины увеличивать свои размеры при поглощении воды. Набухание вдоль волокон составляет 0,1...0,8 %, в радиальном направлении — 3...5 %, в тангенциальном — 6...12 %.

Свойства древесины по-разному изменять свои размеры при усушке и набухании приводит к короблению.

*Теплопроводность* древесины составляет 0,16...0,3 Вт/(м ·°С). Вдоль волокон она в 1,8 раза выше, чем поперек.

Важнейшей характеристикой древесины является прочность. В деревянных конструкциях древесина работает на сжатие вдоль и поперек волокон, скалывание, изгиб, растяжение.

Древесина различных пород имеет неодинаковую прочность. Предел прочности древесины наиболее распространенных пород приведен в табл. 6.

Таблица 6

Физико-механические свойства древесины

Порода дерева	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объемной усушки	Предел прочности, МПа, вдоль волокон			
			при растяжении	при сжатии	при радиальном скалывании	при статическом изгибе
Хвойные:						
лиственница	660	0,52	125	64,5	9,9	111,5
сосна обыкновенная	500	0,44	103,5	46,5	7,5	86,0
ель	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
пихта сибирская	375	0,39	67	39	6,4	68,5
Лиственные:						
дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
береза	630	0,54	168	55,0	9,3	109,5
бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88,0
ольха	520	0,43	101	44,0	8,1	80,5
осина	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78,0

## 2.4. Защита древесины от разрушения

Срок службы древесины ограничивает ее склонность гнить и гореть. Кроме того, древесину повреждают насекомые. Только на ремонт и замену конструкций, разрушенных гниением, идет более 30 % всей расходуемой древесины.

Стойкость древесины против гниения зависит от ее породы и строения и подразделяется на четыре класса: I — стойкие: сосна, ясень, ядро дуба и лиственница; II — среднестойкие: ель, пихта, периферийная часть кедра, заболонь лиственницы, центральная зона бука; III — малостойкие: заболонь березы, бука, граба, дуба, клена; IV — нестойкие: ольха, осина, заболонь липы, центральная зона березы.

Дереворазрушающие бактерии и грибы могут повреждать древесину. Наиболее опасными являются домовые грибы.

Гниение происходит при благоприятных условиях — влажности древесины 20...60 % и температуре воздуха от +2 до +40 °С.

Предохраняет древесину от гниения сушка, антисептирование, а также различные конструктивные приемы, защищающие от увлажнения.

Атмосферная сушка выполняется на открытых складах или под навесами. Материал хранится в штабелях. Сушка считается законченной, если влажность материала достигла 20...22 %.

Тепловая сушка выполняется нагретыми газами в сушильных камерах при атмосферном давлении. Лесоматериалы размещаются в виде штабелей, после чего создается многократная циркуляция нагретого воздуха, газа или перегретого пара.

**Защита древесины от гниения.** Для предупреждения загнивания древесины принимают ряд конструктивных мер: изолируют ее от грунта, камня и бетона, устраивают специальные каналы для проветривания, защищают от атмосферных осадков, делают отливы у наружных оконных переплетов и т. п.

При применении древесины с влажностью более 20 % и если нет возможности предохранить от увлажнения конструктивными приемами, ее пропитывают антисептиками — химическими веществами, консервирующими древесину.

Антисептики должны быть токсичными к грибам, но безвредными для людей и животных, хранить токсичные свойства, не ухудшать физико-механические свойства древесины. Антисептики подразделяют на водорастворимые и водонерастворимые (маслянистые). Водорастворимые применяют в виде водных растворов и антисептических паст.

К водорастворимым антисептикам относят фторид натрия, кремнефторид натрия, кремнефторид аммония, хлорид цинка, антисептический препарат ХМХЦ.

Эти антисептики легко вымываются водой. Применяют их для конструкций, не смачиваемых водой (балки, прогоны, лаги и др.).

При начальной влажности древесины более 4 % и при защите конструктивных элементов, увлажняемых в процессе эксплуатации, применяют антисептические пасты. Они состоят из водорастворимого антисептика, связующего (битума, глины, жидкого стекла) и порошкообразного наполнителя (торфяного порошка).



К маслянистым антисептикам относят каменноугольное креозотовое и антраценовое масла, сланцевое масло, растворы пентохлорфенола в маслах.

Маслянистые антисептики применяют для глубокой пропитки шпал, конструкций мостов, воздушных опор. Из-за резкого запаха и высокой токсичности их нельзя использовать внутри жилых зданий, складов пищевых продуктов. Из-за огнеопасности не следует применять возле горючих мест.

Антисептирование древесины может выполняться следующими способами: поверхностное нанесение, пропитка в горяче-холодных ваннах, автоклавах, обработка пастами.

Поверхностное антисептирование применяют для временной защиты древесины от загнивания в конструкциях до высыхания. Раствор антисептика наносят на поверхность материала кистью или опрыскивателем.

Глубокая пропитка антисептиками производится в автоклавах и в горяче-холодных ваннах. Маслянистыми антисептиками в горяче-холодных ваннах пропитывают древесину с высокой влажностью открытых сооружений — шпал, опор, линий связи и электропередачи и др.

**Защита древесины от насекомых.** Поражают древесину насекомые-короеды, жуки-точильщики, жуки-усачи и их личинки. Они образуют ходы, называемые червоточинной.

Основные способы борьбы с насекомыми при хранении древесины на складах — соблюдение санитарных норм и своевременное окуливание круглого леса. При обнаружении насекомых на складах и при ремонтных работах древесину обрабатывают путем пропитки, опрыскивания, опыления инсектицидами — хлорофосом, хлороданом, и др.

В качестве профилактических мер в жилых помещениях древесину протирают 2–3 раза в год раствором фторида или кремнефторида натрия.

Для защиты древесины строящихся зданий и сооружений применяют каменноугольные и сланцевые масла, пентахлорфенол в органических растворителях.

**Защита древесины от возгорания.** Защищают древесину от возгорания конструктивными мерами или различными огнезащитными покрытиями или пропитками.

К конструктивным мерам относят: удаление деревянных элементов от источника нагревания, возведение несгораемых стен и перегородок.

В качестве огнезащитных покрытий применяется штукатурка, облицовка малотеплопроводными и несгораемыми материалами, например асбестовыми, окрашивание огнезащитными красками, нанесение обмазок. Пропитка выполняется антипиренами.

Огнезащитные краски по виду связующего компонента бывают силикатные, перхлорвиниловые, масляные, казеиновые.

Высокими огнезащитными свойствами обладает силикатная краска. Связующим служит жидкое (растворимое) стекло, наполнителями — кварцевый песок, мел, магнезит. При действии высокой температуры образуется стекловидная пленка, затрудняющая доступ кислорода к древесине.

Огнезащитные обмазки изготавливают из глины, извести, гипса, суперфосфата и

наносят слоем толщиной 2...3 мм. Ими защищают от возгорания стропила, обрешетку.

Лучшим огнезащитным средством являются антипирены — химические вещества, которые при нагревании выделяют негорючие газы и оттесняют кислород от нагреваемой древесины. В качестве антипиренов применяют буру, хлористый аммоний, фосфорнокислые натрий и аммоний, сернистый аммоний.

## 2.5. Виды материалов и изделий из древесины

Материалы из древесины, сохранившие ее природную физическую структуру, называют лесоматериалами или лесными сортаментами. Их подразделяют на необработанные (круглые) и обработанные (пиломатериалы, колотые лесоматериалы, шпон и др.).

Круглые лесоматериалы представляют собой очищенные от сучьев отрезки древесных стволов. В зависимости от диаметра верхнего торца круглые лесоматериалы подразделяют на бревна, подтоварник и жерди.

Бревна строительные и пиловочные должны иметь диаметр верхнего торца не менее 14 см и длину 4...6,5 м. Они должны быть ошкурены.

Строительные бревна из хвойных пород применяют для несущих конструкций жилых, промышленных и культурно-бытовых зданий, гидротехнических сооружений, а также для свай и пролетных строений деревянных мостов. Пиловочные бревна изготовляют из стволов хвойных и лиственных пород для получения различных пиломатериалов.

Подтоварник — часть ствола дерева с диаметром верхнего торца 8...13 см и длиной 3...9 м. Его используют в жилищном и сельскохозяйственном строительстве, а также для вспомогательных и временных сооружений.

Жерди имеют диаметр верхнего торца 3 см и длину 3...9 м. Их применяют для тех же целей, что и подтоварник.

Хранят круглые лесоматериалы в штабелях по породам, категориям и длине.

Пиломатериалы изготовляют путем продольной распиловки пиловочных бревен. По форме поперечного сечения различают следующие виды пиломатериалов: пластины, четвертины, горбыль, доски, брусья, бруски (рис. 5).

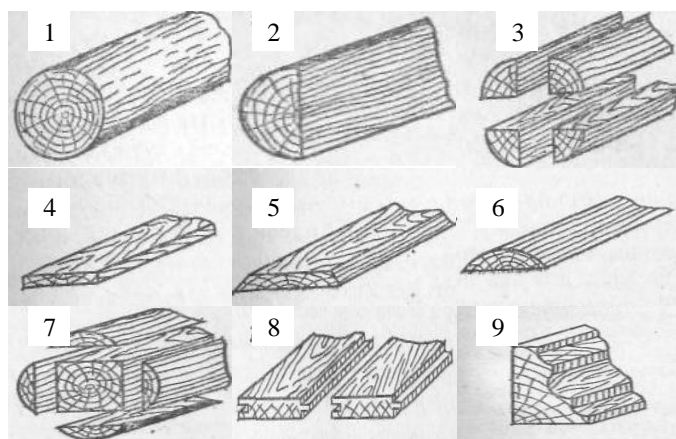


Рис. 5. Виды пиломатериалов:  
1 - пиловочные строительные бревна;  
2 - пластина; 3 - четвертины; 4 - обрезная доска; 5 - необрезная доска; 6 - горбыль;  
7 - брус; 8 - шпунтованные доски с пазом и гребнем; 9 - плинтус

Толщина досок 13...100 мм, ширина 80...250 мм. Доски хвойных пород имеют длину до 6,5 м, лиственных — до 5 м.

Бруски представляют собой пиломатериалы толщиной до 100 мм. Форма поперечного сечения брусков обычно близка к квадрату. Длина брусков та же, что и у досок. Из брусков изготавливают элементы деревянных конструкций, столярные изделия.

Брусья имеют толщину или ширину 100...250 мм. Строительные брусья применяют для устройства междуэтажных перекрытий, стропил и т. п.

**Изделия из древесины.** На основе древесины изготавливают широкую номенклатуру изделий, из которых основными являются *строганные погонажные изделия, изделия для паркетных полов, фанера и др.*

*Строганные погонажные изделия* — это доски для полов, шпунтованные доски, у которых на одной кромке имеется паз, на другой — гребень (выступ), что обеспечивает плотное соединение досок при устройстве полов; фальцевые доски, применяемые для обшивки стен и потолков. К этой группе изделий относят и профильные погонажные изделия, например плинтусы и галтели, используемые для заделки углов между полом и стенами, поручни для перил, наличники для оконных и дверных коробок, а также доски подоконников.

*Изделия для паркетных полов* включают штучный и мозаичный паркет, паркетные доски и щиты, художественный паркет. Его применяют в жилых и общественных зданиях.

*Штучный паркет* представляет собой планки, изготавливаемые из древесины дуба, бука, ясеня, клена, вяза, каштана, граба, березы, сосны, лиственницы. Длина планок — от 150 до 500 мм, ширина — от 30 до 90 мм, толщина из лиственных пород составляет 15 мм, из хвойных — 18 мм.

*Мозаичный паркет* изготавливается из квадратов, укладываемых в шахматном порядке. Квадраты набираются из планок.

*Паркетные доски* составляют из реечного основания, на которое наклеивают водостойкими клеями паркетные планки. Применяют паркетные доски в жилых зданиях.

Паркетные щиты состоят из основания, на которое наклеивают лицевое покрытие из паркетных планок или квадратов шпона. Размеры щитов 400×400, 475×475, 600×600, 800×800 мм, при толщине 30 мм.

*Художественный паркет* — щитовой паркет на рамке из брусков. Покрытие делают из древесины ценных пород. Рисунок выполняют из отдельных планок (маркетри) или врезают вставки из других пород (инкрустация).

*Кровельные материалы* из древесины включают кровельные плитки, гонт, кровельную дрань, кровельную стружку.

*Кровельная плитка* — клинообразные дощечки длиной от 400 до 600 мм, шириной до 70 мм со скосом вдоль волокон. Толщина плитки: толстого конца — 13, тонкого — 3 мм. Изготавливают их из древесины сосны, ели, пихты, кедра, осины.

*Гонт* — клинообразные дощечки с пазом по длине вдоль толстой кромки.

Длина их составляет от 500 до 700 мм, ширина — от 70 до 120 мм. Толщина толстой кромки 15 мм, тонкой — 3 мм.

*Кровельную дрань* изготавливают раскалыванием отрезка ствола (чурака). Имеет длину от 400 до 1000 мм, ширину — от 90 до 130 мм, толщину — 3...5 мм, изготавливают ее из древесины хвойных пород.

*Кровельную стружку* (щепу) изготавливают строганием коротких отрезков древесины хвойных и мягких лиственных пород. Она имеет длину 400, 450, 500 мм, ширину — от 70 до 120 мм и толщину 3 мм.

Применяют кровельные материалы из древесины для устройства кровель зданий в сельской местности.

*Дрань штукатурная* имеет длину от 1 до 2,5 м, ширину — от 12 до 30 мм и толщину — от 2 до 5 мм. Применяют для подготовки деревянных поверхностей под штукатурку.

Для изготовления фанеры, столярных плит, облицовки поверхностей изделий из древесины применяют древесный шпон.

*Шпон* представляет собой тонкие листы древесины. Имеет толщину от 0,3 до 4 мм. Изготавливают его из древесины березы, ольхи, дуба, ясеня, сосны, лиственницы и др.

*Фанера* подразделяется на обычную, декоративную, бакелизованную.

*Обычная фанера* представляет собой слоистый материал, получаемый склеиванием трех или более листов шпона. Толщина ее составляет от 1,5 до 18 мм. Для склеивания применяют фенолоформальдегидный, карбамидный, альбуминоказеиновый клеи. Фанеру, склеенную водостойким фенолоформальдегидным клеем, применяют для обшивки наружных стен, устройства опалубки, изготовления несущих конструкций; на других клеях — для облицовки стен, потолков, устройства перегородок внутри помещений.

*Фанера декоративная* изготавливается с пленочным покрытием с одной или двух наружных сторон. Отдельные марки отделяют декоративной бумагой. Применяют ее для изготовления мебели, столярных панелей, перегородок.

*Бакелизованную фанеру* изготавливают из листов березового шпона, склеенного водостойким клеем. Она имеет повышенную прочность, водо- и атмосферостойкость. Применяют для изготовления легких конструкций.

*Столярные плиты* состоят из реек, оклеенных с двух сторон шпоном или фанерой. Применяют их для устройства дверей, перегородок, мебели.

К столярным изделиям относят оконные, балконные и дверные блоки, подоконные доски, столярные перегородки.

*Оконный блок* состоит из коробки и переплетов. Переплеты имеют створки, могут иметь фрамугу и форточку.

*Балконный блок* состоит из коробки и полотен. Применяют их для жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий.

*Дверной блок* состоит из коробки и полотна. Применяют для жилых, общественных, производственных и вспомогательных зданий и сооружений.

*Подоконные доски* изготавливаются из цельной древесины или клееными. Имеют длину от 700 до 2800 мм, ширину — от 144 до 450 мм и толщину — 34 и 42 мм. Изготавливают их в основном из древесины хвойных пород.

*Столярные перегородки* бывают филенчатые и щитовые. Филенчатые состоят из обвязки и филенок, щитовые изготавливают из столярных плит.

К клееным дощатым и фанерным конструкциям относят балки, рамы, арки.

Клееные дощатые балки получают склеиванием досок. Применяют их в покрытиях производственных зданий.

Для склеивания древесины применяют, в основном, фенолоформальдегидные, карбамидные и поливинилацетатные клеи.

## **2.6. Хранение древесины**

При хранении на складах древесину укладывают в штабеля отдельно по породам, причем круглую отдельно от пиленной. Древесину с признаками загнивания следует складывать на отдельном участке, предварительно очистив ее и пропитав антисептиком.

Штабеля для леса укладывают на основание высотой 40 см от земли. Высота штабеля леса не должна превышать 2 м.

Торцы бревен, досок и брусьев следует закрывать замазкой, причем торцы древесины лиственных пород, укладываемой на длительное хранение, необходимо покрывать известковой замазкой в составе извести и воды по весу равными частями с добавлением 5 % клея. Штабеля пиломатериалов покрывают односкатным временным покрытием из досок со свесами до полметра за края штабеля.

### 3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 3.1. Общие сведения

Сырьевой базой для промышленности строительных материалов являются горные породы. Их применяют для изготовления неорганических вяжущих веществ, керамических материалов, стекла, щебня, гравия, песка в дорожном строительстве и для приготовления бетонов и растворов, облицовки зданий, сооружений и многих других целей.

**Горными породами** называют минеральные массы, образующие геологические тела. Они состоят из минералов.

**Минералами** называют составные части горных пород, однородные по химическому составу и физическим свойствам. Если горная порода состоит из одного минерала, она называется **мономинеральной**, если из двух и более — **полиминеральной**.

В зависимости от условий образования горные породы подразделяют на три вида: первичные — **изверженные**, вторичные — **осадочные**, видоизмененные — **метаморфические**.

#### 3.2. Породообразующие минералы

В настоящее время известно около 5000 минералов. В образовании же горных пород преимущественно участвуют 25 минералов. Их называют породообразующими минералами.

**Минералы группы кремнезема.** К минералам этой группы относят кварц. Он может находиться как в кристаллической, так и аморфной форме.

**Кристаллический кварц** в виде диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  — один из самых распространенных минералов в природе. Средняя плотность его составляет  $2,65 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии — до 200 МПа, твердость — 7 (по шкале Мооса), имеет высокую химическую стойкость.

**Аморфный кремнезем** встречается в виде опала  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Он вступает в химическое взаимодействие со щелочами при обычной температуре. Применение его в бетонах в качестве заполнителей может привести к их разрушению через 10...15 лет.

**Минералы группы алюмосиликатов** — полевые шпаты, слюды, каолиниты.

**Полевые шпаты** составляют 58 % всей литосферы и являются самыми распространенными минералами. Разновидностями их являются ортоклаз и плагиоклазы.

Ортоклаз — калиевый полевой шпат —  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ . Имеет среднюю плотность  $2,57 \text{ г/см}^3$ , твердость — 6...6,5. Является основной частью гранитов, сиенитов.

Плагиоклазы — минералы альбит и анортит.

Альбит — натриевый полевой шпат —  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ . Имеет плотность  $2,6 \text{ г/см}^3$ , твердость — 6...6,5.

Анортит — кальциевый полевой шпат —  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ . Его плотность —  $2,75 \text{ г/см}^3$ , твердость — 6...6,5.

Плагиоклазы входят в состав кислых и основных горных пород.

Предел прочности полевых шпатов при сжатии составляет 120...170 МПа. Они выветриваются под воздействием воды, содержащей углекислоту, в результате чего образуется каолинит.

**Слюды** — водные алюмосиликаты слоистого строения, способные расщепляться на тонкие пластинки. Наиболее часто встречаются два вида — мусковит и биотит. Мусковит — калиевая бесцветная слюда. Обладает высокой химической стойкостью, тугоплавка. Биотит — железисто-магнезиальная слюда черного или зелено-черного цветов.

Слюды имеют твердость 2...3. Мусковит встречается в изверженных и осадочных породах, биотит — только в изверженных.

Водной разновидностью слюды является вермикулит. Он образован из биотита в результате воздействия гидротермальных процессов.

Слюды понижают прочность горных пород и ускоряют их выветривание.

**Каолинит** —  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  — минерал, получаемый в результате разрушения полевых шпатов и слюд. Залегают в виде землистых рыхлых масс.

**Железисто-магнезиальные силикаты.** Минералами этой группы являются пироксены, амфиболы и оливин.

К **пироксенам** относят авгит, входящий в состав габбро, к **амфиболам** — роговую обманку, входящую в состав гранитов.

**Оливин** входит в состав диабазов и базальтов. Продукт выветривания оливина — хризотил-асбест.

Эти минералы являются силикатами магния и железа и имеют темную окраску. Они обладают высокой ударной вязкостью и стойкостью против выветривания.

**Минералы группы карбонатов.** К ним относят кальцит, магнезит, доломит. Они входят в состав осадочных горных пород.

**Кальцит** —  $CaCO_3$  — имеет среднюю плотность 2,7 г/см<sup>3</sup>, твердость — 3. Входит в состав известняков, мраморов, травертинов.

**Магнезит** —  $MgCO_3$  — имеет среднюю плотность 3,0 г/см<sup>3</sup>, твердость — 3,5...4. Образует породу с тем же названием.

**Доломит** —  $CaCO_3 \cdot MgCO_3$  — имеет плотность 2,8...2,9 г/см<sup>3</sup>, твердость — 3,5...4. По свойствам занимает среднее положение между кальцитом и магнезитом. Входит в состав мраморов. Образует породу с таким же названием.

**Минералы группы сульфатов** — гипс и ангидрит.

**Гипс** —  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  — имеет среднюю плотность 2,3 г/см<sup>3</sup>, твердость — 1,5...2,0, цвета — белый, серый, красноватый. Строение — кристаллическое. Хорошо растворяется в воде. Образует породу — гипсовый камень.

**Ангидрит** —  $CaSO_4$  — имеет среднюю плотность 2,9...3 г/см<sup>3</sup>, твердость — 3...3,5, строение — кристаллическое. При насыщении водой переходит в гипс.

### 3.3. Горные породы

#### 3.3.1. Изверженные горные породы

Изверженные горные породы подразделяют на глубинные, излившиеся и обломочные.

**Глубинные породы** образовались в результате остывания магмы в недрах земной коры. Затвердевание происходило медленно и под давлением. В этих условиях расплав полностью кристаллизовался с образованием крупных зерен минералов.

К главным глубинным породам относят гранит, сиенит, диорит и габбро.

**Гранит** состоит из зерен кварца, полевого шпата (ортоклаза), слюды или железисто-магнезиальных силикатов. Имеет среднюю плотность  $2,6 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии —  $100...300 \text{ МПа}$ . Цвета — серый, красный. Он обладает высокой морозостойкостью, малой истираемостью, хорошо шлифуется, полируется, стоек против выветривания. Применяют его для изготовления облицовочных плит, архитектурно-строительных изделий, лестничных ступеней, щебня.

**Сиенит** состоит из полевого шпата (ортоклаза), слюды и роговой обманки. Кварц отсутствует или имеется в незначительном количестве. Средняя плотность составляет  $2,7 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии — до  $220 \text{ МПа}$ . Цвета — светло-серый, розовый, красный. Он обрабатывается легче, чем гранит, применяют для тех же целей.

**Диорит** состоит из плагиоклаза, авгита, роговой обманки, биотита. Средняя плотность его составляет  $2,7...2,9 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии —  $150...300 \text{ МПа}$ . Цвета — от серо-зеленого до темно-зеленого. Он стоек против выветривания, имеет малую истираемость. Применяется для изготовления облицовочных материалов, в дорожном строительстве.

**Габбро** — кристаллическая порода, состоящая из плагиоклаза, авгита, оливина. Имеет среднюю плотность  $2,8...3,1 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии — до  $350 \text{ МПа}$ . Цвета — от серого или зеленого до черного. Применяют для облицовки цоколей, устройства полов.

**Излившиеся горные породы** образовались при остывании магмы на небольшой глубине или на поверхности земли. В результате быстрого охлаждения прекратился рост кристаллических зерен и возникла полукристаллическая зернистая или стекловидная структура. К излившимся породам относят порфиры, диабаз, трахит, андезит, базальт.

**Порфиры** являются аналогами гранита, сиенита, диорита. Средняя плотность составляет  $2,4...2,5 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии —  $120...340 \text{ МПа}$ . Цвета — от красно-бурого до серого. Структура — порфировидная, т.е. с крупными вкраплениями в мелкозернистую структуру, чаще всего ортоклаза или кварца. Их применяют для изготовления щебня, декоративно-подделочных целей.

**Диабаз** является аналогом габбро, имеет кристаллическую структуру. Средняя плотность его составляет  $2,9...3,1 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии —  $200...300 \text{ МПа}$ , цвета — от темно-серого до черного. Применяют для наружной облицовки зданий, изго-



товления бортовых камней, для каменного литья, в виде щебня для кислотоупорных футеровок.

**Трахит** является аналогом сиенита. Имеет тонкопористое строение. Средняя плотность его составляет  $2,2 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии —  $60...70 \text{ МПа}$ . Окраска — светло-желтая или серая. Применяют для изготовления стеновых материалов, крупного заполнителя для бетона.

**Андезит** является аналогом диорита. Имеет среднюю плотность  $2,9 \text{ г/см}^3$ , прочность при сжатии —  $140...250 \text{ МПа}$ , окраску — от светлой до темно-серой. Применяют в строительстве — для изготовления ступеней, облицовочного материала, как кислотоустойчивый материал.

**Базальт** — аналог габбро. Имеет стекловидную или кристаллическую структуру. Средняя плотность его составляет  $2,7...3,3 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии — от  $50$  до  $300 \text{ МПа}$ . Цвета — темно-серый или почти черный. Применяют для изготовления бортовых камней, облицовочных плит, щебня для бетонов, для изготовления каменных литых материалов, базальтового волокна.

**Обломочные породы** представляют собой выбросы вулканов. В результате быстрого охлаждения магмы образовались породы стекловидной пористой структуры.

**Вулканические пеплы** — порошкообразные частицы вулканической лавы размером до  $1 \text{ мм}$ . Более крупные частицы размером от  $1$  до  $5 \text{ мм}$  называют **песком**. Пеплы применяют как активную минеральную добавку в вяжущие, пески — в качестве мелкого заполнителя для легких бетонов.

**Пемза** — пористая порода ячеистого строения, состоящая из вулканического стекла. Пористая структура образовалась в результате воздействия газов и паров воды на остывавшую лаву, средняя плотность составляет  $0,15...0,5 \text{ г/см}^3$ , пористость — до  $80 \%$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,13...0,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ , предел прочности при сжатии —  $2...3 \text{ МПа}$ . Применяют ее в виде заполнителей для легких бетонов, теплоизоляционных материалов, в качестве активной минеральной добавки для извести и цементов.

**Вулканические туфы** — пористые стекловидные породы, образовавшиеся в результате уплотнения вулканических пеплов и песков. Средняя плотность составляет  $1,25...1,35 \text{ г/см}^3$ , пористость —  $40...70 \%$ , предел прочности при сжатии —  $8...20 \text{ МПа}$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,21...0,33 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . Цвета — розовый, желтый, оранжевый, голубовато-зеленый. Применяют их в качестве стенового материала, облицовочных плит для внутренней и наружной облицовки зданий.

### 3.3.2. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы по условиям образования подразделяют на обломочные (механические отложения), химические осадки и органогенные.

**Обломочные породы** образовались в результате физического выветривания, т.е. воздействия ветра, воды, знакопеременных температур. Их подразделяют на рыхлые и сцементированные. К рыхлым относят песок, гравий, глину.

**Песок** представляет собой смесь зерен с размером частиц от 0,1 до 5 мм, образовавшуюся в результате выветривания изверженных и осадочных горных пород.

**Гравий** — горная порода, состоящая из округлых зерен от 5 до 150 мм различного минералогического состава. Применяют для бетонов и растворов, в дорожном строительстве.

**Глины** — тонкообломочные породы, состоящие из частиц мельче 0,01 мм. Цвета — от белого до черного. По составу подразделяют на каолиновые и монтмориллонитовые. Являются сырьем для керамической и цементной промышленности.

К сцементированным осадочным горным породам относят песчаник, конгломерат и брекчию.

**Песчаник** — горная порода, состоящая из сцементированных зерен кварцевого песка. Природными цементами служат глина, кальцит, кремнезем. Средняя плотность кремнистого песчаника составляет 2,5...2,6 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — 100...250 МПа. Применяют для изготовления щебня, облицовки зданий и сооружений.

**Конгломерат и брекчия.** Конгломерат — горная порода, состоящая из зерен гравия, сцементированных природным цементом; брекчия — из сцементированных зерен щебня. Средняя плотность их составляет 2,6...2,85 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — 50...160 МПа. Применяют конгломерат и брекчию для покрытия полов, изготовления заполнителей для бетона.

**Химические осадки** образовались в результате выпадения солей при испарении воды в водоемах. К ним относят гипс, ангидрит, магнезит, доломит и известковые туфы.

**Гипс** состоит в основном из минералов гипса — CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O. Это порода белого или серого цвета. Применяют для изготовления гипсовых вяжущих веществ и для облицовки внутренних частей зданий.

**Ангидрит** включает минералы ангидрита — CaSO<sub>4</sub>. Цвета — светлые с голубовато-серыми оттенками. Применяют там же, где и гипс.

**Магнезит** состоит из минерала магнезита — MgCO<sub>3</sub>. Применяют его для изготовления вяжущего каустического магнезита и огнеупорных изделий.

**Доломит** включает минерал доломита — CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub>. Цвет — серо-желтый. Применяют для изготовления облицовочных плит и внутренней облицовки, щебня, огнеупорных материалов, вяжущего вещества — каустического доломита.

**Известковые туфы** состоят из минерала кальцита — CaCO<sub>3</sub>. Это пористые породы светлых тонов. Имеют среднюю плотность 1,3...1,6 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — 15...80 МПа. Из них изготавливают штучные камни для стен, облицовочные плиты, легкие заполнители для бетонов, известь.

**Органогенные породы** образовались в результате жизнедеятельности и отмирания организмов в воде. К ним относят известняки, мел, диатомит, трепел.

**Известняки** — горные породы, состоящие в основном из кальцита — CaCO<sub>3</sub>. Могут содержать примеси глины, кварца и других соединений. Образовались в водных бас-

сейнах из остатков животных организмов и растений. По структуре известняки подразделяют на плотные, пористые, мраморовидные, ракушечниковые и другие.

Плотные известняки имеют среднюю плотность  $2,0...2,6$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии —  $20...50$  МПа; пористые — среднюю плотность  $0,9...2,0$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — от  $0,4$  до  $20$  МПа. Цвета — белый, светло-серый, желтоватый. Применяют их для изготовления облицовочных плит, архитектурных деталей, щебня, в качестве сырья для цемента, извести.

**Известняк-ракушечник** состоит из раковин моллюсков и их обломков. Это пористая порода со средней плотностью  $0,9...2,0$  г/см<sup>3</sup>, с пределом прочности при сжатии  $0,4...15,0$  МПа. Применяют для изготовления стеновых материалов и плит для внутренней и наружной облицовки зданий.

**Мел** — горная порода, состоящая из кальцита —  $\text{CaCO}_3$ . Образована раковинами простейших животных организмов. Цвет — белый. Применяется для приготовления красочных составов, замазки, изготовления извести, цемента.

**Диатомит** — горная порода, состоящая из аморфного кремнезема. Образована мельчайшими панцирями диатомовых водорослей и скелетами животных организмов. Средняя плотность —  $0,4...1,0$  г/см<sup>3</sup>. Цвет — белый с желтоватым или серым оттенком.

**Трепел** — сходная с диатомитом порода, но более раннего образования. Сложена, в основном, из опала и халцедона. Применяют диатомит и трепел для изготовления теплоизоляционных материалов, легкого кирпича, активных добавок в вяжущие вещества.

### 3.3.3. Метаморфические горные породы

К метаморфическим горным породам относят гнейсы, глинистые сланцы, кварцит, мрамор.

**Гнейсы** — породы, образовавшиеся из гранитов. Средняя плотность составляет  $2,5...2,6$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии —  $129...300$  МПа. Цвета — серый, розовый, красный. Применяют их для изготовления облицовочных плит, бутового камня.

**Глинистые сланцы** — породы, образовавшиеся из глины. Средняя плотность составляет  $2,7...2,9$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии —  $60...120$  МПа. Цвета — темно-серый, черный. Применяют для изготовления облицовочных и кровельных материалов.

**Кварцит** — мелкозернистая порода, образовавшаяся из кремнистых песчаников. Средняя плотность составляет  $2,5...2,7$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — до  $400$  МПа. Цвета — серый, розовый, желтый, темно-вишневый, малиново-красный и др. Применяют для облицовки зданий, архитектурно-строительных изделий, в виде щебня.

**Мрамор** — горная порода, образовавшаяся из известняков и доломитов. Средняя плотность составляет  $2,7...2,8$  г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии —  $40...170$  МПа. Окраска — белая, серая, цветная. Он легко распиливается, шлифуется, полируется. Применяют для изготовления архитектурных изделий, облицовочных плит, в качестве заполнителя для декоративных растворов и бетонов.

### 3.4. Добыча и обработка каменных материалов

Горные породы для изготовления каменных материалов разрабатывают, в основном, открытым способом в карьерах.

Рыхлые породы (песок, гравий) добывают одно- или многоковшовыми экскаваторами и гидромеханизированным способом.

Бутовый камень и щебень получают из горных пород, добываемых взрывным способом.

Дробление щебня выполняют на дробильно-сортировочных установках.

Штучные изделия получают из блоков-полуфабрикатов размером 4...5 м или вырезают из горных массивов специальными камнерезными машинами.

Блоки-полуфабрикаты отделяют от горного массива взрывным или механическим способами, а также вручную — при помощи клиньев или реактивно-струйным способом, разрезая газовой струей с температурой выше 2500 °С, получаемой сгоранием керосина в кислороде. Затем их распиливают или раскалывают. Распиловку на плиты выполняют рамными, канатными или дисковыми пилами. Этим способом получают облицовочные плиты, подоконные доски, ступени и пр. При помощи раскалывания изготавливают облицовочные плиты, бортовые камни, брусчатку.

Мягкие породы, такие как известняк-ракушечник, туф, применяемые для изготовления стеновых материалов, разрабатывают камнерезными дисковыми или канатными машинами.

Штучные изделия имеют различные фактуры, которые регламентируются стандартами. Их подразделяют на абразивные и скалывания. К абразивным фактурам относят пиленую, шлифованную, полированную. К фактурам скалывания — “скалу”, бугристую, рифленую, точечную.

Шлифованная фактура образуется при обработке поверхности шлифовальным инструментом. Получается равномерно-шероховатая поверхность с небольшими следами, оставшимися после пиления, или без видимых следов обработки — тонкошлифованной фактуры.

Полированная фактура образуется после обработки поверхности полировочными порошками — оксидом хрома или железа, порошком пемзы и др.

Фактура “скала” имеет грубый рельеф лицевой поверхности. Образуется в результате раскалывания камня с дополнительным околком по периметру лицевой грани.

Бугристая фактура имеет чередования бугров и впадин, получаемые обработкой поверхности шпунтом или узкой скарпелью.

Рифленая фактура с шероховатой поверхностью и параллельными бороздами глубиной до 3 мм получается путем обработки поверхности дисковыми пилами.

Бороздчатая фактура с прерывистыми бороздами глубиной до 2...3 мм и шероховатой поверхностью получается при обработке поверхности пластинчатой бучардой и фрезой.

Точечная фактура получается при обработке поверхности крестовой бучардой.

### 3.5. Материалы и изделия из природного камня

#### 3.5.1. Технические требования к материалам и изделиям

Важнейшими характеристиками природных каменных материалов являются средняя плотность, прочность при сжатии, истираемость, износ, морозостойкость, водостойкость, теплопроводность.

По средней плотности каменные материалы подразделяют на тяжелые, со средней плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  и более, и легкие, со средней плотностью менее  $1800 \text{ кг/м}^3$ . Тяжелые применяют в дорожном строительстве, для изготовления облицовочных материалов, полов, легкие — для изготовления стеновых материалов, в качестве легких заполнителей для бетонов. По прочности при сжатии они имеют марки 0,4; 0,7; 1; 1,5; 2,5; 3,5; 5,0; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 30; 40; 50; 60; 80; 100, что соответствует пределу прочности породы при сжатии, в МПа, в сухом состоянии. По морозостойкости каменные материалы делят на марки 10; 15; 25; 35; 50; 100; 150; 200; 300; 500, по водостойкости — на группы с коэффициентом размягчения  $K_p$  не ниже 0,6; 0,75; 0,9 и 1,0. Для стеновых материалов важнейшей характеристикой является коэффициент теплопроводности.

#### 3.5.2. Основные виды природных каменных материалов и изделий

Природные каменные материалы подразделяют на сырьевые и готовые материалы и изделия.

К сырьевым материалам относят щебень, гравий и песок, применяемые в качестве заполнителей для бетонов и растворов; известняк, мел, гипс, доломит, магнезит, глина, мергели и другие горные породы — для изготовления строительной извести, гипсовых вяжущих, магнезиальных вяжущих, портландцементов.

Готовые каменные материалы и изделия подразделяют на материалы и изделия для дорожного строительства, стен и фундаментов, облицовки зданий и сооружений.

К каменным материалам для дорожного строительства относят щебень, гравий, песок, булыжный, колотый, брусчатый и бортовые камни. Их получают из изверженных и прочных осадочных горных пород.

**Булыжный камень** представляет собой зерна горной породы с овальными поверхностями размером до 300 мм.

**Колотый камень** должен иметь форму, близкую к многогранной призме или усеченной пирамиде с размером основания и высотой 100...200 мм. Верхняя и нижняя плоскости камня должны быть параллельными.

Колотый камень изготавливают из хорошо обрабатываемых горных пород с пределом прочности при сжатии не менее 100 МПа. Булыжный и колотый камни применяют для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог, крепления откосов насыпей, каналов.

**Камень брусчатый для дорожных покрытий** имеет форму прямоугольного параллелепипеда длиной 250, шириной 100...125 и высотой 100...160 мм. Верхняя и нижняя плоскости камня параллельны. Изготавливают его из гранита, базальта, диабазы и других горных пород с пределом прочности при сжатии 200...400 МПа. Применяют для мощения площадей, улиц.

**Камни бортовые** из горных пород применяют для отделения проезжей части дорог от разделительных полос тротуаров, пешеходных дорожек и тротуаров от газонов. По способу изготовления подразделяют на пиленные и колотые. Имеют высоту от 200 до 600, ширину от 80 до 200 и длину от 700 до 2000 мм.

**Щебень** представляет собой рыхлый материал, полученный дроблением скальных горных пород с прочностью 80...120 МПа. При размере зерен от 5 до 40 мм его применяют для черного щебня и асфальтобетона при строительстве автомобильных дорог, щебень с зернами от 5 до 60 мм служит для устройства балластного слоя железнодорожного пути.

**Гравий** — рыхлый материал, образовавшийся при естественном разрушении горных пород. Имеет окатанную форму. Для изготовления черного гравия применяют гравий с размером зерен от 5 до 40 мм, а для асфальтобетона его обычно дробят на щебень.

**Песок** — рыхлый материал с размерами зерен от 0,16 до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения или полученный искусственным дроблением горных пород. Применяют его для подстилающих слоев дорожных одежд, приготовления асфальтовых и цементных бетонов и растворов.

К каменным материалам и изделиям для фундаментов и стен относят бутовый камень, камни стеновые из горных пород, крупные стеновые блоки.

**Бутовый камень** представляет собой штучный камень размером 150...500 мм и массой 20...40 кг.

Получают бутовый камень из изверженных, осадочных и метаморфических горных пород. Применяют для устройства бутовых и бутобетонных фундаментов, подземных стен, стен неотапливаемых зданий.

**Камни стеновые из горных пород** — материал в виде прямоугольного параллелепипеда размером 390×190×188, 490×240×188 и 390×190×288 мм. Изготавливают из горных пород со средней плотностью до 2200 кг/м<sup>3</sup> в основном из известняков и туфов. Применяют для кладки стен, перегородок и других частей зданий и сооружений.

**Крупные стеновые блоки** изготавливают выпиливанием из горных пород средней плотностью до 2200 кг/м<sup>3</sup>. Это вулканические туфы, известняк, доломиты. Применяют их для кладки наружных стен.

К облицовочным материалам и изделиям из природного камня относят плиты облицовочные пиленые, архитектурно-строительные изделия, плиты декоративные.

**Плиты облицовочные пиленые** из природного камня получают распиливанием каменных блоков. Они имеют длину от 150 до 1500, ширину от 150 до 1200 и толщину от 8 до 30 мм. Применяют их для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений. Для облицовки стен изготавливают плиты из гранита, сиенита, базальта, мрамора, известняка, песчаника, туфа и других горных пород. Настилка полов выполняется плитами из гранита, лабродорита и реже мрамора.

**Архитектурно-строительные изделия** из природного камня получают из блоков или непосредственным выпиливанием из горных пород. Предназначены для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений, устройства парапетов, ограждений лестниц. Изготавливают их из гранита, мрамора, плотного известняка, доломита, песчаника и других горных пород.

**Цокольные пиленые и колотые блоки** имеют длину от 500 до 1500, ширину — от 200 до 1200, толщину от 40 до 60 для пиленых и от 100 до 300 мм для колотых. Фактура поверхности может быть пиленая, шлифованная, полированная, “скала”, точечная.

**Накрывочные пиленые и колотые плиты** имеют длину от 500 до 1500, ширину от 200 до 500 и толщину от 15 до 40 для пиленых и от 100 до 150 мм для колотых. Фактура такая же, как и для цокольных плит, за исключением “скалы”.

**Подоконные пиленые плиты** имеют длину от 600 до 1500, ширину от 220 до 400 и толщину от 20 до 40 мм со шлифованной или полированной фактурами.

**Цельные пиленые и колотые ступени** изготавливают длиной от 600 до 1500, шириной от 260 до 400 и толщиной от 80 до 120 у пиленых и от 120 до 200 мм у колотых. Фактура поверхности может быть пиленая, шлифованная, полированная. У колотых ступеней — точечная.

**Проступи пиленые** имеют длину от 600 до 1500, ширину от 300 до 400 и толщину от 20 до 40 мм. Фактура поверхности — пиленая, шлифованная, полированная, термообработанная или точечная.

**Парапеты пиленые прямые и криволинейные** изготавливают длиной от 500 до 1500, шириной от 80 до 200 и высотой от 500 до 1200 мм, парапеты колотые — длиной от 500 до 1500, шириной от 200 до 400 и высотой от 500 до 1200 мм. Имеют пиленую, шлифованную, полированную или точечную фактуру.

**Плиты декоративные** на основе природного камня получают из природного камня и неорганических или полимерных связующих. Изготавливают с мозаичной, брекчиевидной или орнаментной поверхностью. Имеют прямоугольную форму длиной от 200 до 1500, шириной от 200 до 1200 и толщиной от 10 до 40 мм. Предназначены для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений.

### 3.6. Защита, транспортирование и хранение природных каменных материалов

Каменные материалы в условиях службы в конструкциях и сооружениях могут подвергаться медленному разрушению. Этот процесс по аналогии с разрушением горных пород на земной поверхности называют *выветриванием*. Основные причины разрушения каменных материалов в сооружениях:

— растворяющее действие воды, усиливающееся растворенными в ней газами (SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> и др.);

— замерзание воды в порах и трещинах, сопровождающееся появлением в материале больших внутренних напряжений;

— резкое изменение температур, вызывающее появление на поверхности материала микротрещин.

Все мероприятия по защите каменных материалов от выветривания направлены на повышение их поверхностной плотности и на предохранение от воздействия влаги.

Стойкость материалов против выветривания можно повысить конструктивными мерами, к числу которых относят обеспечение хорошего стока воды и придание камням плотной и гладкой поверхности, например зеркальной. Стойкость против выветривания пористых материалов существенно повышается при создании на их лицевой поверхности плотного водонепроницаемого слоя или гидрофобизацией.

Во время транспортирования и хранения природных каменных материалов и изделий из них необходимо соблюдать меры, исключающие их механическое повреждение, загрязнение и увлажнение.

Облицовочные плиты перевозят в прочной таре, приспособленной для механизированной погрузки и разгрузки. При транспортировке плиты следует устанавливать в вертикальном положении попарно лицевыми поверхностями внутрь с прокладкой между ними бумаги и закреплять клиньями.

Камни облицовочные и ступени укладывают рядами, используя деревянные прокладки. Плиты для полов хранят уложенными на длинное ребро в один ряд по высоте.

Бутовый камень хранят навалом на открытой площадке в прямоугольных штабелях объемом до 200 м<sup>3</sup> и высотой 1 м. Мелкие камни засыпают внутрь штабеля.



## 4. ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 4.1. Керамические материалы и их классификация

**Керамическими** называют изделия и материалы, получаемые из глиняных масс или из их смесей с минеральными добавками путем формования, сушки и обжига при температуре 900...1300 °С. В результате обжига глиняная масса превращается в искусственный керамический камень, обладающий высокой прочностью и плотностью, водостойкостью, водонепроницаемостью, морозостойкостью и долговечностью.

Высокая прочность, долговечность и большой ассортимент изделий дают возможность широко использовать их во всех частях зданий и сооружений — от фундамента до кровли. Поэтому в зависимости от назначения керамические материалы и изделия можно разделить на следующие группы:

**стенные материалы и изделия** — кирпич обыкновенный пластического формования и полусухого прессования, кирпич и плиты пустотелые и пористопустотелые, камни пустотелые пластического формования, кирпич строительный легкий, крупные блоки из кирпича и камней, панели из кирпича и камней;

**отделочные материалы** — кирпич и камни лицевые (фасадные), плитки облицовочные фасадные натурального цвета, ангобированные, глазурованные, фаянсовые плитки и встроенные детали для облицовки внутренних стен, разные отделочные материалы;

**материалы для перекрытий и покрытий** — камни пустотелые ненесущие и несущие, балки, балочные настилы, панели для перекрытий и покрытий, керамические доски;

**кровельные материалы** — черепица ленточная, штампованная, коньковая и специальной формы;

**материалы для полов и дорог** — кирпич и плиты клинкерные, плитки для полов;

**теплоизоляционные материалы и заполнители для легких бетонов** — керамзитовый гравий, пустотелый гравий, аглопорит, вспученные перлитовые щебень и песок, вспученный вермикулит, укрупненные легкие изделия на основе вспученных материалов;

**изделия и материалы различного назначения** — трубы, санитарно-технические изделия, огнеупорные материалы, кислотоупорные изделия, электроизоляционные изделия, отопительные радиаторы, кафель печной, фасонные строительные изделия, керамический щебень.

### 4.2. Сырье для получения керамических материалов и изделий

Основным сырьем для производства керамических материалов и изделий являются монтмориллонитовые и каолиновые глины.

Положительными свойствами глин являются: пластичность, изменение прочности при изменении влажности, спекаемость (переход в керамический камень). Отрицательной особенностью глин является значительная усадка при сушке и обжиге (10...15 %).

Для придания глине хорошей формуемости, а керамическим изделиям требуемых свойств в глину вводят различные добавки.

**Отощающие добавки.** Непластичные вещества. Их вводят в пластичные глины для уменьшения количества воды, необходимой для получения легкоформуемого глиняного теста, что в итоге сокращает усадку до 2...6 %. В качестве отощающих добавок чаще всего применяют *кварцевый песок, шамот* (обоженная и измельченная глина), *бой изделий, молотый шлак и золу*.

**Пластифицирующие добавки.** Их вводят с целью повышения пластичности формовочных смесей. К ним относятся высокопластичные глины, бентониты, поверхностно-активные вещества.

**Порообразующие добавки.** Органические выгорающие 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.

### 4.3. Производство керамических материалов и изделий

Производственный процесс состоит из следующих основных этапов: добыча глины в карьерах; подготовка массы; формование изделий из приготовленной массы; сушка отформованных изделий; обжиг высушенных изделий.

**Подготовка массы.** Заключается в обогащении, дроблении, тонком помоле материалов, увлажнении и перемешивании массы. Подготовленные материалы керамической массы тщательно смешивают.

**Формование изделий сырца.** Различают три способа формования: пластический, полусухой и шликерный.

*Пластический способ формования ориентирован на использование формовочных смесей с влажностью 18...23 %. Формование производится на ленточном шнековом прессе. Глиняная масса перемещается с помощью шнека к сужающейся головке, уплотняется и выдавливается через мундштук в виде непрерывного бруса, ленты или трубы под давлением 1,6...7 МПа.*

Таким способом получают кирпич, пустотелые изделия, трубы и т. д.

*Полусухой способ прессования* применяется при низкой влажности (5...8 %) формовочной смеси. Из полусухих порошкообразных масс изделия формуют на прессах высокого давления (15...30 МПа). Изделия сырца обладают большей прочностью и точностью размеров, чем при пластическом способе, а также характеризуются низкой усадкой при обжиге. Таким способом изготавливают керамическую плитку.

*Шликерное литье* применяется в тех случаях, когда необходимо, во-первых, достигнуть особо тщательного смешивания исходных компонентов и, во-вторых, для фор-

мования сложных по конфигурации и тонкостенных изделий. Влажность шликера составляет 35...45 %. Этот метод формования основан на свойстве гипсовых форм впитывать в себя часть воды из шликера.

Шликеры применяют в производстве санитарно-технической, декоративной, химически стойкой керамики и др.

Изделия, отформованные пластическим и шликерным способами, необходимо сушить. При полусухом способе формования изделия имеют незначительную влажность, которая при обжиге не вызывает растрескивания.

**Сушка изделий сырца** представляет собой процесс удаления физически связанной воды.

В настоящее время на предприятиях применяют *искусственную сушку* в сушилках периодического или непрерывного действия. В качестве источника теплоты используют горячий воздух с температурой 50...85 °С.

Продолжительность сушки составляет 1...3 сут.

**Обжиг изделий** — важнейший этап в производстве керамических изделий. В ходе обжига при 100...120 °С удаляется физически связанная вода, при 450...650 °С — химически связанная вода, при этом глинистые минералы разрушаются. Дальнейшее повышение температуры обжига до 900...1200 °С приводит к расплавлению части материала, в результате чего происходит спекание массы и образование керамического черепка.

После обжига изделия охлаждают. Процесс охлаждения весьма ответственный, при этом недопустим резкий перепад температур, так как это влечет за собой образование трещин. В начальной стадии температуру снижают медленно, и лишь после достижения 650 °С процесс охлаждения можно ускорить.

Температурный режим и длительность обжига зависят от состава шихты. Обычно продолжительность обжига составляет 1...3 сут.

**Сортировка и хранение керамических изделий.** При выгрузке из печи керамические изделия сортируют. Качество изделий устанавливают по степени обжига, внешнему виду, форме, размерам, а также по наличию в них различных дефектов.

После сортировки изделия направляют на склад, где хранят до отправки на строительство. Кирпич и керамические камни укладывают на поддоны и хранят на открытых площадках. Облицовочные плитки рассортировывают по цветам и размерам, упаковывают в ящики и хранят в закрытых складах. Санитарно-технические изделия, прошедшие сортировку и комплектование арматурой, упаковывают в специальные ящики и хранят в закрытых складах.

#### 4.4. Стеновые керамические материалы и изделия

Среди стеновых керамических материалов и изделий наиболее распространены рядовой керамический кирпич и керамические камни.

**Керамический кирпич** — искусственный камень в форме прямоугольного параллелепипеда (рис. 6), является самым древним искусственным строительным материалом. За тысячелетия он практически не изменил ни формы, ни фактуры.

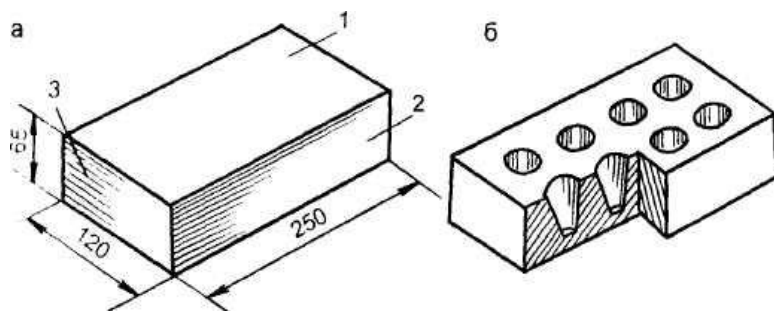


Рис. 6. Керамический обыкновенный кирпич пластического формования (а) и полусухого прессования (б): 1 - постель; 2 - ложок; 3 - тычок

Небольшой размер кирпича обыкновенного объясняется двумя причинами. Во-первых, масса кирпича, укладываемого вручную, не должна превышать 4 кг и, во-вторых, получение крупного массивного керамического изделия затруднительно, так как сушка и обжиг таких изделий протекают долго и, как правило, сопровождаются большими деформациями и растрескиванием изделий.

Поэтому для уменьшения массы и толщины наружных стен вместо обычного кирпича применяют керамические камни (изделия, имеющие размеры больше кирпича), которые характеризуются меньшей плотностью, более низкой теплопроводностью, чем обычный кирпич, но обладают достаточной прочностью.

Кирпич и камни должны иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами, ровными гранями

Кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камень — только пустотелым.

Пустоты в изделиях могут располагаться перпендикулярно (вертикальные) или параллельно постели (горизонтальные).

По прочности изделия подразделяют на марки М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300.

По морозостойкости изделия подразделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100.

Водопоглощение керамического кирпича и керамического камня должно быть не менее 6 %.

Кирпич керамический рядовой применяют для кладки внутренних и наружных стен, столбов, сводов и других частей зданий, в которых полностью используется его высокая прочность.

Пустотелый кирпич применяют для наружных и внутренних стен зданий, а также в цоколях зданий выше гидроизоляционного слоя. Нельзя использовать его для цоколей зданий ниже гидроизоляционного слоя и для фундаментов.

#### 4.5. Керамические трубы

По назначению трубы подразделяют на канализационные и дренажные.

**Керамические канализационные трубы** обладают более высокой стойкостью к агрессивным средам, чем чугунные и железобетонные, что обеспечивает им широкое применение в строительстве канализационных сетей, особенно предназначенных для отвода промышленных сточных вод, содержащих большое количество агрессивных веществ.

Канализационные трубы производят цилиндрической формы длиной от 800 до 1200 мм и внутренним диаметром от 100 до 600 мм. На одном конце имеется раструб для соединения отдельных звеньев трубопровода.

Основным сырьем для производства канализационных труб служат пластические спекающиеся тугоплавкие глины, которые дают общую усадку изделий не более 8 %. Большие размеры, сложные формы и относительно тонкие стенки канализационных труб требуют особенно тщательной подготовки и переработки исходного сырья. Применяют пластический и полусухой способ приготовления формовочной массы. Более эффективен полусухой способ, обеспечивающий точную дозировку и хорошее смешивание компонентов.

**Керамические дренажные трубы** применяют при устройстве закрытого дренажа для осушения земель (рис. 7).

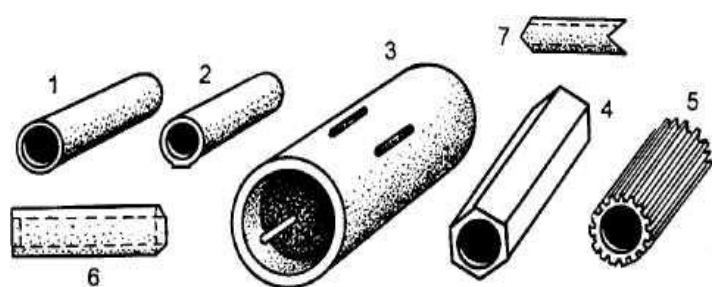


Рис. 7. Виды керамических дренажных труб:

- 1 - цилиндрическая; 2 - цилиндрическая с опорной плоскостью;
- 3 - перфорированная; 4 - граненая;
- 5 - рифленая; 6 - с фасками;
- 7 - с фигурными торцами

Технологический процесс изготовления керамических дренажных труб схож с процессом изготовления труб канализационных.

Дренажные трубы имеют следующие технические характеристики: внутренний диаметр 25, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 и 250 мм, длина труб 333...500 мм; толщина стенок трубы 8...24 мм; морозостойкость 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Черепок трубы должен иметь однородную структуру с водопоглощением не выше 18 %.

Сырьем для производства труб является глина с добавками песка керамзитовой пыли, опилок и угля.

Кроме устройства закрытого дренажа при мелиорации земель керамические дренажные трубы применяют для дренажа строительных площадок при небольших глубинах заложения и при отсутствии больших нагрузок от транспортных средств.

#### 4.6. Керамические изделия для наружных и внутренних облицовок

**Фасадная керамика.** Для облицовки фасадов зданий применяют кирпич и камни лицевые, плиты керамические фасадные, фасадные малогабаритные плитки и ковровую керамику.

*Кирпич и камни керамические лицевые* не должны иметь выцветов, высолов, крупных включений и других дефектов. Лицевые поверхности кирпича и камня могут быть гладкими, рельефными или офактуренными.

По пределу прочности при сжатии и изгибе кирпич и камни делят на марки 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300. Водопоглощение их должно быть не менее 6 % и не более 14 %. В насыщенном водой состоянии они должны выдерживать без каких-либо повреждений не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

*Плиты керамические фасадные* подразделяют на закладные, устанавливаемые одновременно с кладкой стен, и прислонные, устанавливаемые на растворе после возведения и осадки стены.

Требования по морозостойкости к фасадным плитам такие же, как и к другим керамическим материалам, применяемым для облицовки зданий; водопоглощение их не должно быть более 8%.

*Плитки фасадные малогабаритные* изготавливают как глазурованными, так и без глазури.

Фасадные плитки используют как изделия прислонного крепления для наружной облицовки плоскостей готовых стен, а также для внутренней облицовки вестибюлей и лестничных клеток жилых и общественных зданий.

**Керамические изделия для внутренней облицовки.** К этой группе изделий относят плитки для облицовки стен и плитки для полов.

Плитки для облицовки стен подразделяют на *майоликовые*, изготавливаемые из легкоплавких глин с окрашенным черепком и с лицевой стороны покрытые глухой (непрозрачной) глазурью, и *фаянсовые*, изготавливаемые из огнеупорных беложгущихся глин с добавками отощающих материалов (кварцевого песка и молотого плиточного боя) с лицевой стороны, покрытой прозрачной белой глазурью. Плитки применяют для внутренней облицовки стен санитарно-технических узлов, а также помещений с повышенной влажностью.

Плитки для полов изготавливают полусухим прессованием и обжигают до спекания. По виду лицевой поверхности плитки подразделяют на *гладкие, с рельефом и тисненые*, а по цвету — на *одноцветные и многоцветные*.

Плитки для полов характеризуются высокой плотностью (водопоглощение не более 4 %) и малым истиранием (потери массы при испытании не должны превышать 0,08 г/см<sup>2</sup>).

## 5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

### 5.1. Общие сведения

Стеклом называют все аморфные тела, получаемые в результате переохлаждения расплава независимо от их химического состава и температурной области затвердения и обладающие в результате постепенного увеличения вязкости свойствами твердых тел. Переход от жидкого состояния в стеклообразное должен быть обратимым.

Стекла подразделяют на природные и искусственные. Природные образовались в результате деятельности вулканов, например обсидиановое стекло. Искусственные созданы трудом человека.

В стеклообразном состоянии могут быть многие вещества. В строительстве применяют в основном силикатное стекло с преобладанием диоксида кремния (кремнезема) —  $\text{SiO}_2$  - и в меньших количествах  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ . Например, оконное стекло состоит из  $\text{SiO}_2$  (71...72 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (15,2 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,5 %),  $\text{CaO}$  (7,8 %),  $\text{MgO}$  (4,0 %).

### 5.2. Сырьевые материалы

Сырьевые материалы, применяемые для получения стекла, подразделяют на основные и вспомогательные.

К основным относят кварцевый песок, кальцинированную соду, сульфат натрия, доломит, известняк, мел.

Кремнезем —  $\text{SiO}_2$  — вводится чаще всего в виде кварцевого песка с минимальным содержанием оксидов железа,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  окрашивает стекло в желтый цвет,  $\text{FeO}$  — в голубой. При наличии  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{FeO}$  стекло приобретает зеленоватый оттенок.

Оксид натрия —  $\text{Na}_2\text{O}$  — вводится в виде кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . При нагревании в стекломассе остается  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_3$  — улетучиваются.  $\text{Na}_2\text{O}$  ускоряет стеклообразование и понижает температуру варки стекла.

Оксид кальция —  $\text{CaO}$  — вводится в виде известняка или мела  $\text{CaCO}_3$ . Оксид магния  $\text{MgO}$  вводится в виде магнезита  $\text{MgCO}_3$  или доломита  $\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$ .  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  повышают химическую стойкость стекла. Оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  вводится в виде технического глинозема, полевых шпатов или каолинов. Он повышает тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

К вспомогательным материалам относят осветлители, глушители, красители.

Осветлители — хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ), сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) — вводят, чтобы освободить стекломассу от видимых пузырей. Разлагаясь, они выделяют газообразные продукты, которые, улетучиваясь, захватывают другие газы.

Глушители — соединения фтора, фосфора — придают стеклу светорассеивающие свойства.

Красители окрашивают стекло: оксид марганца  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  — в фиолетовый цвет, оксид хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — в зеленый; соединения никеля  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ni(OH)}_2$  придают красно-фиолетовую окраску, хлорное золото  $\text{AuCl}_3$  — цвета от нежно-розового до темно-красного, соединения серебра  $\text{AgNO}_3$  и  $\text{AgCl}$  — золотисто-желтый.

### 5.3. Производство стекла

Производство стекла состоит из подготовки сырьевых материалов, приготовления смеси, варки стекломассы, изготовления стеклянных материалов и изделий.

Подготовка сырьевых материалов включает их сушку и измельчение. Приготовление смеси заключается в дозировании и смешивании компонентов. Варка стекломассы производится в основном в стекловаренных печах непрерывного действия и состоит из нескольких стадий: силикатообразования, стеклообразования, осветления, гомогенизации и охлаждения.

Силикатообразование для оконного стекла протекает при температуре 800...900 °С. При этом образуются сложные силикатные соединения. Завершается стеклообразование при температуре 1100...1200 °С. В расплаве заканчиваются все химические реакции и образуются сложные силикаты. Все превращения сопровождаются выделением большого количества газов.

Наиболее важной является стадия осветления. При температуре 1400...1500 °С. стекломасса освобождается от видимых газовых включений. Часть газов остается, растворяясь в стекломассе. Этот процесс ускоряется при введении осветлителей.

Гомогенизация (усреднение) протекает совместно с осветлением.

Стекловарение завершается охлаждением стекломассы до температуры, позволяющей формовать из нее изделия. Для оконного стекла это 1100...1250 °С.

Формование стекла выполняется прессованием, выдуванием, прессовыдуванием, прокаткой, на расплаве металла. Наиболее распространенное листовое стекло производится путем вытягивания ленты из вязкой расплавленной стекломассы.

Наиболее совершенным способом получения листового стекла является флоат-способ. Процесс формования происходит на поверхности расплавленного олова. Плоскость листа, соприкасающаяся с поверхностью металла, настолько гладкая, что не требует полировки.

### 5.4. Свойства строительных стекол

Область применения стекол зависит от их свойств. Важнейшими свойствами являются прочность, хрупкость, теплопроводность, оптические свойства, звукоизолирующая способность. Плотность стекла составляет 2,5...2,7 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — от 700 до 1000 и более, при растяжении — 30...60 МПа.

Недостатком стекла является повышенная хрупкость. Оно плохо сопротивляется удару, что ограничивает его применение.

Теплопроводность различных видов стекла составляет 0,5...1 Вт/(м·°С). Температура начала размягчения стекла зависит от химического состава. Для строительных стекол она составляет 550...700 °С.

Светопропускание (прозрачность) стекла — от 0 до 97 %, для оконного — примерно 88 %. Термическая устойчивость оконного стекла 80...90 °С. Оно плохо переносит резкое охлаждение.

Стекло имеет высокую химическую стойкость к воде, солям, щелочам.



## 5.5. Материалы и изделия из стекла

Из стекла изготавливают следующие материалы и изделия: листовое строительное стекло, светопропускающие и облицовочные изделия, трубы и др.

### 5.5.1. Листовое строительное стекло

К листовым стеклам относят: оконное, цветное, витринное, армированное, узорчатое, солнцезащитное, закаленное.

*Оконное стекло* — листовое бесцветное, прозрачное с гладкими поверхностями. Его выпускают толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Применяют его для остекления окон, витражей, дверей, фонарей и других светопрозрачных конструкций зданий.

*Цветное листовое стекло* получают из окрашенной стекломассы. Выпускают его красного, синего, зеленого, лунно-белого, голубого, серого, молочного, желтого, лимонного и темно-синего цветов. Применяют для декоративного остекления световых проемов помещений, художественного оформления фасадов и интерьеров и других целей.

*Витринное стекло* — листовое, крупногабаритное, бесцветное, прозрачное, с гладкими поверхностями. Оно выпускается неполированным толщиной 3...6 мм и полированным толщиной 5,5...10 мм. Применяют для остекления витрин и витражей общественных, торговых, административных, спортивных зданий.

*Армированное стекло* — это стекло с закатанной металлической сеткой. Сетка при механических повреждениях задерживает осколки. Стекло бывает бесцветным или цветным, толщиной 5,5 и 6 мм. Применяют его для остекления окон, фонарей, перегородок, когда требуется обеспечить безопасность людей.

*Узорчатое стекло* — стекло с четким рельефным узором на одной или обеих поверхностях. Выпускают толщиной 3...6 мм. Применяют для остекления окон, дверей, перегородок. Оно уменьшает слепящее действие солнечного света, создает в помещении равномерную освещенность, улучшает архитектурно-художественное качество интерьеров.

*Солнцезащитные стекла* — это стекла, задерживающие инфракрасные и другие тепловые солнечные лучи. Их выпускают теплопоглощающими и солнцезащитными.

Солнцезащитные теплопоглощающие стекла получают введением в стекломассу оксидов меди, железа, кобальта, которые окрашивают ее в зеленовато-голубоватые или серые тона. Их светопропускание составляет 65...75 %, пропускание инфракрасных лучей — 30...35 %.

Солнцезащитные стекла получают нанесением на одну поверхность стекла тонких прозрачных окиснометаллических, керамических или полимерных покрытий.

Применяют солнцезащитные стекла для остекления административных и производственных зданий.

*Закаленное стекло* получают путем термической обработки листового стекла. Стекло нагревают до температуры  $(640 \pm 10)$  °С и быстро охлаждают. В результате прочность на удар и изгиб по сравнению с обычным стеклом повышается в 5...6 раз. Применяют его в основном для остекления транспортных средств.

### 5.5.2. Облицовочные изделия из стекла

Облицовочные изделия изготавливают из окрашенного в массу (глушеного) или с поверхности стекла. Применяют их для отделки зданий и сооружений. Облицовочные или ограждающие конструкции имеют повышенную долговечность, красивый вид, экономичны при эксплуатации. Наиболее распространены коврово-мозаичные плитки, стемалит, плитки из глушеного стекла или эмалированные, марблит, стекло-крошка, смальта и др.

Плитки коврово-мозаичные изготавливают из глушеного стекла в виде ковров, на бумажной основе. Получают их методом непрерывного проката или прессования из стеклянного порошка с последующим отжигом. Прокатные плитки выпускают, в основном, размером  $21 \times 21 \times 4,5$  мм, прессованные –  $22 \times 22 \times 5$  мм. Применяют их для наружной отделки зданий.

Стемалит представляет собой листовое стекло, окрашенное с внутренней стороны керамической эмалевой краской разных цветов. Применяется стемалит для облицовки фасадов, внутренних стен и перегородок зданий, для ограждений балконов, лоджий.

Плитки из глушеного могут иметь различный цвет, хотя чаще всего выпускаются молочно-белого цвета. Промышленность изготавливает преимущественно квадратные плитки размером  $150 \times 150$  или прямоугольные размером  $250 \times 140$  мм. Их применяют для внутренней облицовки поверхности стен производственных зданий, душевых, санузлов.

Эмалированные стеклянные плитки изготавливают из отходов, оконного или витринного стекла размером чаще всего  $150 \times 150$  мм. Лицевую поверхность плиток покрывают слоем эмали, а затем подвергают термической обработке для ее закрепления и отжига стекла. Их применяют для облицовки стен, столовых, кухонь, санузлов.

Марблит представляет собой прямоугольные или квадратные плиты, изготовленные из глушеного стекла. Наружная поверхность листов обычно полированная, внутренняя — рифленая. Декоративный марблит изготавливают из черного глушеного стекла с кристаллическими переливающимися вкраплениями. Марблит применяется для облицовки фасадов зданий, оформления интерьеров, для облицовки стен внутри зданий и покрытий полов.

Стекланную крошку получают дроблением отходов прокатного стекла, стекольного гранулята из глушеной белой или цветной стекломассы. Применяют ее для создания декоративного эффекта при отделке бетонных поверхностей.

Смальтой называют кусочки глушеного цветного стекла размером до 20 мм. Ее отливают в виде плит, которые затем разбивают на кусочки. Применяют для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно.

Плиты стеклокристаллические (стеклокремнезит) изготавливают термообработкой гранул стекла в смеси с кремнеземом. Наружную поверхность плит подвергают огневой полировке, в результате чего она приобретает высокие декоративные свойства — имитирует природный камень.

Стеклокремнезит применяют для наружной и внутренней облицовки стен, настилки полов.

### 5.5.3. Светопропускающие изделия из стекла

К группе светопропускающих изделий из стекла относят: стеклопакеты, коробчатое, швеллерное, профильное стекло, пустотелые стеклянные блоки, стеклянные двери, многослойные стекла.

Стеклопакеты изготавливают из герметически соединенных двух и более листов. Между стеклами оставляют воздушную прослойку толщиной от 9 до 20 мм. Стеклопакеты имеют повышенные теплоизоляционные и звукоизолирующие свойства. Их применяют для остекления зданий.

Профильное стекло изготавливают коробчатого и швеллерного сечений. Может быть бесцветным и цветным, неармированным и армированным, с гладкой, узорчатой или рифленой поверхностью.

Коробчатое стекло выпускают шириной 244 и 294 мм, высотой 50 и толщиной 5,5 мм, швеллерное имеет ширину 244 и 294 мм, высоту соответственно 35 и 50 мм и толщину 5,5 мм. Применяют профильное стекло для устройства несущих стен, перегородок, прозрачных кровель.

Стеклянные блоки получают из двух прессованных полублоков, сваренных по периметру. Их выпускают квадратной и прямоугольной формы. Квадратные имеют размеры 194×194×98 или 244×244×98, прямоугольные – 294×194×98 мм. Могут быть неокрашенными и цветными. Достоинство блоков – низкий коэффициент теплопроводности, составляющий 0,46 Вт/(м·°С). Их применяют для устройства светопрозрачных ограждений зданий, остекления лифтовых шахт, в архитектурно-декоративных целях.

Дверные полотна изготавливают из закаленного бесцветного витринного стекла. Поверхность бывает полированная, неполированная, ковкая, узорчатая, может покрываться цветными керамическими красками, оплавленными при закалке. Размеры полотен – 2600×1040, 2400×900 и толщиной 10, 15 и 20 мм. Имеют высокую прочность.

Многослойные стекла (триплекс) состоят из двух и более листов оконного или витринного стекла, склеенных по всей поверхности прозрачными органическими пленками из поливинилбутираля, пластифицированного дибутилсебацата и др. При разрушении стекла осколки остаются на пленке, что повышает его безопасность. Многослойные стекла применяют для дверных полотен, перегородок, витрин. Изделия из трех-четырёх листов упрочнённых стекол, склеенных утолщённой пленкой, могут быть пуленепробиваемыми.

### 5.5.4. Стеклянные трубы

Стеклянные трубы изготавливают из прозрачного стекла. Их выпускают диаметром от 40 до 200 и длиной 1500...3000 мм. Трубы обладают высокой коррозионной стойкостью, водонепроницаемостью. Их можно эксплуатировать при температуре от –50 до +100 °С и давлении до 0,6 МПа. Они нашли широкое применение в химической и пищевой промышленности.

### 5.6. Изделия из шлаковых расплавов и каменное литье

Из расплавленных шлаков металлургической промышленности изготавливают плотные камни, плиты, трубы, шлаковую пемзу, шлаковую вату и шлакоситаллы.

Плотные камни, плиты, трубы получают заливкой в формы огненно-жидких шлаков, доставляемых из доменных или мартеновских печей. Камни и плиты применяют для покрытия дорог, тротуаров, полов промышленных зданий, трубы — для транспортировки агрессивных жидкостей.

Шлаковая пемза (термозит) представляет собой легкий заполнитель для бетонов со средней плотностью 300...1100 кг/м<sup>3</sup>. Один из способов ее изготовления — вспучивание в бассейне. Расплав шлака сливается в бассейн, в днище которого находятся трубы с отверстиями, через которые подается под давлением вода. Испаряясь, вода вспучивает шлак.

Каменное литье получают чаще всего из базальта или диабазы. Их плавят при температуре 1400...1500 °С и разливают в формы. После охлаждения для снижения напряжений и образования кристаллической структуры изделие отжигают при температуре 800...900 °С. Строительные изделия из каменного литья обладают высокой химической стойкостью, прочностью, твердостью. Их применяют в химической, металлургической и горнообогатительной промышленности для покрытия полов, в качестве футеровочного материала в аппаратах, в которых возникают большие истирающие усилия.

### **5.7. Стеклокристаллические материалы (ситаллы и шлакоситаллы)**

Стеклокристаллические материалы имеют кристаллическую структуру. Между мелкими кристаллами размером 2...8 мм имеется стекловидная фаза в количестве 5...10 %. Их получают введением в расплавленную стекольную массу или металлургические шлаки катализаторов кристаллизации.

Ситаллы получают из того же сырья, что и стекло, с добавками соединений титана, лития, циркония и др. Производство изделий из ситаллов включает дополнительную термообработку. Их нагревают и выдерживают при температуре, соответствующей образованию центров кристаллизации, а затем при температуре максимальной скорости роста кристаллов. Ситаллы обладают высокой прочностью (при сжатии —  $R_{сж} = 500...1500$  МПа, при растяжении —  $R_p = 25...500$  МПа); низкой истираемостью —  $I = 0,016...0,03$  г/см<sup>2</sup>; химической стойкостью — 99,8 %, термостойкостью — 200...1100 °С. Их применяют для изготовления особо точных станков, труб теплообменников, в химической промышленности.

Шлакоситаллы получают введением в огненно-жидкие шлаки катализаторов кристаллизации —  $TiO_2$ ,  $CaF_2$ ,  $P_2O_5$  и др. Они имеют предел прочности при сжатии 90...130 МПа, высокую химическую стойкость — 99,8 %, термостойкость и морозостойкость, низкую истираемость —  $I = 0,016...0,03$  г/см<sup>2</sup>. Применяют их для покрытия полов, изготовления санитарно-технических изделий, труб, для футеровки строительных конструкций и аппаратов.

## 6. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

### 6.1. Классификация вяжущих веществ

**Минеральными вяжущими материалами** называют порошкообразные вещества, которые при смешивании с водой образуют пластичное тесто, способное твердеть, превращаясь в камневидное тело. Это свойство вяжущих используют для изготовления бетонов, строительных растворов, силикатного кирпича, асбоцементных и других не-обожженных искусственных материалов;

Неорганические вяжущие вещества делят на воздушные и гидравлические.

*Воздушные вяжущие* в затвердевшем состоянии сохраняют прочность только на воздухе.

*Гидравлические вяжущие* обладают гидравлическими свойствами. После первоначального затвердения на воздухе они способны сохранять прочность как на воздухе, так и в воде.

В отдельную группу выделяют *вяжущие автоклавного твердения*, которые твердеют при давлении 0,8...1,6 МПа и температуре 175...200 °С.

### 6.2. Воздушные вяжущие вещества

К воздушным относят гипсовые и ангидритовые вяжущие, воздушную известь, магнезиальные вяжущие вещества, жидкое (растворимое) стекло.

#### 6.2.1. Гипсовые вяжущие вещества

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

**Сырьевые материала.** Сырьем для получения гипсовых вяжущих чаще всего служит горная порода гипс, состоящая преимущественно из минерала гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Используют и ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , отходы промышленности (фосфогипс, борогипс и др.).

**Классификация.** 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 относятся 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. А во втором – при обжиге в незамкнутом пространстве печи вода удаляется в виде пара.

Строительный гипс состоит в основном из кристаллов  $\beta$  – модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , он содержит также некоторое количество ангидрида ( $\text{CaSO}_4$ ) и частицы неразложившегося сырья  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . По срокам схватывания гипсовые вяжущие делят на три группы: А – быстрохватывающиеся (2...15 мин), Б – нормально схватывающиеся (6...30 мин) и В – медленно схватывающиеся (не менее 20 мин). Прочность при сжатии составляет 10...12 МПа.

*Высокопрочный гипс* получают термической обработкой высокосортного гипсового камня в герметичных аппаратах под давлением пара. Он состоит в основном из  $\alpha$  – модификации полуводного сульфата кальция, более активной, чем  $\beta$  – модификации. Поэтому прочность высокопрочного гипса при сжатии 15...25 МПа, а при специальной технологии производства – до 60 МПа. Из него изготавливают элементы стен и сборных перегородок, камни для стен.

*Формовочный гипс* состоит в основном из  $\beta$  – модификации полугидрата. Он содержит незначительное количество примесей и тонко размалывается. Применяют в керамической и фарфоро-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 ангидрида  $\text{CaSO}_4$ , который частично подвергается термической диссоциации с образованием  $\text{CaO}$ . Небольшое количество оксида кальция в составе вяжущего играет роль активизатора, при взаимодействии вяжущего с водой. Можно получить ангидритовое вяжущее и без обжига помолом природного ангидрида 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 в кладочных и штукатурных растворах, при устройстве бесшовных полов, для изготовления "искусственного мрамора".

Для гипсовых вяжущих стандартом установлено 12 марок по пределу прочности при сжатии (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. При этом минимальный предел прочности при изгибе для каждой марки должен соответствовать значению соответственно от 1,2 до 8 МПа.

**Твердение и применение гипсовых вяжущих веществ.** При твердении строительного гипса происходит химическая реакция присоединения воды и образования двуводного сульфата кальция:



Вскоре после затворения строительного гипса водой создаются условия для образования в пересыщенном растворе зародышей кристаллов дигидрата. Схватывание (загустевание) гипсового теста начинается с образования рыхлой пространственной коагуляционной структуры, в которой кристаллики дигидрата связаны слабыми ван-дер-ваальсовыми 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.

Гипсовые вяжущие применяют для изготовления гипсовых деталей и гипсобетонных изделий – перегородочных панелей, сухой штукатурки и т.п., а также для приготовления штукатурных растворов (внутренней штукатурки) и получения гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ). В России получили известность пазогребневые гипсовые плиты для перегородок фирмы "Кнауф" (Германия) размером 900×300×80 мм. Для эксплуатации в помещениях с влажностью воздуха свыше 60 % применяют гидрофобизированные плиты.

В процессе твердения гипсовый раствор немного увеличивается в объеме (до 1 %), что благоприятствует изготовлению архитектурных деталей способом литья.

### 6.2.2. Известь строительная воздушная

**Общие сведения и классификация.** Известь (как и гипс) — древнейшее вяжущее вещество. Ее применяли за несколько тысяч лет до нашей эры.

Строительной воздушной известью называют вяжущее, получаемое обжигом карбонатных известняковых горных пород, с содержанием глинистых примесей до 6 %.

По внешнему виду воздушную известь подразделяют на негашеную комовую, негашеную молотую, гидратную (пушонку) и известковое тесто.

Известь строительная воздушная в зависимости от содержания в ней окиси магния (MgO) подразделяется на кальциевую (MgO < 5 %), магниезиальную (MgO = 5...20 %) и доломитовую (MgO = 20...40 %). Основными показателями качества извести являются: содержание активных окислов (CaO + MgO), скорость гашения, содержание непогасившихся зерен извести, тонкость помола (для молотой извести). По содержанию активных (CaO + MgO) воздушную строительную известь разделяют на три сорта (табл. 7).

Таблица 7

Технические требования к строительной воздушной извести

Показатели	Значения показателя извести								
	Кальциевой			Магнезиальной			Доломитовой		
	Сорт								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Содержание активных CaO+MgO, %, не менее:									
в негашеной извести без добавок	90	80	70	85	75	65	85	75	65
то же, с добавками	65	55	-	60	50	-	60	50	-
Содержание непогасившихся зерен в извести, %, не более	7	11	14	10	15	20	10	15	20
Тонкость помола – остаток на сите, %, не более:									
№ 02	1	1	1	1	1	1	1	1	1
№ 008	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Скорость гашения, мин:									
Быстрогасящаяся, менее	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Среднегасящаяся, не более	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Медленногасящаяся, более	25	25	25	25	25	25	25	25	25

В молотую негашеную, а также в гашеную известь можно вводить молотые ми-

неральные добавки: доменные шлаки, топливные шлаки, золы, вулканические пемзы, туфы, цемянку, трепел, горелые породы. Это способствует увеличению водостойкости извести и повышает ее прочность при твердении.

Одним из показателей качества извести является выход известкового теста. Он зависит от содержания глинистых и песчаных примесей, а также тончайших фракций размером 0,02...0,5 мм гидроксидов кальция и магния. Высококачественная известь имеет выход теста 2,5...3,5 л на 1 кг. Такая известь называется жирной, с меньшим выходом — тощей. Жирная известь характеризуется большой пескоемкостью, т.е. она отличается высоким расходом песка для получения удобоукладываемых смесей.

**Сырьевые материала.** Воздушную известь изготавливают из осадочных карбонатных известняково-магнезиальных горных пород: известняков и мела, доломитизированных известняков.

**Негашеная (комовая) известь.** Комовая известь является полупродуктом для получения других видов извести. Изготавливают ее обжигом сырья в шахтных, вращающихся и других печах.

В процессе обжига обжигаемый сырьевой материал вначале подогревается до температуры до 900 °С, затем обжигается при температуре 900...1100 °С до возможно более полного удаления CO<sub>2</sub>. Реакция разложения идет по схеме



При хранении и транспортировании негашеной комовой извести ее следует оберегать от увлажнения.

**Молотая негашеная известь (кипелка).** Молотую негашеную известь получают измельчением комовой извести до удельной поверхности 3500...5000 см<sup>2</sup>/г. Целесообразно введение активных минеральных добавок — гранулированных шлаков, золы — уноса теплоэлектростанций, пуццоланов и др.

*Кипелка* по сравнению с гашеной известью имеет меньшую водопотребность, выделяет большее количество тепла, что ускоряет высыхание стен при применении ее в штукатурных растворах. Время схватывания строительных растворов составляет 30...60 мин. Ускоряют сроки схватывания введением добавки соляной кислоты, хлорида кальция и хлорида натрия. Для замедления сроков схватывания применяют добавки гипса, серной кислоты, ЛСТ.

Изделия из молотой извести имеют более высокую плотность и прочность, чем из негашеной. В возрасте 28 суток их прочность составляет 1...5 МПа.

Существенный недостаток молотой извести — пыление и вредность. Ее следует хранить на складах с механизированной загрузкой и выгрузкой. Длительность хранения не должна превышать 5...10 суток.

**Гидратная известь (пушонка) и известковое тесто.** При обработке комовой извести водой происходит ее гашение, в результате чего она распадается в порошок. Этот процесс протекает по реакции  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ .

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

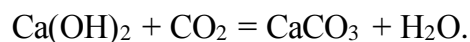


В процессе гашения куски негашеной извести самопроизвольно диспергируются, распадаясь на тонкие частицы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  размером в несколько микронов (тоньше, чем у цемента).

Насыпная плотность гидратной извести составляет 400...500 кг/м<sup>3</sup>. Отправляют ее потребителю в мешках, цементовозах, контейнерах.

Известковое тесто содержит около 50 % твердых частиц  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 50 % воды, имеет среднюю плотность 1400 кг/м<sup>3</sup>. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль смазки. Высокая пластичность известкового теста в смеси с песком - это свойство, которое так ценится при изготовлении строительных растворов.

**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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и их срастание; и карбонизация извести под действием углекислого газа, который в небольшом количестве содержится в воздухе:



Образующийся карбонат кальция срастается с кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и упрочняет известковый раствор. При карбонизации выделяется вода, поэтому штукатурку и стены, в которых применены известковые растворы, подвергают сушке. Известковые растворы твердеют медленно, сушка ускоряет процесс их твердения. Через месяц прочность растворов и бетонов составляет 0,5...1 МПа, через десятки и сотни лет — 5...7 МПа.

**Применение воздушной извести.** Воздушная известь является местным вяжущим. Применяют ее для изготовления штукатурных и кладочных растворов, автоклавных изделий, красочных составов. Кроме того, ее используют для изготовления известково-пуццолановых и известково-шлаковых вяжущих.

### 6.2.3. Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальными вяжущими называют порошкообразные материалы, в состав которых входит оксид магния. К ним относят *каустический магнезит* и *каустический доломит*. Каустический магнезит получают из природного магнезита, каустический доломит — из природного доломита.

Изготовление магнезиальных вяжущих заключается в обжиге и помоле исходного сырья. Разложение магнезита происходит при температуре 700...800 °С по реакции  $\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$ . Доломит разлагается при температуре 600...700 °С на MgO и  $\text{CO}_2$ .  $\text{CaCO}_3$  не разлагается и остается балластом.

В отличие от других вяжущих они затворяются не водой, а растворами хлористого магния  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  или сернокислого магния  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Эти соли повышают растворимость MgO, и скорость взаимодействия ее с водой возрастает. Получаются высокопрочные изделия.

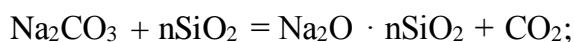
Каустический магнезит обеспечивает прочность на сжатие в возрасте 28 суток — 40...60 МПа, каустический доломит — 10...30 МПа.

Магнезиальные вяжущие применяют для устройства ксилолитовых полов, изготовления фибролитовых плит, искусственного мрамора, строительных деталей.

#### 6.2.4. Жидкое растворимое стекло

**Жидким (растворимым) стеклом** называют водные растворы солей кремниевой кислоты — силиката натрия  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  или силиката калия  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

Сырьем для изготовления жидкого стекла служит кварцевый песок  $\text{SiO}_2$ , кальцинированная сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Песок и щелочной компонент сплавляют в стекловаренных печах при температуре 1300...1400 °С. Взаимодействие между ними протекает по реакциям



Расплав охлаждают, он распадается на куски, называемые силикатной глыбой. Она не растворима в воде. Для перевода в растворимое состояние ее обрабатывают в автоклавах паром с давлением 0,5...0,8 МПа и температурой 150 °С.

Твердеет стекло на воздухе в результате высыхания и воздействия углекислого газа воздуха по реакциям



Выделившийся аморфный кремнезем обладает высокими клеящими свойствами: в 3...5 раз выше, чем у цементов. Применяют его в виде коллоидного раствора плотностью 1,36...1,5 г/см<sup>3</sup> для изготовления кислотостойких и жаростойких бетонов и растворов, силикатизации грунтов. Калиевое стекло применяют для приготовления силикатных красок.

### 6.3. Гидравлические вяжущие вещества

К гидравлическим вяжущим относят гидравлическую известь, романцемент, портландцемент и его разновидности. Свойства этих вяжущих веществ зависят от гидравлического модуля и температуры обжига сырья. Гидравлический модуль  $m$  выражает содержание основного оксида СаО по отношению к суммарному количеству кислотных оксидов:

$$m = \frac{\%CaO}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3} \quad (21)$$

Для каждого вяжущего вещества характерен свой гидравлический модуль. У воздушной извести гидравлический модуль более 9, у гидравлической извести  $m = 1,7...9$ . Портландцемент, получаемый из тщательно составленной искусственной смеси известнякового и глинистого компонента, характеризуется гидравлическим модулем (1,9...2,4) примерно таким же, как у романцемента.

#### 6.3.1. 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 образующейся СаО остается в свободном состоянии, а часть соединяется с оксидами SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, входящими в состав глинистых материалов. При этом образуются низкоосновные силикаты (2СаО·SiO<sub>2</sub>) алюминаты (СаО·Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>) и ферриты (СаО·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) кальция, которые и придают извести гидравлические свойства. Гидравлическая известь начинает твердеть в воздухе (первые 7 сут) и продолжает твердеть и увеличивать свою прочность в воде. Предел прочности при сжатии после 28 сут комбинированного хранения образцов из раствора 1:3 по массе (7 сут во влажном воздухе и 21 сут в воде) 2...5 МПа и выше. Гидравлическую известь применяют для изготовления строительных растворов, бетонов низких марок и бетонных камней. Ее предохраняют от увлажнения и хранят в закрытых помещениях.

### **6.3.2. Романцемент**

Романцемент - гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким помолом обожженных не до спекания (900 °С) известняковых или магнезиальных мергелей, содержащих более 20 % глины. Образующиеся при обжиге низкоосновные силикаты и алюминаты кальция придают романцементу способность твердеть и сохранять прочность в воде. Романцемент выпускают трех марок: М25, М50 и М100. Применяется для изготовления строительных растворов, бетонов, бетонных камней.

Гидравлическая известь и романцемент широко применялись ранее, но теперь эти вяжущие уступили свое место более совершенным гидравлическим вяжущим и прежде всего портландцементу.

### **6.3.3. Портландцемент**

#### **6.3.3.1. Общие сведения**

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70...80 %). Портландцемент — продукт тонкого измельчения клинкера с добавкой гипса (3...5 %). Клинкер представляет собой зернистый материал ("горошек"), полученный обжигом до спекания (при 1450 °С) сырьевой смеси, состоящей в основном из углекислого кальция (известняки различного вида) и алюмосиликатов (глины, мергеля, доменного шлака и др.). Добавка гипса регулирует сроки схватывания портландцемента.

Для производства портландцемента имеются неограниченные сырьевые ресурсы в виде карбонатных и глинистых горных пород и побочных продуктов промышленности (шлаков, зол, шламов).

Изобретение портландцемента (1824 г.) связано с именами Егора Герасимовича Челиева — начальника мастерских военно-рабочей бригады и Джозефа Аспдина — каменщика из английского города Лидса, которому был выдан патент на изобретение. Название портландцемент связано с полуостровом на юге Великобритании — Portland, где началось промышленное производство цемента.

### 6.3.3.2. Сырьевые материалы

Сырьевыми материалами для производства клинкера служат известняки с высоким содержанием углекислого кальция (мел, плотный известняк, мергели и др.) и глинистые породы (глины, глинистые сланцы), содержащие  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В среднем на 1 т цемента расходуется около 1,5 т минерального сырья; примерное соотношение между карбонатным и глинистым составляющими сырьевой смеси — 3:1 (т.е. берется около 75 % известняка и 25 % глины). В сырьевую смесь вводят добавки, корректирующие химический состав, регулирующие температуру спекания смеси и кристаллизацию минералов клинкера. Например, количество  $\text{SiO}_2$  повышают, добавляя в сырьевую массу трепел, опоку.

### 6.3.3.3. Основы производства

Производство портландцемента — сложный технологический и энергоемкий процесс, включающий: добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов известняка и глины; приготовление сырьевой смеси; обжиг сырьевой смеси до спекания — получение клинкера; помол клинкера с добавкой гипса — получение портландцемента.

**Подготовка сырья.** Приготовление сырьевой массы состоит в тонком измельчении и смешении взятых в установленном соотношении компонентов. Приготовление сырьевой смеси осуществляется сухим, мокрым и комбинированным способами.

Сухой способ заключается в измельчении и смешении сухих сырьевых материалов, поэтому сырьевая смесь получается в виде минерального порошка, называемого сырьевой мукой.

При мокром способе тонкое измельчение и смешение исходных материалов осуществляется в водной среде поэтому сырьевая смесь получается в виде жидко-текучей массы — шлама с большим содержанием воды (35...45 %).

Комбинированный способ обеспечивает тонкое измельчение и смешение сырьевых материалов в водной среде и получение сырьевой муки за счет сушки шлама еще до обжига.

**Обжиг.** Обжиг сырьевой смеси как при сухом, так и при мокром способе производства осуществляется в основном во вращающихся печах. Вращающаяся печь представляет собой длинный, расположенный слегка наклонно стальной цилиндр (барабан) с огнеупорной футеровкой внутри. Длина печей 95, 185, 230 м, диаметр 5...7 м.

В России применяют вращающиеся печи, работающие по сухому способу производства, размером 7×95 м, и по мокрому способу — размером 7×230 м. Производительность таких печей — 3000 т/сут.

*Вращающиеся печи* работают по принципу противотока. Сырье подается в печь со стороны ее верхнего конца, а со стороны нижнего конца вдувается топливо, 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 сырья и его нагрев до температуры 200 °С.

В *зоне подогрева* при постепенном нагревании сырья с 200 °С до 700°С сгорают находящиеся в нем органические примеси.

В *зоне кальцинирования* температура материала поднимается с 700 °С до 1100 °С, здесь завершается процесс диссоциации  $\text{CaCO}_3$  и появляется значительное количество свободного оксида кальция. В этой же зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , которые вступают в химическое взаимодействие с  $\text{CaO}$ . 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  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  — белита.

В *зоне экзотермических реакций* (1100...1250 °С) проходят твердо-фазовые 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 белита.

В *зоне спекания* (1300...1450 °С) происходит частичное плавление материала и образование 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 °С до 1000 °С; здесь полностью формируется его структура и состав.

Клинкер выходит из вращающейся печи в виде мелких камнеподобных зерен-гранул ("горошка") темно-серого или зеленовато-серого цвета и охлаждается до 100...200 °С, после чего выдерживается на складе 1...2 недели.

**Помол и складирование.** Помол клинкера в тонкий порошок производится в шаровых мельницах, При помолу в клинкер добавляют небольшое количество природного гипса. Готовый портландцемент — тонкий порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета направляется для хранения в силосы — складские емкости.

#### 6.3.3.4. Показатели клинкера

Качество клинкера зависит от его химического и минерального состава, тщательности подбора сырьевой смеси, условий проведения обжига.

Клинкер обычно получают в виде гранул размером 10...30 мм.

*Химический состав* клинкера выражают содержанием оксидов (по массе). Главными являются:  $\text{CaO}$  — 63...66 %,  $\text{SiO}_2$  — 21...24 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , — 4...8 % и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 2...4 %. В процессе обжига главные оксиды образуют силикаты, алюминаты и алюмоферриты кальция в виде минералов кристаллической структуры.

*Минеральный состав клинкера.* Основными минералами клинкера являются: алит, белит, трехкальциевый алюминат и алюмоферрит кальция.

*Алит*  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (или  $\text{C}_3\text{S}$ ) — самый важный минерал клинкера, определяющий быстроту твердения, прочность и другие свойства портландцемента; содержится в клинкере в количестве 45...60 %.

*Белит*  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (или  $\text{C}_2\text{S}$ ) — второй по важности и содержанию (20...30 %) минерал клинкера. Он медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительном твердении.

*Трехкальциевый алюминат* ( $\text{C}_3\text{A}$ ) — в клинкере содержится в количестве 4...12 %, это — самый активный клинкерный минерал, быстро взаимодействует с водой.

*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  $C_2S$ .

Содержание свободных  $CaO$  и  $MgO$  не превышает соответственно 1 % и 5 %. При более высоком их содержании снижается качество цемента.

### 6.3.3.5. Твердение

Цементное тесто, приготовленное путем смешивания цемента с водой, имеет три периода твердения. Вначале, в течение 1...3 ч после затворения цемента водой, оно пластично и легко формируется. Потом наступает схватывание, заканчивающееся через 5...10 ч после затворения; в это время цементное тесто загустевает, утрачивая подвижность, но его механическая прочность еще невелика. Переход загустевшего цементного теста в твердое состояние означает конец схватывания и начало твердения, которое характерно заметным возрастанием прочности. Твердение при благоприятных условиях длится годами – вплоть до полной гидратации цемента.

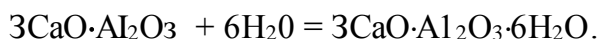
**Химические реакции.** Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. Уже в начале происходит быстрое взаимодействие алита с водой с образованием гидросиликата кальция и гидроксида кальция:



Белит гидратируется медленнее алита и  $Ca(OH)_2$  при его взаимодействии с водой выделяется меньше, что видно из уравнения



Взаимодействие трехкальциевого алюмината с водой приводит к образованию гидроалюмината кальция:



Для замедления схватывания при помоле клинкера добавляют небольшое количество природного гипса (3...5 % от массы цемента). Сульфат кальция реагирует с трехкальциевым алюминатом и связывает его в гидросульфалюминат кальция (минерал эттрингит) в начале гидратации портландцемента. Эттрингит, осаждающийся на поверхности частиц  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , замедляет их гидратацию и затягивает начало схватывания цемента.

Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой расщепляется на гидроалюминат и гидроферрит:



Гидроалюминат связывается добавкой природного гипса, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

Цементный камень состоит из гелевых и кристаллических продуктов гидратации цемента и негидратированных зерен клинкера. Основная часть новообразований (гелевидная масса) состоит из субмикрочастичек гидросиликата кальция. Твердение цементного камня будет продолжаться до тех пор, пока в цементном камне будет сохраняться клинкерный фонд.

### 6.3.3.6. Технические характеристики портландцемента

*Минеральный состав* выражает содержание в клинкере (в % по массе) главных минералов.

*Вещественный состав* цемента выражает содержание в цементе (в % по массе) основных компонентов: клинкера, гипса, добавок; он приводится в паспорте на цемент.

*Тонкость помола* цемента оценивается путем просеивания пробы цемента через сито № 008; тонкость помола должна быть такой, чтобы через сито проходило не менее 85 % массы просеиваемой пробы. Т.е. размер зерен цемента составляет 10...80 мкм. При этом его удельная поверхность составляет 2500...3000 см<sup>2</sup>/г (суммарная площадь поверхности зерен цемента в 1 г).

*Плотность* зерен портландцемента составляет 3050...3150 кг/м<sup>3</sup>. Его насыпная плотность – 1100...1400 кг/м<sup>3</sup>.

*Водопотребность* цемента определяется количеством воды (в % от массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста *нормальной густоты*. Водопотребность портландцемента находится в пределах 22...28 %.

*Сроки схватывания* цемента определяют в тесте нормальной густоты. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания - не позднее 10 час от начала затворения. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера на цементном заводе вводят добавку двуводного гипса.

*Активность и марка портландцемента.* Активность характеризуется прочностными показателями (сопротивление изгибу и сжатию) стандартных образцов-призм размером 4×4×16 см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1:3 (по массе) и В/Ц= 0,4 по стандартному рецепту. По показателям активности устанавливают марку цемента. Портландцемент разделяют на марки 400, 500, 550, 600.

*Транспортировка и хранение цементов.* Завод производит паспортизацию цемента. В паспорте указывается: полное название цемента, его гарантированная марка, вид и количество добавки, нормальная густота цементного теста, средняя активность цемента при пропаривании.

Цемент отгружают в рыхлом виде или в бумажных мешках по 50 кг. При транспортировании и хранении цемент должен защищаться от воздействия влаги и загрязнения. Цементы хранят раздельно по видам и маркам, смешивание разных цементов не допускается.

### 6.3.3.7. Коррозия цементного камня

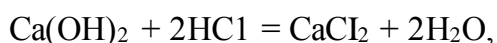
Коррозия цементного камня вызывается воздействием агрессивных газов и жидкостей на составные части затвердевшего портландцемента, главным образом на Са(ОН)<sub>2</sub> и 3СаО·Аl<sub>2</sub>О<sub>3</sub>·6Н<sub>2</sub>О. Причины коррозии можно разделить на три вида.

*Коррозия первого вида. Выщелачивание гидроксида кальция* происходит интенсивно при действии мягких вод, содержащих мало растворенных веществ. К мягким водам относятся воды оборотного водоснабжения, конденсат, дождевые воды, воды горных рек и равнинных рек в половодье, болотная вода. Содержание гидроксида кальция в цементном камне через 3 месяца твердения составляет 10...15 % (считая на СаО). После

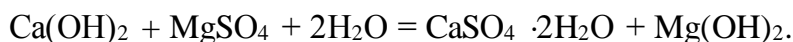
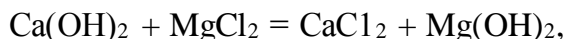
его вымывания и в результате уменьшения концентрации СаО (менее 1,1 г/л) начинается разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Выщелачивание Са(ОН)<sub>2</sub> в количестве 15...30 % от общего содержания в цементном камне вызывает понижение его прочности на 40...50 % и более. Выщелачивание можно заметить по появлению белых подтеков на поверхности бетона.

Для ослабления коррозии выщелачивания ограничивают содержание трехкальциевого силиката в клинкере до 50 %. Главным средством борьбы с выщелачиванием гидроксида кальция является введение активных минеральных добавок и применение плотного бетона. Процесс выщелачивания гидроксида кальция замедляется, когда в поверхностном слое бетона образуется малорастворимый СаСО<sub>3</sub> вследствие карбонизации Са(ОН)<sub>2</sub> при взаимодействии с СО<sub>2</sub> 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. Общекислотная коррозия* происходит при действии растворов кислот, имеющих значения водородного показателя рН < 7. 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. Кислоты вступают в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например, СаСl<sub>2</sub>) и соли, увеличивающиеся в объеме (СаSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O):



*Магнезиальная коррозия* наступает при взаимодействии на гидроксид кальция магнезиальных солей, которые встречаются в растворенном виде в грунтовых водах и в большом количестве в морской воде. Содержание солей в воде мирового океана составляет (г/л): NaCl — 27,2; MgCl<sub>2</sub> — 3,8; MgSO<sub>4</sub> — 1,7; CaSO<sub>4</sub> — 1,2. Разрушение цементного камня вследствие реакции обмена протекает по следующим формулам:



В результате этих химических реакций образуется растворимая соль (СаСl<sub>2</sub> или СаSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), вымываемая из бетона.

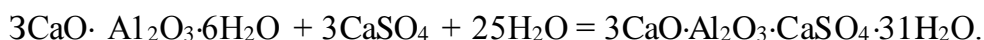
*Коррозия под действием минеральных удобрений.* Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения — аммиачная селитра и сульфат аммония. Нитрат аммония действует на гидроксид кальция. Образующийся нитрат кальция хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона. Хлористый калий КСl повышает растворимость Са(ОН)<sub>2</sub> и ускоряет коррозию. Из числа фосфорных удобрений агрессивен суперфосфат.

*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 гидроксида кальция они омыляются. Поэтому вредны и масла, содержащие кислоты жирного ряда: льняное, хлопковое, рыбий жир. Нефтяные продукты не



представляют опасности для бетона, однако они легко проникают через него.

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



Образование в порах цементного камня малорастворимого трех-сульфатного гидросульфоалюмината 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 сульфоалюминатной коррозией всегда надо считаться при строительстве морских сооружений. Вместе с тем могут оказаться агрессивными сточные воды промышленных предприятий, а также грунтовые воды. Для борьбы с сульфоалюминатной коррозией применяется специальный сульфатостойкий портландцемент.

Разрушение бетона может происходить через 10...15 лет после окончания строительства.

### **6.3.3.8. Применение портландцемента**

Портландцемент применяют для бетонов, эксплуатируемых внутри здания при любой относительной влажности воздуха, на открытом воздухе при воздействии атмосферных факторов. Допускается для бетонов используемых в подземных сооружениях, гидротехнических сооружениях подводной, надводной и внутренней зон.

### **6.3.4. Специальные виды портландцемента**

Для получения портландцемента с заданными свойствами используют регулирование минерального состава цементного клинкера, тонкости помола цемента, введение минеральных и органических добавок. Эти мероприятия позволяют регулировать скорость твердения, активность, тепловыделение и другие свойства цемента.

#### **6.3.4.1. Портландцементы с минеральными добавками**

Активные минеральные добавки — это природные или искусственные тонкоизмельченные вещества, способные взаимодействовать с гидроксидом кальция, образуя гидросиликаты кальция.

В качестве природных активных добавок используют магматические и осадочные горные породы (диатомит, трепел, опоку, вулканический пепел, туф, пемзу). Искусственные активные минеральные добавки представляют собой побочные продукты и отходы промышленности: гранулированные доменные шлаки, зола-унос — отход, получившийся при сжигании твердого топлива и др.

**Шлакопортландцемент** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом портландцементного клинкера, гипса и гранулированных доменного или электротермофосфорного шлака. Шлаки вводятся в количестве от 21 до 80 % от общей массы.

Истинная плотность шлакопортландцемента составляет 2800...3000 кг/м<sup>3</sup>, в рыхлонасыпанном состоянии — 900...1200 кг/м<sup>3</sup>.

*Водопотребность и сроки схватывания* шлакопортландцемента примерно такие же, как у портландцемента.

*По прочности* шлакопортландцемент выпускают марок 300, 400 и 500. Он характеризуется замедленной скоростью твердения в начальный период. В дальнейшем она нарастает, и к 6...12 месяцам прочность шлакопортландцемента сравнивается с портландцементом и даже ее превышает. Термообработка при температуре 80...95 °С активизирует твердение шлакопортландцемента. Поэтому его рекомендуют применять при заводском изготовлении изделий.

*Тепловыделение* шлакопортландцемента при твердении в течение первых 1...3 суток на 15...30 % меньше, чем у портландцемента. Он медленно набирает прочность при пониженных положительных температурах. Поэтому он эффективен в массивных конструкциях и нежелателен при зимнем бетонировании.

*Жаростойкость* шлакопортландцемента из-за пониженного содержания в цементном камне гидроксида кальция выше, чем у портландцемента, и составляет 600...800 °С, поэтому его рекомендуют для жаростойких бетонов.

*Морозостойкость* шлакопортландцемента ниже, чем у портландцемента. Бетоны на этом цементе выдерживают 50...100 циклов испытаний.

Небольшое количество гидроксида кальция в цементном камне повышает его стойкость в мягких водах. Снижение гидроксида кальция в жидкой фазе твердеющего цемента препятствует образованию этtringита  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ . Поэтому он имеет повышенную стойкость в сульфатных водах.

Шлакопортландцемент – одно из самых распространенных вяжущих. Выпускают его в количестве 25 % от всех цементов. Применение шлака, который не следует обжигать, делает его стоимость на 15...20 % ниже стоимости портландцемента. Он успешно применяется как для надземных, так и подземных и подводных частей сооружений.

**Пуццолановый портландцемент** — вяжущее вещество, получаемое совместным измельчением портландцементного клинкера с содержанием минерала  $\text{C}_3\text{A}$  до 8 %, активной минеральной добавки и гипса. Добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) берется от 20 до 30 %, вулканического происхождения (зол, глиежей) – от 25 до 40 %.

Истинная плотность его составляет 2700...2900 г/см<sup>3</sup>, насыпная – 900...1100 кг/м<sup>3</sup>.

Он имеет повышенную нормальную густоту цементного теста до 30...40 %, вследствие чего его расход в бетонах по сравнению с портландцементом увеличивается на 15...20 %.

По прочности пуццолановый портландцемент подразделяют на марки 300 и 400. Рост прочности в начальный период замедленный. При твердении выделяется меньше тепла, чем у портландцемента, поэтому его не следует применять при пониженных температурах и рекомендуется для массивных конструкций. Наиболее интенсивно он набирает прочность при автоклавной обработке.

При длительном хранении на складах пуццолановый портландцемент теряет активность быстрее портландцемента.

Пуццолановые портландцементы с добавками осадочного происхождения имеют

пониженную воздухоустойкость. Пониженная влажность среды может привести к образованию усадочных трещин в бетоне. Их не следует применять для бетонов с относительной влажностью воздуха менее 60 % и на открытом воздухе. При эксплуатации во влажной среде водонепроницаемость его повышается. Поэтому его рекомендуют использовать для водонепроницаемых бетонов.

В связи с высокой водопотребностью бетоны на пуццолановых портландцементях имеют пониженную морозостойкость. Они выдерживают всего 25...50 циклов испытаний. Поэтому их не следует применять в гидротехнических сооружениях зоны переменного уровня воды, подверженных воздействию знакопеременных температур, для дорожных бетонов.

**Цементы для строительных растворов.** Их изготавливают совместным помолом портландцементного клинкера (не менее 20 %), активных минеральных добавок (гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки), наполнителей (кварцевый песок, известняк, мрамор) и гипса. Выпускают его марки 200.

Применяют для изготовления строительных растворов и неармированных бетонов классов 30 и ниже. В связи с замедленным твердением его не рекомендуют использовать при температуре воздуха ниже +10 °С.

#### **6.3.4.2. Портландцементы с органическими добавками**

В современной технологии бетона широко применяют поверхностно-активные вещества, вводимые в малых дозах (0,05...0,3 % от массы цемента) и добавляемые в цемент при помоле клинкера.

Поверхностно-активные добавки можно разделить на гидрофилизующие и гидрофобизующие.

*К гидрофилизующим добавкам* относятся лигносульфонаты кальция (ЛСТ).

*К гидрофобизующим добавкам* относят мылонафт, асидол и др.

**Пластифицированный портландцемент** изготавливают путем введения при помоле клинкера около 0,25 % ЛСТ (считая на сухое вещество). Он отличается от обычного портландцемента способностью придавать растворным и бетонным смесям повышенную подвижность.

Пластифицирующий эффект используется для уменьшения водоцементного отношения, повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Если же сохранить В/Ц, то можно снизить расход цемента (примерно на 10...15 %) без ухудшения качества бетона.

**Гидрофобный портландцемент** получают, вводя при помоле клинкера 0,1...0,2 % мылонафта, асидола и других гидрофобизующих веществ. Он обладает пониженной (по сравнению с обычным цементом) гигроскопичностью, лучше сохраняет свою активность при хранении и перевозках.

Гидрофобный портландцемент пластифицирует бетонные и растворные смеси, повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона.

**Вязущие низкой водопотребности (ВНВ)** получают совместным помолом

портландцемента и поверхностно-активного вещества суперпластификатора (С-3, 10-03, 30-03 и др.). Портландцемент домальвают до тонкости помола 4500...5000 см<sup>2</sup>/г в присутствии суперпластификатора. ВНВ характеризуется следующими свойствами:

- высокой тонкостью помола;
- водопотребностью 15...18 % (вместо 25...27 % у обычного цемента);
- замедлением начала схватывания до 6...7 часов при сохранении конца схватывания до 10 часов;
- быстрым набором прочности в ранние сроки (через сутки предел прочности при сжатии составляет 25... 30 МПа).

ВНВ является высокомарочным вяжущим. Его марки лежат в пределах 700...1000. Однако применение цементов таких высоких марок целесообразно лишь в высокопрочных бетонах.

#### **6.3.4.3. Белый и цветные портландцементы**

**Клинкер белого цемента** изготавливают из чистых известняков и белых глин, почти не содержащих оксидов железа и марганца, которые придают обычному портландцементу зеленовато-серый цвет. Обжигают сырьевую смесь на беззольном (газовом) топливе. При помоле клинкера цемент предохраняют от попадания в него частиц железа.

В качестве эталона для определения степени белизны применяют молочное матовое стекло типа МС-14 с коэффициентом отражения не менее 95 %. Степень белизны, определяемая коэффициентом отражения (в % абсолютной шкалы), должна быть для белого портландцемента 1-го сорта – не ниже 80 %, 2-го сорта – 75 %, 3-го сорта – 68 %; цемент выпускают М400 и М500.

**Цветные декоративные портландцементы** получают, примешивая к белому цементу щелочестойкие пигменты (охру и др.).

По прочности подразделяют на марки 300, 400 и 500. Применяют для изготовления цветных бетонов и растворов, цементных красок.

#### **6.3.4.4. Быстротвердеющие портландцементы**

К быстротвердеющим портландцементам относят: быстротвердеющий, особо быстротвердеющий и сверхбыстротвердеющий портландцементы.

**Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)** – портландцемент с минеральными добавками, отличающийся повышенной прочностью через 3 сут твердения (более половины его марочной прочности). Сумма  $C_3S + C_3A$  в клинкере – не менее 60...65 %. Помол БТЦ производится более тонко до удельной поверхности 3500...4000 см<sup>2</sup>/г (вместо 2800...3000 см<sup>2</sup>/г для обычного портландцемента). Это ускоряет твердение цемента. БТЦ выпускают марок М400 и М500.

**Особобыстротвердеющий портландцемент (ОБТЦ)** в возрасте 1 сут имеет предел прочности 20...25 МПа, 3 сут – 40 МПа. Такой быстрый рост прочности обуславливается содержанием  $C_3S$  до 65...68 %,  $C_3A$  – до 18 % и тонкостью помола около 4000 см<sup>2</sup>/г. ОБТЦ выпускают марки 600. Применение ОБТЦ позволяет снижать расход цемента на 15...20 %.

**Сверхбыстротвердеющий цемент (СБТЦ)**, разработанный на основе специального минерального состава, дает раннюю прочность, достаточную для распалубки изделий через 1...4 часа, а через 6 ч прочность составляет 10 МПа. В сырьевую смесь СБТЦ вводятся галогеносодержащие вещества (фторид или хлорид кальция), а также повышается содержание алюминатов.

Эти цементы применяются в производстве сборных железобетонных конструкций, а также при зимнем бетонировании. Повышенное тепловыделение не позволяет применять их для массивных конструкций. БТЦ с повышенным содержанием С<sub>3</sub>А непригоден для бетона, подвергающегося сульфоалюминатной коррозии.

### 6.3.5. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент – высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельченного клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция. Однокальцевый 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 белига.

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

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

Замечательным свойством глиноземистого цемента является его необычно быстрое твердение. Марки глиноземистого цемента, определяемые по результатам испытания образцов 3<sup>х</sup>-суточного возраста – М400, М500 и М600. Как известно, портландцемент приобретает такую прочность только через 28 сут нормального твердения.

При столь быстром твердении глиноземистый цемент обладает нормальными сроками схватывания, почти такими же, как у портландцемента. Начало схватывания глиноземистого цемента должно наступать не ранее 30 мин, а конец – не позднее 12 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 трехкальцевого шестиводного гидроалюмината, поэтому бетон на глиноземистом цементе более стоек по сравнению с портландцементом против выщелачивания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также в растворах 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.

С учетом специфических свойств и высокой стоимости глиноземистый цемент

предназначается для получения быстротвердеющих, а также жаростойких бетонов и растворов. Кроме того, глиноземистый цемент используется для получения расширяющихся цементов.

### **6.3.6. Расширяющиеся и безусадочные цементы**

Расширяющиеся цементы относятся к числу смешанных, иногда многокомпонентных цементов. Изучались различные расширяющиеся компоненты, однако наиболее эффективным оказался трехсульфатный гидросульфалоюминат кальция  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$

Состав цемента дает возможность регулировать количество и скорость образования кристаллов гидросульфалоюмината кальция и избегать появления вредных напряжений, вызывающих растрескивание затвердевшего цементного камня.

**Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ)** является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим. Он получается путем тщательного смешивания глиноземистого цемента (70 %), гипса (20 %) и молотого специально изготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция (10 %).

**Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент** – быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое совместным измельчением высокоглиноземистых клинкера или шлака и природного двухводного гипса или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных раздельно. Гипсоглиноземистый цемент обладает свойством расширения при твердении в воде; при твердении на воздухе он проявляет безусадочные свойства.

**Расширяющийся портландцемент (РПЦ)** является гидравлическим вяжущим веществом, получаемым совместным измельчением: портландцементного клинкера – 58...63 %, глиноземистого шлака или клинкера – 5...7 %, гипса – 7...10 %, доменного гранулированного шлака или другой активной минеральной добавки – 23...28 %. РПЦ отличается быстрым твердением в условиях кратковременного пропаривания, высокой плотностью и водонепроницаемостью цементного камня и способностью расширяться в водных условиях при постоянном увлажнении в течение первых 3 сут.

**Напрягающий цемент** состоит из 65...75 % портландцемента, 13...20 % глиноземистого цемента и 6...10 % гипса; затворенный водой, он сначала твердеет и набирает прочность, затем расширяется как твердое тело и напрягает железобетон. Самонапряженный железобетон применяется в напорных трубах, в монолитных и сборных резервуарах для воды, в спортивных и подземных сооружениях.

## 7. БЕТОНЫ

### 7.1. Общие сведения

Бетоном называют искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества, воды и заполнителей. Также в состав бетонов вводят добавки, улучшающие свойства как смесей, так и затвердевших конгломератов. Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

Бетон является главным строительным материалом, который применяют во всех областях строительства. Техничко-экономическими преимуществами бетона и железобетона являются: низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с применением местного сырья, возможность применения в сборных и монолитных конструкциях различного вида и назначения, механизация и автоматизация приготовления бетона и производства конструкций. Бетонная смесь при надлежащей обработке позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры. Бетон долговечен и огнестоек, его плотность, прочность и другие характеристики можно изменять в широких пределах и получать материал с заданными свойствами.

Недостатком бетона, как любого каменного материала, является низкая прочность на растяжение, которая в 10...15 раз ниже прочности на сжатие. Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура.

**По виду вяжущего** бетоны разделяют на цементные (наиболее распространенные), силикатные (известково-кремнеземистые), гипсовые, и др.

**По виду заполнителя** различают бетоны на плотных, пористых специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (защиты от излучений, химической стойкости и т.п.).

В правильно подобранной бетонной смеси расход цемента составляет 8...15 %, а заполнителей — 80..85 % (по массе). Поэтому в виде заполнителей применяют местные каменные материалы: песок, гравий, щебень, а также побочные продукты промышленности (например, дробленые и гранулированные металлургические шлаки).

Плотность бетонов изменяется в широких пределах: от 400 до 2500 кг/м<sup>3</sup> и более. Наиболее распространенными являются тяжелые бетоны — плотностью 2200...2500 кг/м<sup>3</sup> на песке, гравии или щебне из тяжелых горных пород (их применяют во всех несущих конструкциях), а также легкие бетоны плотностью 500...1800 кг/м<sup>3</sup>; к ним относятся: а) легкие бетоны на пористых природных и искусственных заполнителях; б) ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон) из смеси вяжущего, воды, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и порообразователя; в) крупнопористые (беспесчаные) бетоны на плотном или пористом крупном заполнителе — без мелкого заполнителя.

Пористость тяжелых бетонов не превышает 7 %. Легкие бетоны менее теплопроводны по сравнению с тяжелыми, поэтому их применяют преимущественно в наружных ограждающих конструкциях.

## 7.2. Материалы для изготовления тяжелого бетона

**Цемент.** Для тяжелого бетона применяют портландцемент и его разновидности, а также другие вяжущие, отвечающие требованиям соответствующих ГОСТов.

Марку цемента назначают в зависимости от проектной марки бетона по прочности при сжатии (табл. 8).

Таблица 8

Рациональное соответствие марок бетона и цемента

Марка бетона	M150	M200	M250	M300	M350	M400	M450	M500	M600 и выше
Марка цемента	M300	M300 M400	M400	M400 M500	M400 M500	M500 M600	M550 M600	M600	M600

**Мелкий заполнитель.** В качестве мелкого заполнителя в тяжелом бетоне применяют песок, состоящий из зерен размером 0,16...5 мм. Для приготовления тяжелых бетонов применяют природные или искусственные пески, полученные путем дробления твердых горных пород.

Качество песка, применяемого для изготовления бетона, определяется минеральным составом, зерновым составом и содержанием вредных примесей.

Песок для бетона должен состоять из зерен различного размера, чтобы его межзерновая пустотность была минимальной; чем меньше объем пустот в песке, тем меньше требуется цемента для получения плотного бетона. В песке допускается не более 5 % зерен размером от 5 до 10 мм.

Мелкие частицы (пыль, ил, глина) увеличивают водопотребность бетонных смесей и расход цемента в бетоне. Поэтому содержание в песке пылевидных и глинистых частиц не должно превышать 3 %. Глина набухает при увлажнении и увеличивается в объеме при замерзании, снижая морозостойкость.

**Крупный заполнитель.** В качестве крупного заполнителя для бетона применяют гравий, щебень с размером зерен 5...70 мм. При бетонировании массивных конструкций можно применять щебень крупностью до 150 мм.

Зерна гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность. Обычно гравий содержит в том или ином количестве песок, а также вредные примеси – глину, пыль, слюду и др. Щебень отличается от гравия остроугольной формой и шероховатой поверхностью зерен, в связи с чем сцепление его с цементно-песчаным раствором лучше, чем гравия. Содержание в щебне вредных органических веществ незначительно.

Щебень получают дроблением плотных и водостойких горных пород (гранитов, диоритов, известняков, песчаников и др.). Зерна щебня имеют угловатую форму; желательно, чтобы по форме они приближались к кубу. Более шероховатая, чем у гравия, поверхность зерен способствует лучшему их сцеплению с цементным камнем, поэтому для бетона высокой прочности (M500 и выше) обычно применяют щебень, а не гравий.

В зависимости от крупности зерен щебень (гравий) подразделяют на четыре фракции: 5...10 мм, 10...20 мм, 20...40 мм и 40...70 мм. Щебень (гравий) могут посту-



пать в виде смеси двух или большего числа фракций.

Заполнитель должен состоять из зерен разного размера (разных фракций), при этом количество крупных, средних и мелких зерен (т.е. зерновой состав заполнителя) устанавливается таким образом, чтобы зерна меньшего размера располагались в пустотах между крупными. Чем компактнее расположены зерна заполнителей, тем меньше объем пустот.

В зависимости от формы зерен устанавливается три группы щебня из натурального камня: кубовидная, улучшенная и обычная. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в них не превышает соответственно 15, 25 и 35 % по массе. К пластинчатым и игловатым зернам относят такие, в которых толщина или ширина меньше длины в 3 и более раза.

Содержание пылевидных и глинистых частиц допускается не более 1 %.

Зерновой состав крупного заполнителя устанавливают с учетом наибольшего  $D$  и наименьшего  $d$  размеров зерен щебня или гравия. Наибольший размер зерен при бетонировании железобетонных балок, колонн, рам должен быть не более  $3/4$  наименьшего расстояния между стержнями арматуры, а для плит перекрытий и покрытий — не более  $1/2$  толщины плиты.

**Вода**, применяемая для получения бетонной смеси и поливки бетона, не должна содержать вредных примесей, препятствующих схватыванию и твердению вяжущего вещества. Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную питьевую воду, а также природную воду (рек, естественных водоемов), имеющую водородный показатель рН не менее 4, содержащую не более 5000 мг/л минеральных солей. Не допускается применять болотные, а также сточные бытовые и промышленные воды без их очистки.

### 7.3. Бетонная смесь

**Бетонной смесью** называют рационально составленную и тщательно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Состав бетонной смеси определяют, исходя из требований к самой смеси и к бетону.

По своему строению бетонная смесь представляет систему, в которой зерна заполнителя покрыты оболочками из цементного теста.

Независимо от вида бетона бетонная смесь должна удовлетворять двум главным требованиям: обладать хорошей удобоукладываемостью, соответствующей применяемому способу уплотнения, и сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении.

При изготовлении железобетонных изделий и бетонировании монолитных конструкций самым важным свойством бетонной смеси является *удобоукладываемость* (или *удобоформуемость*), т.е. способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя свою однородность. Для оценки удобоукладываемости используют два показателя: подвижность и жесткость бетонной смеси.

Подвижные смеси оседают под действием собственной массы.

Подвижность смеси определяют с помощью стандартного конуса (рис. 8) по вели-

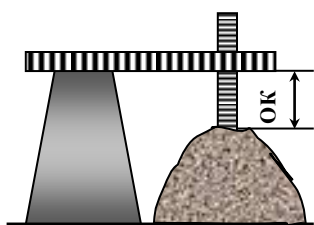


Рис. 8 Определение подвижности бетонной смеси

чине осадки конуса (ОК) следующим образом. Конус заполняют бетонной смесью в три слоя одинаковой высоты с 25 штыкованиями каждого слоя. После заполнения стального конуса его вертикально снимают и ставят рядом с бетонным конусом, который оседает и распыляется. С помощью двух линеек определяют величину осадки конуса в см, она и является подвижностью смеси.

Жесткие бетонные смеси при снятии конуса не оседают. Поэтому для их уплотнения требуется значительное механическое воздействие – вибрация, прессование, вибропрессование.

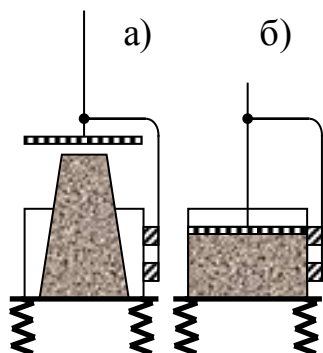


Рис. 9 Определение жесткости бетонной смеси:

а - до вибрации;  
б - после вибрации

Жесткость смеси тоже определяют с помощью стандартного конуса (рис. 9) по времени виброуплотнения смеси следующим образом. Конус помещают в стальной цилиндр, установленный на вибростоле, заполняют бетонной смесью и уплотняют так же как при определении подвижности смеси. Затем снимают стальной конус (рис. 9а) включают вибрацию и одновременно секундомер. Когда смесь перераспределится и уплотнится в цилиндре (рис. 9б), секундомер выключают. Полученное время в сек и является показателем жесткости смеси.

Важным свойством бетонной смеси является связность.

**Связность** бетонной смеси обуславливает однородность строения и свойств бетона.

Если в бетонной смеси заполнить цементным раствором только пустоты между зернами крупного заполнителя, то получится очень жесткая бетонная смесь (рис. 10а).

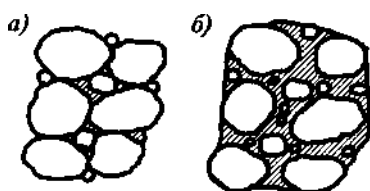


Рис.10. Структура бетонной смеси: а) жесткой; б) подвижной

Для придания ей подвижности необходимо раздвинуть зерна крупного заполнителя и окружить их оболочкой из растворной смеси, которая играет роль смазки, скрепляющей после отверждения зерна в камневидный монолит (рис. 10б). Следовательно, объем растворной части бетона следует принимать равным объему пустот в крупном заполнителе, умноженному на коэффициент раздвижки; он равен 1,05...1,15 для жестких смесей и 1,2...1,5 для подвижных смесей.

Очень важно сохранить однородность бетонной смеси при перевозке, укладке в форму и уплотнении. При уплотнении подвижных бетонных смесей происходит сближение составляющих ее зерен, при этом часть воды отжимается вверх. Уменьшение количества воды затворения при применении пластифицирующих добавок и повышение водоудерживающей способности бетонной смеси путем правильного подбора зернового состава заполнителей являются главными мерами борьбы с расслоением подвижных бетонных смесей.

*Пластификация бетонных смесей* осуществляется с помощью химических веществ: гидрофилизующих — ЛСТ, гидрофобизирующих — мылонафт и др., микропенооб-

разующих — омыленный древесный пек и т.п. и комплексных добавок. Разработаны новые химические добавки — суперпластификаторы, весьма значительно повышающие подвижность бетонной смеси. Все химические добавки являются модификаторами бетона. Добавки изменяют не только число пор, но и их размер, конфигурацию, равномерность распределения и др. В результате этого значительно уменьшается капиллярная пористость бетона.

*Суперпластификаторы* в большинстве случаев представляют собой синтетические полимеры: производные меламиновой смолы или нафталинсульфокислоты (С-3); другие добавки (СПД, ОП-7 и др.) получены на основе вторичных продуктов химического синтеза. Суперпластификаторы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,15...1,2 % от массы цемента, разжижают бетонную смесь в большей степени, чем обычные пластификаторы.

Пластифицирующий эффект сохраняется в течение 1...1,5 ч после введения добавки, а через 2...3 ч он уже невелик. В щелочной среде эти добавки переходят в другие вещества, безвредные для бетона и не снижающие его прочности.

Суперпластификаторы позволяют применять литьевой способ изготовления железобетонных изделий и бетонирования конструкций с использованием бетононасосов и трубного транспорта бетонной смеси. С другой стороны, эти добавки дают возможность существенно снизить В/Ц, сохраняя подвижность смеси, и изготавливать высокопрочные бетоны. Применение суперпластификаторов — значительный технический прогресс в технологии бетона.

#### **7.4. Основные свойства тяжелого бетона**

Качество затвердевшего бетона характеризуют следующие его свойства: прочность при сжатии, растяжении, растяжении при изгибе, усадка и набухание, водонепроницаемость, морозостойкость и др.

##### **7.4.1. Прочность бетона**

Важнейшим показателем качества бетона является его прочность. Лучше всего он сопротивляется сжатию. Поэтому конструкции проектируют таким образом, чтобы бетон воспринимал сжимающие нагрузки. И только в отдельных конструкциях учитывается прочность на растяжение или на растяжение при изгибе.

Прочность бетона характеризуется **классом или маркой**.

**Класс бетона** по прочности — это гарантированная его прочность с обеспеченностью 0,95. Для бетонов установлены следующие классы:

по прочности на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В65; В70; В75; В80;

по прочности на осевое растяжение: В(t) 0,4; В(t) 0,8; В(t) 1,2; В(t) 1,6; В(t) 2,0; В(t) 2,4; В(t) 2,8; В(t) 3,2; В(t) 3,6; В(t) 4,0;

по прочности на растяжение при изгибе: В(tb) 0,4; В(tb) 0,8; В(tb) 1,2; В(tb) 1,6; В(tb) 2,0; В(tb) 2,4; В(tb) 2,8; В(tb) 3,2; В(tb) 3,6; В(tb) 4,0; В(tb) 4,4; В(tb) 4,8; В(tb) 5,2; В(tb) 5,6; В(tb) 6,0; В(tb) 6,4; В(tb) 6,8; В(tb) 7,2; В(tb) 8,0.

Для бетонов установлены следующие марки:

по прочности на сжатие: М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500; М550; М600; М700; М800; М900; М1000;

по прочности на осевое растяжение: P(t) 5; P(t) 10; P(t) 15; P(t) 20; P(t) 25; P(t) 30; P(t) 35; P(t) 40; P(t) 45; P(t) 50;

по прочности на растяжение при изгибе: P(tb) 5; P(tb) 10; P(tb) 15; P(tb) 20; P(tb) 25; P(tb) 30; P(tb) 35; P(tb) 40; P(tb) 45; P(tb) 50; P(tb) 55; P(tb) 60; P(tb) 65; P(tb) 70; P(tb) 75; P(tb) 80; P(tb) 85; P(tb) 90; P(tb) 100.

**Марку бетона** по прочности на сжатие определяют путем испытания образцов-кубов (3 шт.) с размерами 15×15×15 см, которые должны 28 сут твердеть на воздухе при температуре 20 °С и относительной влажности 95...100 %.

Проектную марку бетона монолитных конструкций разрешается устанавливать при специальном обосновании в возрасте 90 или 180 сут в зависимости от сроков загрузки.

Соотношение между классами бетона и его марками по прочности на сжатие при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 %, представлено в табл. 9.

Таблица 9

Соотношение между классами и марками бетона по прочности при сжатии

Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности	Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона $R_{сж}$ , кгс/см <sup>2</sup>	Марка бетона по прочности
В 3,5	45,8	М50	В 30	392,9	М400
В 5	65,5	М75	В 35	458,4	М450
В 7,5	98,2	М100	В 45	589,4	М600
В 10	131,0	М150	В 50	654,8	М700
В 12,5	163,7	М150	В 55	720,3	М700
В 15	196,5	М200	В 60	785,8	М800
В 20	261,9	М250	В 65	851,5	М900
В 22,5	294,5	М300	В 70	917,0	М900
В 25	327,4	М350	В 75	932,5	М1000
В 27,5	359,9	М350	В 80	1048,0	М1000

**Закон прочности бетона.** Закон прочности бетона устанавливает зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона.

На прочность бетона влияет ряд факторов: активность цемента, содержание цемента, отношение воды к цементу по массе ( $B/C$ ), качество заполнителей и параметры технологии приготовления бетонной смеси и твердения бетона.

Прочность бетона при сжатии (потенциальная) может быть определена по формуле Болломея-Скрамаева. Для обычных бетонов с водоцементным отношением  $B/C = 0,4 \dots 0,7$  ( $C/B = 2,5 \dots 1,43$ ) формула имеет вид

$$R_b = A \cdot R_c (C/B - 0,5) . \quad (22)$$

Для высокопрочных бетонов, изготавливаемых с  $B/C < 0,4$  ( $C/B > 2,5$ ) зависимость будет следующей:

$$R_b = A_1 \cdot R_u (C/B + 0,5), \quad (23)$$

где  $R_u$  — активность (марка) цемента, кгс/см<sup>2</sup>;  $A$  и  $A_1$  — коэффициенты, учитывающие качество заполнителей и цемента;  $C$  и  $B$  — содержание цемента и воды, кг на 1 м<sup>3</sup> бетона.

*Активность цемента.* Между прочностью бетона и активностью цемента существует линейная зависимость  $R_b = f(R_u)$ . Более прочные бетоны получаются на цементах повышенной активности.

*Содержание цемента.* С повышением содержания цемента в бетоне прочность бетона растет до определенного предела. Затем она растет незначительно, другие же свойства бетона ухудшаются. Увеличивается усадка, ползучесть. Поэтому не рекомендуется вводить на 1 м<sup>3</sup> бетона более 600 кг цемента.

*Качество заполнителей.* Нерациональность зернового состава заполнителей, применение мелких заполнителей, наличие глины и мелких пылевидных фракций, органических примесей уменьшает прочность бетона. Прочность крупных заполнителей, сила их сцепления с цементным камнем влияет на прочность бетона.

*Водоцементное отношение.* Прочность бетона зависит от  $B/C$ . С уменьшением  $B/C$  она повышается, с увеличением — уменьшается. Это определяется физической сущностью формирования структуры бетона. При твердении бетона с цементом взаимодействует 15...20 % воды. Для получения же удобоукладываемой бетонной смеси вводится обычно 40...70 % воды ( $B/C = 0,4...0,7$ ). Избыточная вода образует поры в бетоне, которые снижают его прочность.

**Технологические факторы, влияющие на прочность бетона.** *Качество перемешивания, степень уплотнения бетонной смеси режим твердения* существенно влияют на прочность бетона.

Прочность бетона, приготовленного в бетоносмесителях принудительного смешивания, выше прочности бетона, приготовленного в гравитационных смесителях, на 20...30 %.

Качественное уплотнение бетонной смеси повышает прочность бетона, так как изменение средней плотности бетонной смеси на 1 % изменяет прочность на 3...5 %.

*Твердение бетона.* Прочность бетона нарастает в результате физико-химических процессов взаимодействия цемента с водой, которые нормально проходят в теплых и влажных условиях. Взаимодействие цемента с водой прекращается, если бетон высыхает или замерзает. Раннее высыхание и замерзание бетона непоправимо ухудшает его строение и свойства.

Бетон нуждается в уходе, создающем нормальные условия твердения, в особенности в начальный период после укладки (до 15...28 сут). В теплое время года влагу в бетоне сохраняют путем поливки и укрытия. На поверхность свежеложенного бетона наносят битумную эмульсию или его укрывают полиэтиленовыми и другими пленками.

Характер нарастания прочности бетонов, изготовленных на портландцементе и твердевших в нормальных условиях (во влажном воздухе с температурой 18...22 °С),

показан на рис. 11. Приблизительно можно считать, что прочность бетона со временем увеличивается примерно по логарифмическому закону:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}, \quad (24)$$

где  $R_n$  — прочность бетона в возрасте  $n$  сут;  $R_{28}$  — марка бетона;  $n$  — число дней твердения бетона.



Рис. 11. Нарастание прочности бетонов в нормальных условиях твердения

Эту формулу используют при ориентировочных расчетах времени распалубки. Более точно прочность бетона в промежуточные сроки твердения определяется по опытной кривой нарастания прочности бетона, которая может быть построена по результатам испытания образцов 3, 7, 28, 90 - суточного возраста. Бетон при нормальных условиях твердения имеет низкую начальную прочность и только через 7...14 сут приобретает 60...80 % марочной прочности. Прочность у 3-х месячных образцов примерно на 25 %, а у 12-месячных — на 75 % выше, чем  $R_{28}$ .

#### 7.4.2. Пористость и плотность бетона

Затвердевший бетон — пористый материал. Поры образует вода, не вступившая в гидратацию с цементом и введенная для получения удобоукладываемой бетонной смеси. Пористость определяется по формуле

$$П = [(B - \alpha Ц) / 1000] \times 100 \%, \quad (25)$$

где  $B$  и  $Ц$  — содержание воды и цемента, кг на  $1 \text{ м}^3$  бетона;  $\alpha$  — химически связанная вода, количество ее принимается 0,15 от массы цемента через 28 суток отвердения.

Уменьшить пористость и соответственно повысить плотность бетона можно понижением  $B/Ц$ , применением цементов с более плотным цементным камнем, качественным уплотнением бетонной смеси, созданием благоприятных температурно-влажностных условий твердения.

От плотности бетона зависит его прочность, водонепроницаемость, и, соответственно, долговечность.

#### 7.4.3. Морозостойкость бетона

Морозостойкость бетона определяют путем попеременного замораживания в холодильной камере при температуре  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$  от и оттаивания в воде при температуре  $+15...20 \text{ }^\circ\text{C}$  бетонных образцов кубов с размерами ребра 10, 15 или 20 см. Контрольные образцы, предназначенные для испытания на сжатие в эквивалентном возрасте, хранят в воде при температуре  $+15...20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

За марку бетона по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы. При этом сни-

жение прочности на сжатие должно быть не более 15 % по сравнению с прочностью контрольных образцов. У дорожного бетона кроме прочности контролируется потеря массы, которая должна быть не более 5 %. По морозостойкости бетон подразделяют на марки F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800 и F1000. Марка назначается в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации.

Морозостойкость бетона зависит от характера пористости и качества примененных материалов. Объем капиллярных пор оказывает решающее влияние на водопроницаемость и морозостойкость бетона, поэтому уменьшение капиллярной пористости бетона повышает его морозостойкость. Это достигается снижением водоцементного отношения, введением в бетонную смесь химических добавок, позволяющих уменьшить ее водопотребность и снизить расход воды, применением незагрязненных заполнителей оптимального состава с минимальной водопотребностью, качественным уплотнением бетонной смеси, а также замораживанием бетона в более позднем возрасте.

Морозостойкость бетона значительно возрастает, когда капиллярная пористость составляет менее 7 %.

Повысить морозостойкость бетона можно изменением характера пористости. Достигается это введением в бетонную смесь воздухововлекающих добавок. Необходимо создать 4...6 % очень мелких воздушных резервных пор, не заполняемых водой при обычном насыщении, но заполняемых под давлением замерзающей воды. Наиболее эффективны гидрофобные воздухововлекающие добавки ГКЖ-10, ГКН-11, которые уменьшают водопоглощение бетона.

Существенное влияние на морозостойкость бетона оказывает вид применяемого цемента. Наибольшую морозостойкость имеют бетоны на портландцементе без минеральных добавок с содержанием минерала С<sub>3</sub>А до 5 %. Их применяют для гидротехнических сооружений зоны переменного уровня воды в суровых климатических условиях.

Бетоны на цементах сложного вещественного состава имеют пониженную морозостойкость. Особенно пуццолановый портландцемент с активными добавками осадочного происхождения.

#### **7.4.4. Водонепроницаемость бетона**

**Водонепроницаемостью** бетона называют способность его не пропускать воду под давлением. Она важна для гидротехнических сооружений, резервуаров для хранения воды. По степени водонепроницаемости бетон подразделяют на марки W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18 и W20, причем марка обозначает давление воды (кгс/см<sup>2</sup>), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду в условиях стандартного испытания.

С уменьшением объема капиллярных макропор снижается водонепроницаемость бетона. Для уменьшения водонепроницаемости в бетон при его изготовлении вводят уплотняющие (алюминат натрия) и гидрофобизирующие добавки. Нефтепродукты (бензин, керосин и др.) имеют меньшее, чем у воды, поверхностное натяжение, поэтому они легче проникают через обычный бетон. Для снижения фильтрации нефтепродуктов в бетонную смесь можно вводить специальные добавки (хлорное железо и др.). Проницаемость бетона по отношению к воде и нефтепродуктам резко уменьшается, если вместо обычного портландцемента применяют расширяющийся.

Пуццолановый портландцемент за счет заполнения пор пуццолановыми добавками и их набухания также повышает водонепроницаемость бетонов. Можно вводить пуццолановые добавки непосредственно в бетонную смесь.

С возрастом увеличивается количество гидратных новообразований, заполняющих макропоры. При этом водонепроницаемость повышается в значительной степени.

Воздухововлекающие добавки изменяют характер пористости. Поры становятся закрытыми и более водонепроницаемыми.

#### 7.4.5. Деформативные свойства бетона

Под нагрузкой бетон ведет себя иначе, чем сталь и другие упругие материалы. Конгломератная структура бетона определяет его поведение при возрастающей нагрузке осевого сжатия.

Область условно упругой работы бетона – от начала нагружения до напряжения сжатия, при котором по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины.

При небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация, подобная деформации пружины. Если напряжение превосходит 20 % от предела прочности, то наблюдается заметная остаточная (пластическая) деформация. Тогда полную деформацию бетона можно представить как сумму упругой и пластической деформаций.

**Модуль упругости** бетона возрастает при увеличении прочности и зависит от пористости: увеличение пористости бетона сопровождается снижением модуля упругости. При одинаковой марке по прочности модуль упругости легкого бетона на пористом заполнителе в 1,7...2,5 раза меньше, чем у тяжелого бетона. Еще ниже модуль упругости ячеистого бетона. Таким образом, упругими свойствами бетона можно управлять, регулируя его структуру.

Модуль упругости бетона при сжатии принимают равным модулю упругости бетона при растяжении, т.е.:  $E_{сж} = E_p$ .

**Ползучестью** называют явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной статической нагрузки (рис. 12). Таким образом, полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки складывается из его начальной ("мгновенной") упругой деформации и пластической деформации ползучести.

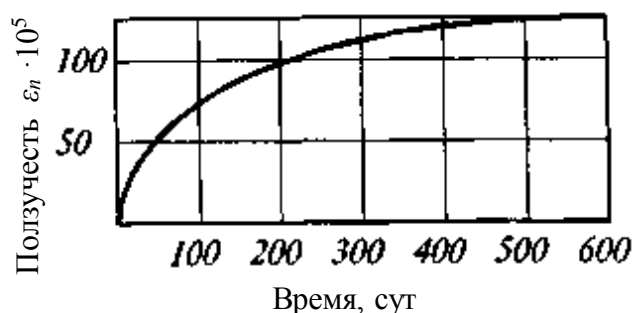


Рис. 12. Развитие ползучести во времени

Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, условий твердения и влажности. Меньшая ползучесть наблюдается при применении высокомарочных цемента и плотного заполнителя (щебня) из изверженных горных пород. Пористый заполнитель усиливает ползучесть, поэтому легкие бетоны имеют большую ползучесть по сравнению



с тяжелыми. С увеличением В/Ц ползучесть бетона при прочих равных условиях возрастает, так как бетон становится более пористым. При одинаковом В/Ц большая ползучесть наблюдается у бетона с более высоким содержанием цемента. В бетоне, нагруженном в раннем возрасте, проявляется гораздо большая ползучесть, чем в позднем возрасте.

На ползучесть влияет климат: замечено ее усиление в теплом и сухом воздухе. Преждевременное высыхание бетона ухудшает структуру и увеличивает его ползучесть. Однако насыщение водой затвердевшего бетона может также вызывать рост ползучести.

Ползучесть и связанная с ней релаксация напряжений может играть отрицательную роль. Например, ползучесть бетона приводит к потере натяжения в предварительно напряженных железобетонных конструкциях.

#### 7.4.6. Усадка и набухание бетона

При твердении на воздухе бетон сжимается и линейные размеры бетонных элементов сокращаются, т.е. происходит усадка бетона.

Вследствие усадки бетона в железобетонных и бетонных конструкциях возникают усадочные напряжения, поэтому сооружения большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. Ведь при усадке бетона 0,3 мм/м в сооружении длиной 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Массивный бетон

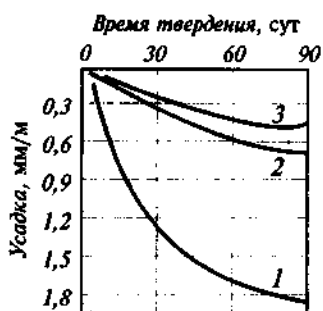


Рис. 13 . Кривые усадки:  
1 - цементного камня;  
2 - раствора; 3 - бетона

высыхает снаружи, а внутри он еще долго остается влажным. Неравномерная усадка вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции и появление внутренних трещин на контакте с заполнителем и в самом цементном камне.

Для снижения усадочных напряжений и сохранения монолитности конструкций стремятся уменьшить усадку бетона. Наибольшую усадку имеет цементный камень. Введение заполнителя уменьшает количество вяжущего в единице объема материала, при этом образуется своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка цементного раствора и бетона меньше, чем цементного камня (рис. 13).

#### 7.4.7. Теплофизические свойства бетона

Теплопроводность - наиболее важная теплофизическая характеристика бетона, в особенности, применяемого в ограждающих конструкциях зданий.

Теплопроводность тяжелого бетона в воздушно-сухом состоянии 1,2 Вт/(м·°С), т.е. она в 2...4 раза больше, чем у легких бетонов. Высокая теплопроводность является недостатком тяжелого бетона. Панели наружных стен из тяжелого бетона изготавливают с внутренним слоем утеплителя.

Теплоемкость тяжелого бетона изменяется в пределах 0,75...0,92 кДж/(кг ·°С). Линейный коэффициент температурного расширения бетона составляет около  $10 \cdot 10^{-6}$  °С,

следовательно, при увеличении температуры на 50 °С расширение достигает примерно 0,5 мм/м. Во избежание растрескивания сооружений большой протяженности разрезают температурно-усадочными швами.

Крупный заполнитель и раствор, составляющие бетон, имеют различный коэффициент температурного расширения и будут по-разному деформироваться при изменении температуры.

Большие колебания температуры (более 80 °С) смогут вызвать внутреннее растрескивание бетона вследствие различного теплового расширения крупного заполнителя и раствора. Характерные трещины распространяются по поверхности заполнителя, некоторые из них образуются в растворе, а иногда и в слабых зернах заполнителя. Внутреннее растрескивание можно предотвратить, если позаботиться о подборе составляющих бетона с близкими коэффициентами температурного расширения.

Поэтому важнейшим требованием к составу бетона является ограничение величины  $V/C = 0,4...0,55$  в зависимости от марки бетона и местонахождения сооружения.

## 7.5. Легкие бетоны

### 7.5.1. Бетоны на пористых заполнителях

Снизить высокую среднюю плотность бетона можно применением пористого заполнителя вместо плотного и поризацией цементирующего слоя.

*Неорганические пористые заполнители* отличаются большим разнообразием, их разделяют на природные и искусственные. Природные пористые заполнители получают путем частичного дробления и отсева горных пород (пемзы, вулканического туфа, известняка-ракушечника и др.). Искусственные пористые заполнители являются продуктами термической обработки минерального сырья и разделяются на специально изготовленные и побочные продукты промышленности (металлургические шлаки и др.).

*Керамзитовый гравий* получают путем обжига гранул, приготовленных из легко вспучивающихся глин. Это легкий и прочный заполнитель насыпной плотностью 250...800 кг/м<sup>3</sup>. В изломе гранула керамзита имеет структуру застывшей пены. Спекшаяся оболочка, покрывающая гранулу, придает ей высокую прочность.

Керамзит, обладающий высокой прочностью и легкостью, является основным видом пористого заполнителя.

*Керамзитовый песок* (зерна до 5 мм) получают при производстве керамзитового гравия (правда, в небольших количествах), также его можно получать дроблением зерен гравия.

*Шлаковую пемзу* изготавливают путем быстрого охлаждения расплава металлургических (обычно доменных) шлаков, приводящего к вспучиванию. Куски шлаковой пемзы дробят и отсеивают, получая пористый щебень.

*Гранулированный металлургический шлак* получают в виде крупного песка с по-

ристыми зернами размером 5...7 мм, иногда до 10 мм.

*Вспученный перлит* изготавливают путем обжига водосодержащих вулканических стеклообразных пород (перлитов, обсидианов). При температуре 950...1200 °С вода выделяется и перлит увеличивается в объеме 10...20 раз.

*Вспученный вермикулит* – пористый сыпучий материал, полученный путем обжига водосодержащих слюд.

*Аглопорит* получают при обжиге глиносодержащего сырья (с добавкой 8...10 % топлива) на решетках агломерационных машин. Каменный уголь выгорает, а частицы сырья спекаются. Аглопорит выпускают в виде пористого песка, щебня и гравия.

*Шунгизит* изготавливают обжигом шунгитовых сланцевых пород.

Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов используют и органические заполнители, приготовленные из древесины, стеблей хлопчатника, костры, гранул пенополистирола, стекловолокна, пенопропиленовых фибр и др.

*Пористые заполнители* делят на крупные (пористый гравий или щебень) с размером кусков 5...40 мм и мелкие (пористый песок), состоящие из частиц размером менее 5 мм. Пористый песок рассеивают на две фракции — до 1,2 мм (мелкий песок) и 1,2...5 мм (крупный песок). Пористый щебень (гравий) делят на фракции 5...10, 10...20, 20...40 мм.

*По насыпной плотности* в сухом состоянии (кг/м<sup>3</sup>) пористые заполнители разделяют на марки 250-1100.

Пористый гравий, щебень и песок периодически должны испытывать на *теплопроводность* и *радиационно-гигиеническую оценку*.

*Прочность легкого бетона* зависит от марки цемента, цементно-водного отношения, прочности пористого заполнителя.

Наивыгоднейшее сочетание показателей плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для легких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что возможно только при правильном подборе зернового состава смеси мелкого и крупного пористых заполнителей, а также при использовании технологических факторов (интенсивного уплотнения, пластификаторов и др.).

**Свойства легкого бетона на пористых заполнителях.** Качество легкого бетона оценивают двумя важнейшими показателями: классом по прочности и маркой по средней плотности. Легкий бетон плотной структуры по прочности на сжатие (МПа) имеет классы В2,5...В40, по прочности на осевое растяжение (МПа) — В0,8...В3,2. Для теплоизоляционных бетонов предусматриваются классы В0,35, В0,75, В1.

Для легких бетонов, запроектированных без учета классов, показатели прочности (кгс/см<sup>2</sup>) характеризуют марками М35-М500.

Для изготовления высокопрочных легких бетонов (имеющих плотность 1600...1800 кг/м<sup>3</sup>) применяют прочный пористый заполнитель (с насыпной плот-

ностью 600...800 кг/м<sup>3</sup>), а пористый песок частично или полностью заменяют плотным.

Важной характеристикой легкого бетона является плотность.

В зависимости от плотности в сухом состоянии (кг/м<sup>3</sup>) легкие бетоны подразделяются на марки Д200...Д2000.

В зависимости от назначения лёгкие бетоны делят на следующие группы: функциональные с плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>; конструкционно-функциональные (для ограждающих конструкций зданий) с плотностью 500...1400 кг/м<sup>3</sup>; конструкционные с плотностью 1400...1800 кг/м<sup>3</sup>.

Уменьшить плотность легких бетонов можно путем поризации цементного камня.

*Теплопроводность* легких бетонов зависит от плотности и влажности. Увеличение влажности легкого бетона на 1 % повышает теплопроводность на 0,016...0,035 Вт/(м · °С).

Легкие бетоны, применяемые для наружных стен, покрытий зданий, а также для конструкций мостов, гидротехнических сооружений, должны обладать определенной морозостойкостью.

По *морозостойкости* легкие бетоны делят на марки F25-F500; по *водонепроницаемости* – на марки W0,2-W2,5. Для наружных стен обычно применяют бетоны с морозостойкостью не менее 15-25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Возможность получения легких бетонов с высокой морозостойкостью и малой водопроницаемостью значительно расширяет области их применения.

*Водонепроницаемость* плотных конструкционных легких бетонов может быть высокой. Это подтверждается долговременной эксплуатацией возведенных из них гидротехнических сооружений (например, в Армении и Грузии). Характерно, что со временем водонепроницаемость легких бетонов повышается.

### **7.5.2. Крупнопористый бетон**

В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 5...20 мм, портландцемент или шлакопортландцемент М300-М400 и вода. За счет исключения песка из состава крупнопористого бетона его плотность уменьшается примерно на 600...700 кг/м<sup>3</sup> и составляет 1700...1900 кг/м<sup>3</sup>. Отсутствие песка и ограниченный расход цемента (70...150 кг/м<sup>3</sup>) позволяют получить пористый бетон с теплопроводностью 0,55...0,8 Вт/(м · °С) и марками М15-М75. Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготавливают крупные стеновые блоки.

Крупнопористый бетон на пористом заполнителе (керамзите и т.п.) имеет небольшую плотность (500...700 кг/м<sup>3</sup>) и используется как теплоизоляционный материал.

### **7.5.3. Гипсобетон**

*Гипсобетон* изготавливают на основе строительного гипса, высокопрочного гипса и др. Для уменьшения плотности стремятся применять пористые заполнители (керамзитовый гравий, шлаковую пемзу и т.п.). Для повышения прочности на изгиб и уменьшения

хрупкости в состав гипсобетона вводят волокнистые наполнители (древесные волокна, измельченную бумажную массу и т.п.).

Плотность гипсобетонов в зависимости от применяемого заполнителя и водоцементного отношения составляет 1000...1600 кг/м<sup>3</sup>, а марки – М25 и М50.

Гипсобетон широко применяют для изготовления сплошных и пустотелых плит перегородок. Изделия изготовляют способом непрерывного вибропроката на специальных станах. Затвердевшие изделия высушивают в сушильных камерах.

#### 7.5.4. Ячеистые бетоны

*Ячеистые бетоны* получают из смеси вяжущего и газо- или пенообразующих добавок, в которой отсутствуют крупные заполнители, а иногда и песок. При твердении смеси ячеистого бетона получают высокопористый каменный материал с равномерно распределенными воздушными порами (до 85 % от общего объема бетона) в виде замкнутых ячеек, заполненных воздухом или газом.

*По виду порообразования* различают газобетоны и пенобетоны. Во-первых вспучивание бетонной смеси осуществляют введением газообразователя, во вторых — пенообразователя. Образовавшиеся поры представляют собой замкнутые ячейки диаметром 1...2 мм, разделенные тонкими стенками затвердевшего цементирующего вещества.

*Пенобетон* готовят смешиванием цементного теста или раствора с отдельно приготовленной устойчивой пеной.

Пену готовят путем энергичного перемешивания пенообразователя с водой. Применяют клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфо-нафтенный и синтетические пенообразователи. Стабилизаторами пены служат добавки раствора животного клея, жидкого стекла. Полученная пена имеет устойчивую структуру и хорошо смешивается с цементным тестом или раствором.

Пенобетонную смесь готовят в пенобетоносмесителях. Затем ее разливают в металлические формы и направляют в пропарочные камеры или автоклавы, где происходит затвердевание изделий.

*Газобетон* готовят из смеси цемента (иногда с добавкой извести), кремнеземистого компонента и воды с введением в уже перемешанную смесь газообразователя. Наиболее распространенный газообразователь — тонкодисперсный алюминиевый порошок (пудра). После разлива смеси в формы, в результате химического взаимодействия алюминия с гидроксидом кальция, происходит процесс газообразования. Выделяющийся водород вспучивает цементное тесто, придавая ему ячеистую структуру.

После вызревания в формах газобетон обычно подвергают ускоренному твердению в автоклавах. Применяя автоклавную обработку, можно не только обеспечить получение изделий с высокой прочностью, но и значительно снизить расход цемента путем частичной или полной замены его известью. В последнем случае получают *газосиликаты*.

Ячеистые бетоны хорошо поддаются сверлению и распиливанию, в них можно легко забивать гвозди.

**Свойства ячеистого бетона.** Прочность и плотность являются главными показателями качества ячеистого бетона. Плотность, колеблющаяся от 300 до 1200 кг/м<sup>3</sup>, косвенно характеризует пористость ячеистого бетона (соответственно 85...60 %).

Установлены следующие марки ячеистых бетонов по прочности при сжатии: М15, М25, М35, М50, М75, М100, М150. Классы по прочности на сжатие находятся в пределах В0,35-В12,5.

Водопоглощение и морозостойкость зависят от величины и характера пористости ячеистого бетона и плотности перегородок между макропорами (ячейками). Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости стремятся к созданию ячеистой структуры с замкнутыми порами.

Установлены следующие марки ячеистого бетона по морозостойкости: F15, F25, F35, F50, F75, F100. Для панелей наружных стен применяют ячеистый бетон марок F15, F25 в зависимости от влажности атмосферы в помещениях и климатических условий.

Теплопроводность ячеистого бетона зависит от плотности и влажности, например, при плотности 600 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность в сухом состоянии 0,14 Вт/(м · °С), при влажности 8 % — 0,22 Вт/(м · °С).

Ячеистый бетон плотностью 700...800 кг/м<sup>3</sup> имеет усадку 0,4...0,6 мм/м.

Применяют ячеистые бетоны для легких железобетонных конструкций и теплоизоляции. Из них изготовляют панели наружных стен и покрытий зданий, неармированные стеновые и теплоизоляционные блоки для стен. Конструкции из ячеистых бетонов долговечны в зданиях с сухим и нормальным режимами помещений при относительной влажности воздуха 60...75 %.

## **7.6. Особые виды бетона**

### **7.6.1. Высокопрочный бетон**

Высокопрочный бетон М600-М1000 получают на основе высокопрочного портландцемента, промытого песка и щебня не ниже М1200-М1400.

Малоподвижные и жесткие смеси готовят с низкими В/Ц = 0,27...0,45 в бетоносмесителях принудительного действия. Для плотной укладки этих смесей при формировании изделий и конструкций используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование и т.п. Уплотнение облегчают суперпластификаторы.

Высокопрочные бетоны являются, как правило, и быстротвердеющими. Однако для ускоренного достижения отпускной прочности бетона в изделиях обычно требуется тепловая обработка. Новые особо быстротвердеющие цементы дают возможность обойтись без тепловой обработки, так как бетон достигает нужной прочности в естественных условиях твердения при температуре 20...25 °С.

Применение высокопрочных бетонов взамен бетона М400 позволяет уменьшить расход арматурной стали на 10...12 % и сократить объем бетона на 10...30 %.

### 7.6.2. Гидротехнический бетон

*Гидротехнический бетон* предназначается для конструкций, находящихся в воде или периодически соприкасающихся с водой, поэтому он должен обладать свойствами, необходимыми для длительной нормальной службы в данных условиях.

Гидротехнический бетон должен иметь минимальную стоимость и удовлетворять требованиям по прочности, долговечности, водостойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, тепловыделению при твердении, усадке и трещиностойкости. В гидротехническом сооружении можно выделить наружную зону, подвергающуюся непосредственному влиянию среды, и внутреннюю зону.

Бетон наружной зоны делят на бетон подводный (находящийся постоянно в воде), бетон переменного уровня воды и бетон надводный, находящийся выше уровня воды.

В суровых условиях бетон, расположенный в зоне переменного уровня воды, многократно замерзает и оттаивает, находясь все время во влажном состоянии. Это относится к бетону водосливной грани плотин, морских сооружений (причалов, пирсов, молов и т.д.), градирен, служащих для охлаждения оборотной воды на тепловых электростанциях, предприятиях металлургической и химической промышленности. Этот бетон должен обладать высокой плотностью и морозостойкостью. Правильный выбор цемента, применение морозостойких заполнителей, подбор состава плотного бетона и тщательное производство бетонных работ обеспечивают получение долговечного бетона.

*Бетон внутренней зоны* массивных конструкций защищен наружным бетоном от непосредственного воздействия среды. Главное требование к этому бетону - минимальная величина тепловыделения при твердении, так как неравномерный разогрев массива может вызвать образование температурных трещин. Малое тепловыделение имеет шлакопортландцемент, поэтому его и применяют для внутримассивного бетона наряду с пуццолановым портландцементом; эти цемента экономичнее портландцемента и к тому же хорошо противостоят выщелачиванию  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Требования к физико-механическим свойствам бетона внутренней зоны не столь высоки: марки по прочности М100, М150, по водонепроницаемости W2, W4.

Стойкость бетона к воздействиям среды определяется комплексом его свойств: морозостойкостью, малым водопоглощением, небольшими деформациями усадки.

Марку бетона по морозостойкости назначают в зависимости от климатических условий и числа расчетных циклов попеременного замораживания и оттаивания в течение года. Установлены следующие марки гидротехнического бетона по морозостойкости: F100, F150, F200, F300, F400, F500.

Водопоглощение гидротехнического бетона характеризуется величиной капиллярной всасываемости при погружении в воду образцов 28-суточного возраста, высушенных до постоянной массы при температуре 105 °С. Водопоглощение бетона зоны переменного уровня воды не должно превышать 5 % (от массы высушенных образцов), для бетонов других зон - не более 7 %.

### 7.6.3. Дорожный бетон

*Дорожный бетон* предназначен для оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Покрытие работает на изгиб как плита на упругом основании, поэтому основной прочностной характеристикой бетона является проектная марка на растяжение при изгибе.

Крупный заполнитель (щебень, гравий, щебень из шлака) обязательно проверяют на износостойкость: она нормируется в соответствии с назначением бетона.

Бетон дорожных покрытий подвергается совместному действию воды и мороза при одновременном влиянии солей, использующихся для предотвращения обледенения и облегчения очистки дорог от льда. Поэтому бетон однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий должен иметь необходимую морозостойкость: в суровом климате — не ниже 200; в умеренном — 150; в мягком — 100.

Чтобы получить морозостойкий бетон, применяют портландцемент М500 с содержанием трехкальциевого алюмината не более 10 %, гидрофобный и пластифицированный портландцементы, а В/Ц бетона ограничивают пределом 0,5...0,55. Бетон оснований дорожных покрытий изготавливают на портландцементе М300 и М400 и шлакопортландцементе.

### 7.6.4. Декоративные бетоны

*Декоративные бетоны* применяют для архитектурной отделки конструктивных элементов зданий и сооружений — стен, полов, лестниц, разделительных полос дорожных покрытий и др. В их состав входят цветные или белые цементы, пигменты и цветные заполнители. Пигменты должны быть щелоче- и светостойкими. Их допускается вводить не более 8...10 % от массы цемента. Обычные портландцементы с пигментами применяют для бетонов темных тонов, белые — для светлых. Заполнители изготавливают из цветных горных пород: мрамора, красного и розового гранитов, сиенита, лабрадорита и др. Для получения фактуры поверхность заполнителей обнажают.

Бетон, применяемый для наружной отделки зданий, должен быть долговечным.

### 7.6.5. Жаростойкий бетон

*Жаростойкий бетон* предназначается для промышленных агрегатов (облицовки котлов, футеровки печей и т.п.) и строительных конструкций, подверженных нагреванию (например, для дымовых труб).

При действии высокой температуры на цементный камень происходит обезвоживание кристаллогидратов и разложение гидроксида кальция с образованием СаО. Оксид кальция при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонкоизмельченные материалы (пемза, зола, доменный шлак, шамот), содержащие активный кремнезем  $\text{SiO}_2$ , который реагирует с СаО при температуре 700...900 °С и связывает химически оксид кальция.

Шлакопортландцемент уже содержит добавку доменного гранулированного шлака и может успешно применяться при температурах до 700 °С.

Бетон на жидком стекле хорошо противостоит кислотной коррозии и сохраняет



свою прочность при нагреве до 1000 °С.

Еще большей огнеупорностью (не ниже 1580 °С) обладает высокоглиноземистый цемент, в сочетании с высокоогнеупорным заполнителем его применяют при температурах до 1700 °С.

Бетоны на фосфатных и алюмофосфатных связующих (фосфорная кислота  $H_3PO_4$ , алюмофосфаты  $Al(H_2PO_4)_3$ ) позволяют достигнуть высокой огнеупорности (до 1700 °С), они имеют небольшую огневую усадку, хорошо сопротивляются истиранию.

Заполнитель для жаростойкого бетона должен быть не только стойким к высоким температурам, но и обладать равномерным температурным расширением. Для жаростойкого бетона, применяемого при температурах до 700 °С, можно использовать изверженные горные породы как плотные (сиенит, диорит, диабаз, габбро), так и пористые (пемза, вулканические туфы, пеплы). Для бетона, работающего при температурах 700...900 °С, следует применять бой керамического кирпича и доменные шлаки.

*Легкий жаростойкий бетон* на пористом заполнителе имеет плотность менее 2100 кг/м<sup>3</sup>, его теплопроводность в 1,5...2 раза меньше, чем у тяжелого бетона. Применяют пористые заполнители, выдерживающие действие температур 700...1000 °С: керамзит, вспученный перлит, вермикулит, вулканический туф.

*Ячеистый жаростойкий бетон* отличается низкой плотностью (500...1200 кг/м<sup>3</sup>) и малой теплопроводностью.

Сборные элементы и монолитные конструкции из жаростойкого бетона широко применяют в различных отраслях промышленности: энергетической, металлургии (черной и цветной), в химической и нефтеперерабатывающей, в производстве строительных материалов для температур 800...1400 °С, а также свыше 1400 °С.

#### **7.6.6. Кислотоупорный бетон**

Вязущим для *кислотоупорного бетона* является жидкое стекло. Для повышения плотности бетона вводят наполнители: кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабазы и т.п. В качестве отвердителя используют кремнефтористый натрий ( $Na_2SiF_6$ ), в качестве заполнителя – кварцевый песок, щебень из гранита, кварцита, андезита и других стойких пород.

После укладки с вибрированием бетон выдерживает не менее 10 сут на воздухе (без поливки) при 15...20 °С. После отвердения рекомендуется поверхность бетона "окислить", т.е. смочить раствором серной или соляной кислот. Кислотоупорный бетон хорошо выдерживает действие концентрированных кислот; вода разрушает его за 5...10 лет, щелочные растворы разрушают быстрее.

Кислотоупорный бетон применяют в качестве защитных слоев (футеровок) по железобетону и металлу.

#### **7.6.7. Бетон для защиты от радиоактивного воздействия**

Материалы, применяемые для *бетона радиоактивной защиты*, должны обеспе-

чить возможно большую плотность бетона и определенное содержание водорода — обычно в виде воды, связанной с вяжущим.

Применяют особо тяжелые бетоны, имеющие марки по прочности М100, М200 и М300. Вяжущими служат поргланцементы, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент и др. В качестве заполнителей применяют материалы повышенной плотности — барит, лимонит, магнетит, чугунный скрап, обрезки стали, на которых можно получить бетон со средней плотностью от 2800 до 5000 кг/м<sup>3</sup>. Для улучшения защитных свойств в их состав вводят добавки карбида бора, хлорида лития, сернокислого кадмия, содержащих легкие элементы — водород, литий, кадмий, бор. При более высоких температурах заполнителем служат *огнеупорные материалы*: кусковой шамот, хромитовая руда, бой шамотных, хроммагнезитовых и других огнеупорных изделий.

#### **7.6.8. Мелкозернистый бетон**

*Мелкозернистый бетон* — бетон, у которого крупность заполнителя не превышает 10 мм. Применяют его при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций. Свойства мелкозернистого бетона характеризуются теми же факторами, что и свойства обычного бетона. Однако из-за отсутствия крупного заполнителя увеличивается водопотребность бетонной смеси, и чтобы получить равнопрочный бетон и равноподвижную бетонную смесь расход цемента возрастает на 20...40 % по сравнению с обычным бетоном. Снижение расхода цемента возможно за счет применения высококачественного песка, суперпластификатора, усиленного уплотнения.

Мелкозернистый бетон имеет повышенную прочность на изгиб, хорошую водонепроницаемость и морозостойкость. Мелкозернистый бетон применяют при устройстве противотрационных облицовок каналов и водоемов, строительстве различных емкостей, при изготовлении тонкостенных панелей и тротуарных плит, заделке деформационных швов гидротехнических сооружений и т. д. Для ремонта гидротехнических сооружений, аэродромных покрытий, облицовок каналов может использоваться быстро твердеющий мелкозернистый бетон на основе жидкого стекла.

#### **7.6.9. Бетон, упрочненный волокнами**

*Дисперсно-армированный бетон (фибробетон)* представляет собой композиционный материал, армированный дисперсными волокнами (фибрами).

Волокна должны быть стойкими в щелочной среде цементного раствора или бетона. В зависимости от конструкций применяют волокна: минеральные (стеклянные — из бесщелочного стекла, базальтовые, кварцевые и др.), металлические (преимущественно из обычной или нержавеющей стали), синтетические (пропиленовые, капроновые и др.).

Волокна препятствуют раскрытию трещин, уменьшают истираемость, повышают ударную вязкость бетона, прочность при растяжении, прочность сцепления стержневой арматуры с бетоном примерно на 40 %.

## 8. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

### 8.1. Общие сведения о железобетоне и его классификация

Как известно, бетон имеет существенный недостаток — он хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется изгибу и растяжению. Прочность бетона при растяжении составляет 1/10...1/15 его прочности на сжатие. Чтобы повысить прочность бетонных конструкций на изгиб и растяжение, в бетон укладывают стальную проволоку или стержни, называемые арматурой. *Арматура* в переводе с латинского означает “вооружение”, т.е. арматура “вооружает”, укрепляет бетон. Армированный бетон называют *железобетоном*.

Железобетонные изделия и конструкции изготавливают как с обычной, так и с предварительно напряженной арматурой. Обычный способ армирования (укладка стальных стержней в растянутую зону) не предохраняет конструкцию от появления в ней трещин, так как бетон обладает весьма незначительной растяжимостью. В эти трещины проникают влага и газы, которые вызывают коррозию арматуры; кроме того, с появлением трещин увеличивается прогиб конструкции. Значит, растянутую зону нужно сжать. Это достигается предварительным напряжением арматуры. Ее растягивают специальными устройствами и фиксируют на форме в растянутом состоянии. После бетонирования и затвердевания изделия фиксацию убирают, и стержни сжимаются, а вместе с ними, за счет сцепления, сжимается и бетон.

Преимуществами предварительно напряженного железобетона являются его повышенная трещиностойкость, хорошее сопротивление динамическим воздействиям.

Железобетонные изделия классифицируются по следующим признакам.

*По способу армирования.* В этом случае их делят на *бетонные* (не армированные) и *железобетонные* (армированные). Железобетонные конструкции, в свою очередь, подразделяют на предварительно напряженные и с обычным армированием.

*По способу выполнения* железобетонные конструкции могут быть *сборными*, из элементов заводского или полигонного изготовления, и *монолитными*, возводимыми непосредственно на месте строительства.

*По виду бетона.* Из обыкновенного (тяжелого) бетона изготавливают несущие конструкции (колонны, балки, ригеля, сваи, фермы, изделия фундаментов, блоки стен подвалов, плиты перекрытий и др.), воспринимающие в процессе эксплуатации значительные нагрузки. Из легкого бетона делают, как правило, ограждающие конструкции (стенные панели, панели перекрытий), так как он обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами.

*По массе* различают детали и конструкции, которые могут быть уложены на место посредством малой механизации, а также ручную, и крупногабаритные, которые транспортируют и монтируют при помощи мощных подъемно-транспортных средств.

### 8.2. Технология изготовления сборных железобетонных изделий

#### 8.2.1. Организация технологического процесса

Изготовление сборных железобетонных изделий включает следующие операции:

приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, армирование, формование и твердение бетона, извлечение готовых изделий из форм, подготовка форм к очередному циклу, отделка (при необходимости) поверхности изделий. Существует три метода организации производства: агрегатно-поточный, конвейерный и стендовый.

#### **8.2.1.1. Агрегатно-поточный способ производства**

При этом способе форма и изделие передвигаются к технологическим постам при помощи мостовых кранов. Основными постами являются: подготовительный, формовочный, тепловой обработки и распалубки изделий.

На подготовительном выполняют очистку, сборку и смазку форм, установку в формы арматурных деталей.

На формовочном производят укладку и уплотнение бетонной смеси, отделку поверхностей. Продолжительность формования зависит от вида формуемых изделий и составляет 5...20 мин.

На посту тепловой обработки происходит твердение бетона, после чего формы с изделиями извлекают из камеры и подают их на распалубку.

На участке распалубки выполняют извлечение изделий из форм, их осмотр, исправление дефектов, декоративную отделку, приемку ОТК, транспортирование на склад.

Агрегатно-поточный способ рекомендуется для мелкосерийного производства на заводах малой и средней мощности. Он позволяет быстро осуществлять переналадку оборудования. Им формуют плиты перекрытий и покрытий, колонны, сваи, фундаментные блоки, трубы, шпалы.

#### **8.2.1.2. Конвейерный способ производства**

При конвейерном способе производства формы перемещаются с помощью передаточных устройств с заданной скоростью в принудительном ритме движения. Тепловые агрегаты являются частью конвейерного кольца. Конвейерная технология применяется на выпуске однотипных изделий: панелей стен, плит перекрытий и др. На постах конвейерной линии последовательно выполняют следующие операции: подготовку формы, укладку в нее арматуры, бетонной смеси, распределение и уплотнение бетонной смеси, подачу в камеру тепловой обработки непрерывного действия, тепловую обработку, распалубку и отделку готового изделия.

#### **8.2.1.3. Стендовый и кассетный способы производства**

По стендовой технологии формование и твердение изделий выполняются на стендах без перемещения. Перемещаются материалы и формирующее оборудование от одной формы к другой. Эта технология целесообразна для изготовления крупногабаритных конструкций: ферм, балок и др.

При кассетном способе формования изделия изготавливаются в разъемных групповых формах в вертикальном положении. В них же происходит и твердение изделий. Этот способ применяют для изготовления панелей стен, перегородок, перекрытий.

### 8.2.2. Формование изделий

Формование железобетонных изделий включает укладку бетонной смеси в форму и ее уплотнение. Уплотнение производят вибрированием, прессованием, вибропрессованием и виброштампованием, вакуумированием, центрифугированием. Наиболее распространено вибрирование. Оно заключается в том, что составляющим бетонной смеси придают механические колебания. В результате силы трения между частицами уменьшаются и бетонная смесь превращается в тяжелую жидкость, способную течь и заполнять объем формы. Амплитуда колебаний зависит от размеров крупного заполнителя. При крупности 10, 30 и 40 мм оптимальная частота составляет 100, 50 и 33 Гц. Продолжительность вибрирования зависит от удобоукладываемости бетонной смеси и принимается от нескольких секунд до 3...5 мин.

Различают объемное, наружное, поверхностное и внутреннее уплотнение. Наиболее распространенным является объемное виброуплотнение, осуществляемое на виброплощадках. На них можно формовать разнообразные конструкции. Формование наружным вибрированием осуществляется через стенки форм жестко прикрепленными вибраторами. Этим способом формируют балки, фермы, панели перекрытий внутренних стен и др. При поверхностном виброуплотнении колебания передаются со стороны открытой плоскости при помощи вибрирующих плит, щитов. Внутреннее вибрирование осуществляется при помощи вкладышей. Этим способом формируют пустотелые плиты.

Прессование применяют при изготовлении мелкогабаритных изделий с использованием жестких смесей, для этого создают давление от 0,2 до 15 МПа. На этом принципе основано осевое и радиальное прессование при изготовлении труб, роликосное прессование.

При вибропрессовании на бетонную смесь воздействует вибрирование и давление до 0,5 МПа. Этот способ уплотнения применяют при изготовлении мелкогабаритных изделий из жестких смесей.

Вакуумирование совместно с вибрированием или прессованием применяют для формования изделий из подвижных смесей. Получаются изделия высокой плотности.

Центрифугирование используют при изготовлении трубчатых конструкций — труб, опор ЛЭП, колонн и др. Уплотнение происходит в результате центробежной силы, возникающей при вращении изделия со скоростью 400...900 об/мин.

### 8.2.3. Тепловая обработка бетона

В естественных условиях при температуре 20 °С бетон набирает допустимую минимальную отпускную прочность 50 % от марочной через 2...7 суток. Эти сроки неприемлемы при заводском изготовлении железобетонных изделий. Эффективным средством ускорения твердения бетона является тепловая обработка. При повышении температуры от 20 до 80 °С скорость твердения повышается в 8...10 раз.

Общий цикл тепловой обработки составляет от 7,5 до 24 ч. Чаще всего — 10...13 ч. Сюда входит предварительное выдерживание не менее 0,5 часа подъем температуры — 3 ч, изотермический прогрев при температуре 60...90 °С — 4 ч и охлаждение до температуры помещения — 2 ч.

При производстве сборных железобетонных изделий применяют различные способы тепловой обработки: пропаривание при атмосферном давлении пара, обработка в

автоклавах, электротермообработка. Самым распространенным способом ускоренного твердения бетона является пропаривание в камерах с температурой 60...90 °С при атмосферном давлении. Он применяется при выпуске 85 % изделий заводского изготовления. Применяют камеры периодического и непрерывного действия, чаще всего ямные камеры периодического действия. Камера закрывается крышкой с гидравлическим затвором. При конвейерном производстве изделий применяют камеры непрерывного действия — туннельные, щелевые.

Тепловую обработку в автоклавах ведут при температуре пара 175...200 °С и давлении 0,8...1,2 МПа. Этот способ в основном применяют для изделий из силикатного ячеистого бетона.

Контактный обогрев происходит через плотные непроницаемые перегородки. На таком принципе работают кассетные установки и горизонтальные термоформы. Теплоносителем служит пар, газ или горячая вода. В кассетах изготавливают плоские изделия для жилищного строительства, в основном, стеновые панели.

Электротермообработка осуществляется электродным прогревом (электропрогрев), обогревом электронагревателями (электрообогрев) и нагревом в электромагнитном поле.

При электродном прогреве через бетон пропускают переменный электрический ток, который подается металлическими электродами, расположенными внутри или на поверхности изделий. Бетон является сопротивлением, в котором электрическая энергия превращается в тепловую.

Электрообогрев осуществляется высокотемпературными и низкотемпературными нагревателями. Высокотемпературные создают температуру более 250 °С. Это ламповые термоизлучатели, спирали, ТЭНы, коксальные нагреватели и др. К низкотемпературным относят сетчатые, проволочные нагреватели, греющие шнуры и др.

При индукционном способе изделие помещают в переменное магнитное поле, создаваемое индукционной обмоткой. При этом в ферромагнитном металле и в замкнутых контурах формы и арматуры индуктируются вихревые токи и образуется теплота, которая нагревает бетон.

#### **8.2.4. Коррозия арматурной стали в бетоне**

Одним из существенных недостатков железобетона является коррозия арматурной стали. Коррозионный процесс заключается в растворении металла. Он носит преимущественно электрохимический характер и протекает на границе «металл — раствор электролита».

Поровое пространство бетона частично заполнено водой с растворенными в ней солями, щелочами, газами, т.е. является электролитом, способным проводить электрический ток. Свободная часть заполнена воздухом.

Для защиты арматуры в железобетоне следует ограничить поступление к ней в первую очередь кислорода воздуха и воды. Эту функцию выполняет защитный слой бетона толщиной 10...20 мм и более.

pH поровой жидкости бетона составляет 12...14. Кислотообразующие газы нейтрализуются щелочными составляющими бетона. На поверхности стали образуется нерастворимая пленка, которая находится в пассивном состоянии и не допускает обра-

зования коррозии. При рН меньше 11,8 происходит окисление железа с образованием  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$ . Продуктом коррозии может быть ржавчина.

Ускоряют коррозию стали ионы  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  поровой жидкости, которые повышают коррозионную активность и разрушают защитную пленку на арматуре.

Предотвратить коррозию можно способами, обеспечивающими рН поровой жидкости бетона выше 11,8. Плотность бетона должна быть такой, чтобы в течение всего срока эксплуатации конструкций защитный слой не был нейтрализован кислыми газами и жидкостями.

### 8.2.5. Контроль качества железобетонных изделий

В проектах или технических условиях указаны конкретные требования, которые зависят от назначения и условий эксплуатации конструкций и изделий. Например, к бетону предъявляют требования по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, водопоглощению, теплопроводности.

*Прочность* бетона контролируют в проектном возрасте, т.е. возрасте в сутках, за этот период бетон должен набрать марочную прочность.

Устанавливают также отпускную и передаточную прочность. *Отпускная прочность бетона* — прочность, после достижения которой разрешается поставлять изделие потребителю. Она должна быть не ниже 50 % проектной прочности для тяжелых и легких бетонов от М150 и выше; не менее 70 % для тяжелого и 80 % для легкого бетона М100 и ниже. Для бетонов, подвергавшихся автоклавной обработке, отпускная прочность должна быть равной проектной.

*Передаточную прочность* устанавливают только для напряженно-армированных конструкций. Такую прочность бетон должен набрать к моменту передачи на него усилий от предварительно напряженной арматуры.

Для каждой из поверхностей изделия проектом установлена *категория бетонной поверхности*. Таких категорий — 8 (А0 - А7). Наиболее гладкая поверхность, получаемая при формировании конструкций на полированных поддонах, характеризуется категорией А0. С повышением номера категории снижаются требования к качеству поверхности бетона. Категория поверхности зависит от ее назначения (например, лицевая, полной заводской готовности).

На лицевых поверхностях конструкций не допускаются жировые и ржавые пятна. Открытые поверхности стальных закладных изделий, выпуски арматуры, монтажные петли и строповочные отверстия не должны иметь наплывов бетона.

*Место строповки* изделия показывают символом в виде двух вертикально ориентированных звеньев цепи.

**Хранение.** Конструкции и изделия после их изготовления, а также на строительной площадке хранят на специально оборудованных складах рассортированными по видам и маркам. Склады оборудуют специальными устройствами и кассетами. Подкладки, устанавливаемые под точки опирания, изготавливают из древесины.

Складируют изделия таким образом, чтобы были видны маркировочные надписи.

## 9. Строительные растворы

### 9.1. Общие сведения и классификация

**Строительным раствором** называют искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя. До затвердевания смесь материалов называют **растворной смесью**. Для придания растворным смесям или затвердевшим растворам определенных свойств в них вводят минеральные и химические добавки.

Строительные растворы применяют, в основном, в виде тонких слоев в каменных кладках и штукатурных работах. Строительные растворы изготавливают чаще всего на минеральных вяжущих веществах, хотя для некоторых видов работ (устройство стяжек, защита от коррозии и др.) используют битумные и полимерные растворы.

В каменных зданиях расход строительного раствора составляет 10...25 % общего объема конструкций. На него идет около 20 % всего выпускаемого портландцемента.

Строительные растворы классифицируют по плотности, виду вяжущего, составу и назначению.

**По средней плотности** различают растворы *тяжелые*, плотностью более 1500 кг/м<sup>3</sup>, и *легкие*, плотностью менее 1500 кг/м<sup>3</sup>.

**По виду вяжущего** растворы бывают известковые, глиняные, гипсовые, цементные, известково-цементные, известково-гипсовые, цементно-глиняные и др. В зависимости от свойств вяжущего растворы подразделяют на *воздушные*, твердеющие в воздушно-сухих условиях (например, известковые, гипсовые, глиняные), и *гидравлические*, начинающие твердеть на воздухе и продолжающие твердеть в воде или во влажных условиях.

**По составу** растворы делят на простые и сложные (смешанные). Растворы, приготовленные на одном вяжущем, заполнителе и воде, называют *простыми*. Составы простых растворов обозначают двумя числами. Например, известковый раствор 1:4 означает, что в растворе на одну часть извести приходится четыре части заполнителя (песка). Растворы, приготовленные на нескольких вяжущих, называют *сложными*, или *смешанными*. Составы сложных растворов обозначают тремя числами. Например, состав известково-цементного раствора 1:1:9 означает, что на одну часть извести в растворе приходится одна часть цемента и девять частей заполнителя.

**По назначению** строительные растворы различают: *кладочные* — для каменной кладки фундаментов, стен, столбов, сводов и пр.; *штукатурные* — для оштукатуривания стен, потолков, фасадов зданий, для декоративных и специальных штукатурок, крепления облицовочных материалов, для устройства мозаичных полов; *монтажные* — для заполнения и заделки швов между крупными элементами при монтаже зданий и сооружений из готовых сборных конструкций и деталей.

Особенно часто в гидромелиоративном строительстве применяют растворы специального назначения: *гидроизоляционные*, *тампонажные* и *инъекционные*. Они используются для гидроизоляции конструкций из различных материалов, подвергающихся агрессивному воздействию воды при строительстве водопроводящих тоннелей, для заделки трещин в скальном основании гидротехнических сооружений, при устройстве противофильтрационных завес, заделки деформационных и конструктивных швов.



## 9.2. Материалы для строительных растворов

**Вяжущие вещества.** Для строительных растворов применяют все неорганические вяжущие вещества. Вид вяжущего назначается в зависимости от условий эксплуатации конструкций и марки раствора.

Для надземных конструкций при относительной влажности воздуха до 60 % для низкомарочных растворов марок 4 и 10 рекомендуется известь воздушная и гидравлическая, известковошлаковые вяжущие и цемент для строительных растворов, а для растворов марки 25 и выше следует применять портландцемент, шлакопортландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцементы.

Для надземных конструкций, эксплуатируемых при относительной влажности воздуха свыше 60 %, для растворов марки 10 применяют известково-шлаковое вяжущее и цемент для строительных растворов, а для марок 25 и выше — портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый, пластифицированный и гидрофобный портландцементы.

Для конструкций, эксплуатируемых в агрессивных сульфатных водах, необходимо применять сульфатостойкие портландцементы.

Для конструкций, находящихся в мягких водах, растворы приготавливают на пуццолановых портландцементных и шлакопортландцементных.

Для внутренней отделки зданий для раствора применяют гипсовые вяжущие марок Г-3 и выше и гипсоцементно-пуццолановое вяжущее.

Заполнителями для тяжелых строительных растворов служат природные кварцевые или полевошпатовые пески, а также дробленые пески, получаемые из плотных горных пород. Для легких растворов применяют пористые искусственные пески: керамзитовый (из шлаковой пемзы, гранулированного шлака), перлитовый и природные пески из пемзы, вулканического туфа, диатомита, опоки, трепела.

Кладочные растворы для бутовой кладки, монтажа крупноблочных и крупнопанельных стен должны приготавливаться на песках с наибольшей крупностью зерен, не превышающей 5 мм, для кирпичной кладки — 2,5 мм.

Штукатурные растворы, применяемые для обрызга и грунта, приготавливают на песке с наибольшей крупностью зерен не более 2,5 мм, для накрывки — не более 1,25 мм.

Вода для затворения растворов не должна содержать вредных примесей. К ней предъявляют те же требования, что и к воде для бетонов.

Для повышения подвижности, нерасслаиваемости, водоудерживающей способности растворных смесей в их состав вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки.

Неорганическими пластификаторами служат известковое и глиняное тесто.

В качестве органических пластификаторов используют мылонафт, подмыленный щелок, и др. Мылонафт — побочный продукт щелочной очистки нефтепродуктов, легко растворяется в воде. Подмыленный щелок — побочный продукт, образующийся при варке хозяйственного мыла.

Органические пластификаторы вводят в количестве 0,03...0,3 % от массы цемента в цементные и цементно-известковые растворы. Они заменяют частично или полностью известковое тесто. Следует иметь в виду, что применение их в цементных растворах снижает расчетное сопротивление кладки на 10 %.

В растворы для зимних работ вводят противоморозные добавки.

### 9.3. Свойства растворных смесей и растворов

Основными свойствами растворной смеси являются удобоукладываемость, пластичность (подвижность), водоудерживающая способность и расслаиваемость, а затвердевших растворов — плотность, прочность и долговечность. Правильный выбор области применения растворов всецело зависит от их свойств.

**Свойства растворных смесей.** *Удобоукладываемость* — свойство растворной смеси легко укладываться плотным и тонким слоем на пористое основание и не расслаиваться при хранении, транспортировании и перекачивании насосами. Она зависит от пластичности (подвижности), водоудерживающей способности смеси и способности расслаиваться.

*Пластичность* смеси характеризуют подвижностью, т.е. способностью растекаться под действием собственного веса или приложенных к ней внешних сил. Подвижность почти всех растворных смесей определяют глубиной погружения (в см) стандартного конуса (рис. 14).

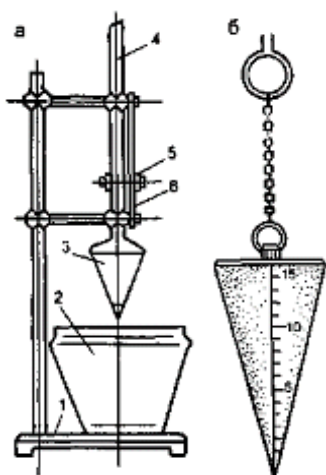


Рис. 14. Приборы для определения подвижности растворной смеси в лаборатории (а) и на рабочем месте (б): 1 — штатив; 2 — сосуд для раствора; 3 — конус; 4 — трубка; 5 — стрелка; 6 — шкала

Подвижность растворной смеси зависит, прежде всего, от количества воды и вяжущего, вида вяжущего и заполнителя, соотношения между вяжущим и заполнителем.

*Водоудерживающая способность* — свойство растворной смеси удерживать воду при укладке ее на пористое основание (кирпич, шлакоблоки, бетон и т. п.), а также при ее транспортировании. Водоудерживающую способность увеличивают путем введения в растворную смесь неорганических дисперсных добавок и органических пластификаторов. Смесь с такими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом раствор становится плотнее, хорошо сцепляется с основанием, повышается его прочность.

*Расслаиваемость* — способность растворной смеси разделяться на твердую и жидкую фракции при транспортировании ее по трубам и шлангам. Растворную смесь часто перевозят автосамосвалами и перемещают по трубопроводам с помощью растворонасосов. При этом нередки случаи, когда смесь разделяется на воду (жидкая фаза), песок и вяжущее (твердая фаза), в результате чего в трубах и шлангах могут образоваться пробки, устранение которых связано с большими потерями труда и времени.

Если состав растворной смеси подобран правильно и водовяжущее отношение назначено верно, то растворная смесь будет подвижной, удобоукладываемой, она будет обладать хорошей водоудерживающей способностью и не будет расслаиваться. Пластифицирующие добавки как неорганические, так и органические повышают водоудерживающую способность растворных смесей и уменьшают их расслаиваемость.

*Жизнеспособность* называют свойство растворной смеси сохранять необходимую удобоукладываемость от начала ее приготовления до укладки в конструкцию. Она зависит от состава смеси и температуры наружного воздуха. Жизнеспособность цементных растворов составляет обычно 2...4 ч и зависит от сроков схватывания цемента. Известковые растворы на гидратной извести имеют жизнеспособность 6...10 ч, смешанные цементно-известковые — 4...6 ч.

При повышенной температуре растворные смеси, содержащие портландцемент, следует использовать в течение 2 ч. Продлить их жизнеспособность до 12...20 ч можно введением добавки УПБ или комплексной добавки состоящей из ЛСТ и УПБ.

**Свойства растворов.** Затвердевшие растворы должны обладать определенной плотностью, заданной прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью и постоянством объема (и в отдельных случаях — химической стойкостью).

*Плотность* раствора зависит от вида заполнителя. По средней плотности, как известно, строительные растворы подразделяют на тяжелые и легкие. Растворы плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup> и более относят к тяжелым, для их приготовления используют плотные заполнители с насыпной плотностью не менее 1500 кг/м<sup>3</sup>; легкие готовят на пористых заполнителях с насыпной плотностью менее 1200 кг/м<sup>3</sup>.

*Прочность* строительного раствора характеризуют маркой, которую определяют по пределу прочности при сжатии стандартных образцов-кубов размером 70,7×70,7×70,7 мм, изготовленных из растворной смеси и испытанных после 28-суточного твердения. По пределу прочности при сжатии (кгс/см<sup>2</sup>) для растворов установлены марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200 и 300. Малопрочные растворы марок 4 и 10 получают из местных вяжущих и извести. Прочность растворов при изгибе примерно в 5 раз, а при растяжении в 10 раз меньше прочности при сжатии. Прочность раствора, прежде всего, зависит от активности и количества вяжущего, от количества воды, качества заполнителей, тщательности приготовления раствора, условий и продолжительности твердения.

Интенсивность твердения растворов зависит от вида вяжущего и температуры.

Медленней набирают прочность растворы на пуццолановом портландцементе и шлакопортландцементе, особенно при температуре ниже 15 °С.

*Водонепроницаемость* строительного раствора важна для наружных штукатурок зданий, стяжек на балконах, подстилающего слоя под керамическую плитку пола в ванной комнате, для специальных гидроизоляционных штукатурок и т. д. Поскольку затвердевший раствор содержит поры, следовательно, абсолютно водонепроницаемых растворов нет.

Для повышения водонепроницаемости при приготовлении в раствор вводят добавки — *уплотняющие* (жидкое стекло) и *гидрофобизирующие* (полимерные смолы, битум).

*Морозостойкость* характеризует долговечность строительного раствора. В зависимости от числа циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдержат образцы-кубы размером 70,7×70,7×70,7 мм в насыщенном водой состоянии, различают следующие марки раствора по морозостойкости: F10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и 300. В значительной степени морозостойкость раствора зависит от его плотности и водонепроницаемости, от вида вяжущего, водоцементного отношения, введенных добавок и условий твердения.

Изменение *объема*, за редким исключением, сопровождается твердением вяжущих веществ. При твердении гипсовые вяжущие увеличиваются в объеме, известковые вяжущие и большинство цементов — уменьшаются. Исключение составляют расширяющиеся и безусадочные цементы. Изменение объема твердеющего вяжущего вызывает изменение объема твердеющего раствора.

#### 9.4. Виды растворов и область их применения в строительстве

**Кладочные растворы.** При возведении стен применяют цементные, смешанные (цементно-известковые и цементно-глиняные), известковые и глиняные растворы.

Назначение состава раствора для каменных кладок зависит от условий эксплуатации, вида конструкций и степени их долговечности. Расход материалов для растворов марки 25 и выше определяют специальным расчетом, для марок 4 и 10 приводят в виде отношения вяжущего к песку по объему.

Цементные растворы применяют при возведении фундаментов и конструкций, эксплуатируемых во влажной среде.

В цементно-известковых и цементно-глиняных растворах известь и глину вводят в виде теста. Часть теста может быть заменена органическими пластификаторами. В известково-цементных растворах экономия цемента составляет 30...50 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора по сравнению с цементными. Расход цемента в цементно-глиняных растворах выше, чем в цементно-известковых.

Цементно-известковые и цементно-глиняные растворы применяют для возведения подземных и надземных частей зданий.

Известковые растворы применяют для приготовления растворов марок 4 и 10 для конструкций надземных частей зданий, работающих в сухих условиях.

Глиняные растворы применяют для надземных частей зданий: марку 4 — в сухом климате, марку 10 — в умеренно влажном климате.

В современном строительстве чаще всего применяют цементно-известковые растворы, реже — другие виды.

**Штукатурные растворы.** В строительстве наиболее часто применяется монолитная штукатурка, получаемая из штукатурных растворов. Штукатурное покрытие состоит из двух или более слоев. Сцепление с поверхностью основания обеспечивается подготовительным слоем или обрызгом толщиной не более 5 мм по кирпичным и бетонным поверхностям и 9 мм по деревянным. Основной слой (грунт) толщиной 5...7 мм служит для получения ровной поверхности. Улучшенный вид достигается за счет накрывочного слоя толщиной не более 2 мм.

Растворы для обычных штукатурок подразделяют на цементные, известковые, цементно-известковые, известково-гипсовые, гипсовые, глиняные и глино-известковые.

**Цементные растворы** применяют для наружных штукатурок, подвергающихся систематическому увлажнению, и внутренних — в помещениях с относительной влажностью воздуха свыше 60 %.

**Цементно-известковые растворы** применяют при оштукатуривании как фасадов зданий, так и внутренних помещений. Введение извести повышает пластичность растворов.

Известковые растворы применяют для штукатурки внутренних поверхностей с относительной влажностью воздуха не более 60 %. Они обладают повышенной пластичностью, медленно схватываются и твердеют.

**Известково-гипсовые растворы** применяют для оштукатуривания внутренних стен в помещениях с относительной влажностью воздуха до 60 % и наружных стен в районах с устойчивым сухим климатом.

**Глиняные растворы** применяют для оштукатуривания второстепенных сухих помещений.

*Глино-известковые растворы* применяют для штукатурки наружных стен в районах с сухим устойчивым климатом и внутренних поверхностей помещений, эксплуатируемых при относительной влажности воздуха до 60 %.

Максимально допустимый размер зерен песка для подготовительных слоев штукатурок не должен превышать 2,5 мм, отделочного слоя — 1,2 мм.

*Монтажные растворы.* При монтаже стен горизонтальные швы между панелями из тяжелого бетона заполняют раствором марки не ниже М100; из легкого бетона — не ниже М50.

Для монтажа несущих железобетонных конструкций марка цементного раствора должна быть не ниже марки бетона этой конструкции.

*Гидроизоляционные растворы* (водонепроницаемые) — обычно жирные цементные растворы, в которые добавляют растворимое стекло, алюминат натрия, хлорное железо, битумную эмульсию, полимеры и др.

Для заделки трещин в каменных конструкциях, устройства водонепроницаемых покрытий применяют растворные смеси с алюминатом натрия. Такие растворы имеют также повышенную стойкость против размыва водой. Растворы с добавкой растворимого стекла создают прочные водонепроницаемые покрытия, что позволяет использовать их при заделывании трещин, раковин, из которых сочится вода.

Для гидроизоляционных растворов применяют портландцемент, пуццолановый, сульфатостойкий и гидрофобный портландцементы, глиноземистый, безусадочный (ВВЦ) цементы марки не менее М400. В качестве мелкого заполнителя в гидроизоляционных растворах применяют для стяжек песок с модулем крупности 2...3.

Такие растворы применяют для покрытия стен бассейнов, трубопроводов, туннелей, подвалов, подвергающихся действию агрессивных вод.

*Тампонажные растворы* применяют для заделки водоносных трещин и пустот в горных породах, а также для заполнения пространства между креплением выработки и породой с целью гидроизоляции шахтных стволов, туннелей и равномерности распределения горного давления на облицовки (крепи). Эти растворы могут быть цементно-песчаными, цементно-песчано-суглинистыми, цементно-суглинистыми.

В качестве вяжущих материалов применяют: для обычных гидрогеологических условий — портландцемент; при наличии агрессивных сред — шлакопортландцемент; при наличии напорных вод — тампонажный портландцемент.

*Инъекционные растворы* используют при омоноличивании строительных швов гидротехнических сооружений и швов сборных железобетонных элементов.

Заполнение швов и каналов в предварительно напряженных конструкциях с целью защиты арматуры от коррозии, заделывание трещин в бетоне и скальных породах обычно осуществляют цементно-песчаными растворами марки не менее 300.

*Декоративные растворы* применяют для отделки фасадов зданий, фасадных стеновых панелей и блоков, а также интерьеров. Их наносят на поверхность в виде штукатурки, а также в виде отделочного слоя на оштукатуренную поверхность или лицевую поверхность панелей и крупных блоков.

Декоративные растворы бывают цементные, известковые, цементно-известковые, полимерцементные и др. В качестве вяжущего для декоративных растворов применяют белые и цветные портландцементы, смешанные цементно-полимерные вяжущие. Для окраски растворов в необходимый цвет в их состав вводят щелочестойкие природные и искусственные пигменты. В качестве заполнителей применяют природные кварцевые и

дробленые из горных пород пески, крошки различных горных пород. Для придания растворам блеска в их состав могут вводиться слюда или дробленое стекло.

**Жаростойкие растворы** по своему составу подразделяются на шамотно-цементные и шамотно-бокситовые.

**Шамотно-цементный раствор** применяют его для кладки тепловых агрегатов из алюмосиликатного кирпича, эксплуатируемых при 1200 °С.

**Шамотно-бокситовый раствор** применяют при температуре 1300...1350 °С для кладки рекуператоров, газоходов, боровов мартеновских печей.

**Растворы для полов** применяют для укладки плиток и других мелкоштучных материалов, устройства подготовок и стяжек. На цементно-песчаных растворах марки не менее 75 укладывают плитки цементно-песчаные, бетонные (из бетона класса не менее Bb25), керамические и ксилолитовые; на растворах марки 150 и выше — брусчатку, клинкерный кирпич, плиты из бетона класса выше Bb25, чугунные плиты.

**Акустические и теплоизоляционные растворы** имеют среднюю плотность не более 1200 кг/м<sup>3</sup>. Вяжущими для их изготовления служат портландцементы, известь, гипс или смесь портландцемента и извести. В качестве заполнителей применяют пески с зернами крупностью до 3...5 мм, получаемые из пористых материалов: пемзы, туфов, шлаков, перлита, керамзита. Коэффициент звукопоглощения таких растворов составляет 0,5, коэффициент теплопроводности — 0,06...0,12 Вт/(м · °С).

**Растворы для зимних работ.** В зимних условиях при отрицательной температуре конструкции из обычной кладки, а также из панелей и крупных блоков могут возводиться на цементных, цементно-известковых и цементно-глиняных растворах методом замораживания или без прогрева с применением химических противоморозных добавок. Лучшим вяжущим является портландцемент, допускается применение шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента марки 300 и выше.

В качестве противоморозных добавок применяют поташ (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), нитрит натрия (NaNO<sub>2</sub>).

Для надземных неармированных конструкций, где допускаются высолы и увлажнения, можно применять хлорид кальция CaCl<sub>2</sub> или хлорид натрия.

**Сухие строительные смеси.** В последние годы рынок строительных материалов в нашей стране и, особенно за рубежом расширился за счет массового внедрения в строительство разнообразных сухих строительных смесей.

Сухие смеси — это композиции заводского изготовления, включающие минеральные вяжущие вещества, мелкий заполнитель и добавки.

Главное их назначение — отделочные, а также монтажные работы внутри зданий и снаружи (кладка стен, отделка фасадов, устройство наливных полов). Сухие смеси используются при положительных и небольших отрицательных температурах (с противоморозными добавками), для реставрации панельных домов, монолитного домостроения, для укладки облицовочной плитки, плитки для пола и др.

Сухие смеси могут иметь высокую адгезию и большую пластичность, нестекаемость с вертикальных стен, морозостойкость.

При правильном выборе и применении сухие смеси ускоряют строительные работы и обеспечивают высокое их качество.

## 10. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ И НЕОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

В группу материалов и изделий на основе неорганических вяжущих входят искусственные каменные необжиговые изделия, которые получают из растворных или бетонных смесей. В качестве заполнителей применяют кварцевый песок, шлак, золу, древесные опилки. Для повышения прочности на изгиб изделия армируют волокнистыми материалами — асбестом, древесиной (в виде шерсти, дробленых отходов), бумагой и др.

Искусственные каменные изделия можно разделить на следующие три группы по виду минерального вяжущего:

- 1) силикатные, получаемые на основе извести с кремнеземистыми заполнителями;
- 2) асбестоцементные, изготавливаемые на основе портландцемента с асбестом;
- 3) гипсовые и гипсобетонные.

Безобжиговые искусственные каменные материалы и изделия на основе неорганических вяжущих применяют при строительстве насосных станций, ремонтно-механических заводов водохозяйственных организаций, административных учреждений гидромелиоративных систем.

### 10.1. Изделия автоклавного твердения на основе извести и кремнеземистого компонента

Долгое время известь не использовали для получения прочных и водостойких искусственных каменных изделий, так как в естественных условиях известь твердеет очень медленно и изделия получаются небольшой прочности (1...2 МПа), легко размокают при действии воды. Однако в 1880 г. немецким ученым Михаэлисом было установлено, что при автоклавной обработке (твердении в паровой среде при давлении пара 0,8 МПа и более и температуре выше 170 °С) извести и кремнеземистого компонента (песка) могут быть получены очень прочные, водостойкие и долговечные изделия.

Из известково-песчаных смесей выпускают крупноразмерные изделия для сборного строительства — блоки и панели для стен и перекрытий, а также силикатный кирпич и камни для стен.

**Силикатные бетоны** получают в результате автоклавного твердения рационально подобранной смеси известково-кремнеземистого вяжущего и заполнителей.

Силикатные бетоны *классифицируют* по плотности, максимальной крупности, виду заполнителей, структуре, пластичности смеси и области применения. Преимущественно применяют мелкозернистые силикатные бетоны. Технология производства силикатобетонных изделий заключается в приготовлении известково-кремнеземистого вяжущего путем совместного или отдельного измельчения песка и извести, дозирования основных компонентов, перемешивания бетонной смеси, формования изделий и их автоклавной обработки.

По основным строительным свойствам силикатные бетоны близки к цементным.

В настоящее время из плотного автоклавного бетона изготавливают, в основном, несущие панели внутренних стен и крупные блоки (для наружных и внутренних стен), а также панели перекрытий. Организован выпуск панелей размером с комнату.

Стойкость силикатных бетонов в воде ниже, чем цементных. Для повышения водостойкости этого материала применяют различные способы, главными из которых являются: дополнительная обработка — пропитка битумом, покрытие кремнийорганическими водоотталкивающими соединениями и т. д.

**Силикатный кирпич** — искусственный безобжиговый стеновой материал, изготавливаемый из смеси кварцевого песка и гашеной извести прессованием с последующей автоклавной обработкой.

Современное производство силикатного кирпича состоит в следующем. Сырьевую смесь, в состав которой входит 92...94 % песка, 6...8 % молотой негашеной извести и некоторое количество воды, тщательно перемешивают и выдерживают до полного гашения извести. Далее из этой смеси под большим давлением (15...20 МПа) прессуют кирпич, который затем 8...14 ч твердеет в автоклаве при избыточном давлении насыщенного пара 0,8 МПа и температуре 175 °С.

Из автоклава выгружают почти готовый кирпич, который выдерживают 10...15 сут. для карбонизации непрореагировавшей извести углекислым газом воздуха, в результате чего повышаются водостойкость и прочность кирпича.

Выпускают *одинарный* (250×120×65 мм), *утолщенный силикатный кирпич* (250×120×88 мм) и *силикатные камни* (250×120×138 мм). Одинарный и утолщенный кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым, камни только пустотелыми.

Цвет кирпича — от молочно-белого до светло-серого. Выпускают также кирпич цветной, окрашенный полностью или по лицевым поверхностям щелочестойкими пигментами в голубой, зеленоватый, желтый и другие светлые цвета.

Для силикатного кирпича и камней установлены марки: по пределу прочности при сжатии — 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300; по морозостойкости — 15, 25, 35, 50.

Водопоглощение силикатных изделий должно быть не менее 6 %.

Наряду с рядовыми изготавливают лицевые силикатный кирпич и камни марок по прочности соответственно не менее 125 МПа и 100 МПа.

Силикатный кирпич применяют для кладки надземных стен зданий. Вследствие недостаточной водостойкости его нельзя использовать для фундаментов и цоколей зданий. Не допускается применять его также для зданий с мокрым режимом эксплуатации (бани, прачечные) без специальных мер защиты стен от увлажнения, а также в условиях воздействия высоких температур (кладка печей, труб и т. п.).

## 10.2. Асбестоцементные изделия

**Асбестоцемент** — искусственный каменный материал, состоящий из цементного камня, армированного волокнами асбеста.

К наиболее распространенным асбестоцементным изделиям относятся волнистые и плоские листы, трубы и соединительные муфты. Асбестоцементные изделия сравнительно легко поддаются механической обработке, они значительно легче металла, бето-



на и железобетона. Средняя плотность асбестоцемента 1400...2100 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — 40...60 МПа, растяжении — 8...15 МПа. Водопоглощение составляет 10...30 %. Недостатки асбестоцементных изделий — невысокая ударная прочность и склонность к короблению.

**Сырье.** Исходными компонентами для производства асбестоцемента являются асбест, портландцемент, вода. Асбест встречается в природе в виде минералов — волокнистых силикатов. Обычно используют *хризотил-асбест* (3MgO×2SiO<sub>2</sub>×2H<sub>2</sub>O). Асбест сравнительно легко распадается на волокна толщиной 0,1...0,2 мм и длиной до 10 мм.

Для производства асбестоцементных изделий применяется портландцемент двух марок — М400 и 500, не содержащий минеральных добавок. Тонкость помола этого цемента характеризуется удельной поверхностью 2900...3200 см<sup>2</sup>/г. Содержание свободной СаО в исходном клинкере не должно превышать 1%, С<sub>3</sub>А — 8 %, С<sub>3</sub>S должно быть не менее 52 %.

**Технологический процесс получения асбестоцементных изделий** включает обминание и распушивание асбеста, тщательное смешивание полученных волокон с цементом в водной среде и образование суспензии, формование изделий с последующей их тепловой обработкой и обрезкой кромок готовых изделий.

Промышленность выпускает несколько видов асбестоцементных изделий, которые можно разделить на *листовые* (листы плоские и волнистые) и *трубные*.

*Плоские листы* изготовляют прессованными и непрессованными длиной от 2000 до 3000 мм, шириной 1200... 1500 мм, толщиной 4...12 мм. Прессование способствует улучшению прочностных свойств изделий. У прессованных листов предел прочности на изгиб не менее 25 МПа, средняя плотность — не менее 1750 кг/м<sup>3</sup>, у непрессованных — соответственно 16 МПа и 1600 кг/м<sup>3</sup>.

Плоские листы предназначаются в основном для сборных конструкций стеновых панелей, плит перекрытий, перегородок санитарно-технических кабин, а также для устройства подвесных потолков, вентиляционных шахт, транспортерных галерей.

*Волнистые листы* составляют около 90 % общего объема производства листовых изделий, а они в балансе кровельных материалов составляют 35...40 %. *Волнистые листы* изготовляют различного профиля: обыкновенного (ВО), унифицированного (УВ), усиленного (ВУ) и среднего (СВ).

Размеры и свойства листов в зависимости от типов меняются в пределах: длина 1200...3300 мм, шаг волны 1115...350 мм, предел прочности при изгибе 16...24 МПа, масса изделия 9...98 кг.

В настоящее время в основном производят волнистые листы длиной 1750 мм типов 40/150 и 54/200–6 (высота волны/длина волны — толщина) для кровли жилых и сельскохозяйственных зданий; типа 54/200–7,5 — для кровли промышленных и сельскохозяйственных производственных зданий. Для малоэтажного строительства и индивидуальной застройки выпускаются листы длиной 1250 мм типов 30/130 и 40/150.

Кровли из волнистых асбестоцементных листов отличаются легкостью, простотой

монтажа, не требуют устройства сплошного жесткого основания, а укладываются по деревянной обрешетке или железобетонным и стальным прогонам.

При возведении ограждающих конструкций зданий широко применяют *асбестоцементные панели*. Их применяют также для пологих покрытий в сельскохозяйственных комплексах с устройством по покрытиям рулонной кровли.

В мелиоративном и сельскохозяйственном строительстве широко применяют *асбестоцементные трубы*. В зависимости от назначения асбестоцементные трубы подразделяют на напорные, для устройства закрытых напорных оросительных трубопроводов, и безнапорные, используемые при строительстве дренажных коллекторов гидромелиоративных сетей и устьевых сооружений на осушительных системах.

При строительстве напорных оросительных трубопроводов применяют асбестоцементные трубы классов ВТ-6, ВТ-9, ВТ-12 и ВТ-15 с диаметром условного прохода 100...500 мм. Цифра в обозначении класса указывает максимальное рабочее давление, при котором может быть использована труба.

Соединение труб производится асбестоцементными муфтами.

Безнапорные асбестоцементные трубы выпускают диаметром 100...400 мм. Они имеют меньшую толщину стенок и должны при гидравлическом испытании выдерживать давление не менее 0,4 МПа.

Низкая капиллярная пористость обеспечивает водонепроницаемость, морозостойкость асбестоцементных труб. Они значительно дешевле и долговечнее стальных и чугунных труб. Срок их службы в напорных трубопроводах превышает 30 лет.

### **10.3. Гипсовые и гипсобетонные изделия**

Изделия на основе гипса получают как из гипсового теста (т.е. из смеси гипса и воды), так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют *гипсовыми*, во втором — *гипсобетонными*.

Гипс — воздушное вяжущее, поэтому изделия из него применяют, в основном, для внутренних частей зданий, не несущих больших нагрузок. Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

Наибольшее распространение в строительстве получили гипсобетон, мелкие стеновые камни, плиты и панели для перегородок, гипсобетонные листы (сухая штукатурка) и гипсоволокнистые листы.

Технология изготовления состоит из следующих операций: дозирование компонентов, перемешивание смеси, формование изделий и сушка.

На основе строительного гипса получают бетон марок 25...100. Прочность гипсовых бетонов определяется в основном видом и активностью вяжущего, значением водовяжущего отношения, видом и качеством заполнителя.

Гипсовые бетоны — быстротвердеющие. Это позволяет распалубливать изделия вскоре после формования.

Из гипсобетонов изготавливают различные строительные изделия — от мелких камней до крупных панелей. *Мелкие стеновые камни* выпускают из чистого гипса плот-

ной или ячеистой структуры и из легких гипсовых бетонов. Широко применяют камни с тремя рядами щелевидных пустот по ширине, расположенных в шахматном порядке. Гипсовые камни выпускают размерами 250×120×140 мм, 390×190×140 мм и др. Средняя плотность гипсобетонных пустотелых камней 1000...1350 кг/м<sup>3</sup>, влажность — не более 8 %, морозостойкость — не менее 10...15 циклов.

Основным видом крупноразмерных гипсовых изделий являются *перегородочные панели и плиты*. Они предназначены для устройства несущих перегородок в зданиях различного назначения.

*Гипсобетонные панели* выпускают размером на комнату высотой до 3 м, толщиной 40...100 мм, сплошными и с проемами для дверей и фрамуг. Панели, предназначены для помещений с влажностью не более 60 %. Средняя плотность гипсобетона панелей в высушенном состоянии должна быть 1100...1400 кг/м<sup>3</sup>.

Гипсовые панели хранят и транспортируют в вертикальном положении.

*Плиты для перегородок* могут быть гипсовыми, гипсобетонными и гипсоволокнистыми. Размер гипсовых и гипсобетонных плит 800×400 мм, армированных камышом — 1500×400 мм; толщина 90...100 мм. Средняя плотность плит равна 1100...1300 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие — 3,5 МПа.

Для отделочных работ и устройства перегородок в помещениях с влажностью не более 60 % применяют *гипсокартонные листы* (сухую штукатурку). Они состоят из затвердевшего гипсового слоя, прочно соединенного с картонной оболочкой. Размеры листов по длине — 2500, 2700, 3000, по ширине — 920, 1200, 1290 мм, по толщине — 12, 14, 16 мм. Средняя плотность гипсокартонных листов 800...900 кг/м<sup>3</sup>, влажность их не более 1 %.

В последние годы организовано производство новых гипсовых изделий: декоративных плит, облицовочных панелей, гипсовых перегородок с металлическим каркасом, звукопоглощающих плит и др. Облицовочные гипсовые изделия отделяются пленкой на бумажной основе и имеют различную фактуру, имитирующую, например, природный мрамор. Лицевая поверхность изделий гидрофобизируется, что позволяет протирать их влажной тканью и мыть.

## 11. КОАГУЛЯЦИОННЫЕ (ОРГАНИЧЕСКИЕ) ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, РАСТВОРЫ И БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

К органическим вяжущим веществам относят битумные и дегтевые материалы, которые обладают следующими ценными свойствами: водонепроницаемостью; стойкостью против действия агрессивных жидкостей, щелочей и кислот; способностью понижать вязкость при нагреве и снова ее восстанавливать при последующем охлаждении, а также прочно сцепляться с разными материалами — деревом, бетоном, камнем и др.

Битумные и дегтевые вяжущие являются гидрофобными материалами, не смачиваемыми и не растворимыми в воде. Плотность их 900...1300 кг/м<sup>3</sup>. Благодаря высокой водостойкости и ничтожной пористости они используются как основной компонент гидроизоляционных материалов, имеющих высокую водонепроницаемость.

### 11.1. Битумные вяжущие

**Битумами** называют сложные смеси углеводородов и их производных, т.е. соединение высокомолекулярных углеводородов с кислородом, азотом, серой. Они бывают природные и искусственные. Искусственные подразделяют на нефтяные, сланцевые, угольные, торфяные. В строительстве применяют в основном нефтяные битумы.

**Состав.** Битумы содержат от 70 до 87 % углерода, до 15 % водорода, до 2 % кислорода, до 1,5 % серы, доли процента азота и металлов. Групповой их состав следующий: масла, смолы, асфальтены, карбены и карбоиды.

Содержание масел составляет 35...60 %. Плотность их менее 1 г/см<sup>3</sup>. Они являются растворителями для твердых частей и определяют консистенцию битумов.

Содержание смол составляет 20...40 %. Плотность их около 1 г/см<sup>3</sup>. Это твердые и полутвердые вещества, растворимые в бензине, бензоле.

Содержание асфальтенов составляет 4...35 %. Это твердые кристаллические вещества плотностью более 1 г/см<sup>3</sup>. Они оказывают существенное влияние на теплоустойчивость, вязкость и твердость битумов. Под действием солнечного света они стареют, могут образовывать хрупкие вещества, что приводит к разрушению битумов.

Содержание карбенов и карбоидов составляет до 3 %. Это твердые вещества. Карбены по составу близки к асфальтенам. Они нерастворимы в бензоле и растворимы в сероуглероде. Карбоиды не растворяются в известных растворителях. Содержание карбенов и карбоидов повышает вязкость и хрупкость битумов.

**Основные свойства.** Основными свойствами битума являются адгезия, вязкость, растяжимость, твердость, хрупкость, старение.

*Адгезия* — прочность сцепления битума с каменными материалами. Она зависит от природы битума и минерального материала.

*Вязкость* битума является основной характеристикой его структурно-механических свойств. Она оценивается условным показателем твердости или вязкости.

*Твердость* вязких и твердых битумов определяется по глубине погружения при стандартных условиях.

*Растяжимость* характеризуется способностью битума вытягиваться в тонкие нити.

*Температура размягчения* характеризуется способностью битума переходить из вязкопластичного состояния в жидкое при определенной температуре.

Твердость, вязкость и температура размягчения битума зависят от содержания в нем асфальтенов и смол.

*Хрупкостью* называют способность битума при определенной температуре переходить из упруго-пластичного в твердое или хрупкое состояние.

*Старение* битумов характеризуется изменением их свойств. В результате воздействия на битум кислорода воздуха, ультрафиолетовых лучей испарения легколетучих углеводородов масла переходят в смолы, смолы — в асфальтены. Накопление асфальтенов уменьшает пластичность и повышает хрупкость битумов.

**Природные битумы** получают из битуминозных горных пород (песчаники, доломиты, глинистые грунты) с содержанием битума от 10 до 80 %. Битум образовался из нефти в результате удаления легких фракций и окисления более тяжелых фракций.

Применяют его для изготовления лаков, клеящих мастик. Измельченные битумные породы используют для асфальтовых мастик, холодного асфальтобетона.

**Нефтяные битумы** получают из нефти. Нефть — сложная смесь углеводородов с примесью органических кислородных, сернистых и азотистых соединений. По способу получения битумы разделяют на остаточные, крекинговые и окисленные.

Остаточные получают после отгонки бензина, керосина, дизтоплива, масел. Остатком является мазут или гудрон, из которых при температуре 300...350 °С получают битум.

Крекинговые битумы образуются в результате расщепления тяжелой части нефти на более легкие углеводороды при температуре 420...650 °С. Крекинг — остаток — применяется как жидкий битум для изготовления вязких дорожных битумов.

Окисленные битумы получают из остаточных и крекинговых битумов при температуре 230...290 °С. Эти битумы имеют повышенное содержание асфальтенов и более теплоустойчивы.

Марку нефтяного битума обозначают БНД, БНК или БН с указанием индекса. Для дорожного битума, цифры индекса показывают интервал изменения глубины проникания иглы, а для кровельного и строительного битумов первая цифра индекса (числитель) указывает среднее значение температуры размягчения, а вторая (знаменатель) — среднее значение глубины проникания иглы.

Физико-механические свойства нефтяных битумов приведены в табл. 10.

Физико-механические свойства нефтяных битумов

Марка битума	Температура размягчения, °С, не ниже	Растяжимость при 25°С, см, не менее	Глубина проникания иглы при 25°С
<b><u>Строительные битумы</u></b>			
БН 50/50	50...60	40	41...60
БН 70/30	70...80	3	21...40
БН 90/10	90...105	1	5...20
<b><u>Кровельные битумы</u></b>			
БНК 45/180	40...50	не нормируется	140...220
БНК 45/190	40...50	то же	160...220
БНК 90/40	85...95	то же	35...45
БНК 90/30	85...95	то же	25...35
<b><u>Дорожные битумы</u></b>			
БНД 200/300	35	-	201...300
БНД 130/200	40	70	131...200
БНД 90/130	43	65	91...130
БНД 60/90	47	55	61...90
БНД 40/60	51	45	40...60
БН 200/300	33	-	201...300
БН 130/200	38	80	131...200
БН 90/130	41	80	91...130
БН 60/90	45	70	61...90

Битумы перевозят в железнодорожных цистернах, в деревянных бочках, бидонах, бумажных мешках, иногда навалом в виде отформованных плит.

Нефтяные битумы следует хранить в специальных складах или под навесом, защищая их от действия солнечных лучей и атмосферных осадков.

### 11.2. Дегтевые вяжущие

К этой группе материалов относят побочные продукты (дегти, масла и пеки), получаемые при переработке каменного и бурого углей, торфа, горных сланцев.

**Дегти.** Дегти представляют собой вязко-жидкие продукты разложения органических веществ, главным образом твердых видов топлива при высокой температуре без доступа воздуха. Дегти имеют сложный состав (состоят из большого количества различных веществ).

Наибольшее значение для строительной промышленности имеют дегти, получаемые при коксовании угля. Газовые дегти образуются при получении из топлива газа.

*Основными показателями свойств каменноугольных дегтей являются:* вязкость, фракционный состав, температура размягчения остатка после разгонки.

*Вязкость* определяют с помощью стандартного вискозиметра. Вязкость понижается при повышении температуры.

*Фракционный состав* дегтей характеризует степень стойкости дегтя к воздействиям внешней среды.

Путем смешивания нефтяных и каменноугольных органических вяжущих полу-

чают рулонные материалы и мастики с повышенными свойствами, дегтебитумные или гидрокамовые.

**Дегтебитумные материалы.** Это смеси каменноугольных дегтепродуктов или сланцевых дегтей с нефтяными битумами.

Дегтебитумные рулонные материалы ДБ получают пропиткой кровельного картона дегтепродуктами с последующим покрытием с обеих сторон нефтяным битумом. Применяют также дегтебитумные материалы с посыпками: крупнозернистой ДББ, чешуйчатой ДБЧ, мелкой минеральной ДБМ.

Дегтебитумные материалы применяют для многослойных плоских, совмещенных и водоналивных кровельных покрытий, для оклеечной гидро- и пароизоляции. Их укладывают на холодных и горячих битумных или дегтевых мастиках.

**Гидрокамовые материалы.** Они состоят из продуктов совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона.

Гидрокамовые материалы РГМ изготавливают пропиткой и покрытием с обеих сторон кровельного картона гудрокамом. Применяют гидрокамовые материалы для многослойных плоских и совмещенных кровель, оклеечной гидроизоляции при склеивании холодными и горячими гидрокамовыми мастиками.

### 11.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы

**Асфальтовый бетон (асфальтобетон)** — искусственный строительный материал, получаемый в результате отвердевания уплотненной асфальтобетонной массы, состоящей из рационально подобранных по качеству и тщательно перемешанных компонентов: щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Асфальтобетон без крупного заполнителя (щебня) называют песчаным асфальтом, или асфальтовым раствором.

В современном строительстве асфальтобетоны занимают одно из ведущих мест, поскольку являются важнейшими материалами для устройства дорожных и аэродромных покрытий, оросительных каналов, плоских кровель, гидротехнических сооружений.

*К основным классификационным признакам асфальтобетонов относят* разновидность крупного заполнителя, вязкость битумов, размеры зерен щебня или гравия, структурные параметры, производственное назначение и др.

В зависимости от вида крупного заполнителя асфальтобетоны разделяют на щебеночные, состоящие из щебня, песка, минерального порошка и битума; гравийные, в состав которых входят гравий, песок или гравийно-песчаный материал, минеральный порошок и битум; песчаные асфальтобетоны, в которых отсутствует крупный заполнитель (щебень или гравий).

В зависимости от температуры приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетоны подразделяют на горячие, с температурой приготовления 140...160 °С и температурой укладки и уплотнения не ниже 120 °С; и холодные, с температурой приготовления до 120 °С и укладкой с температурой до 60 °С.

**Материалы для асфальтобетона.** *Битум.* Вид и марку битума принимают в зависимости от температуры приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетонов.

*Щебень* для асфальтобетона изготавливают из прочных и морозостойких горных

пород — гранитов, базальтов, диабазов, плотных известняков, доломитов или металлургических шлаков. Предел прочности изверженных и метаморфических горных пород не должен быть ниже 100...120 МПа, осадочных пород не ниже 80 МПа. Гравий в качестве крупного заполнителя в асфальтобетонах применять не рекомендуется, его следует дробить. Щебень должен применяться в виде фракций 5...10, 10...15, 10...20, 20...40 мм.

*Песок.* В качестве мелкого заполнителя для асфальтобетона применяют природные и искусственные пески. Лучшими являются крупные и средней крупности пески.

*Минеральный порошок* в асфальтобетоне выполняет роль структурной составляющей. Совместно с битумом он образует асфальтовые вяжущие, которые соединяют щебень и песок в монолит. Получают его помолом известняков, шлаков, асфальтовых пород.

**Свойства асфальтобетона.** Одна из основных характеристик асфальтобетона — предел прочности при сжатии. Он определяется испытанием образцов-цилиндров, диаметром и высотой равных 101, 71,4 и 50,5 мм, при 20 и 50 °С в сухом или водонасыщенном состоянии и зависит от прочности асфальтового вяжущего и битума. С повышением температуры прочность уменьшается.

Предел прочности при сжатии для горячих асфальтобетонов при 20 °С составляет 1,6...2,4 МПа, при 50 °С — не ниже 0,8 МПа.

Асфальтобетон должен обладать определенной прочностью на сдвиг. Она в 2...3 раза ниже, чем на сжатие.

Недостаточная сдвигоустойчивость приводит к образованию волн на покрытии.

На долговечность асфальтобетона оказывает влияние его пористость. В зависимости от марки асфальтобетона она должна быть от 2,5 до 4,5 %.

При воздействии воды может происходить разрушение асфальтобетона. Водостойкость характеризуется водонасыщением, набуханием и коэффициентом водостойкости.

Водонасыщение не должно превышать 4,5 % по объему. Оно влияет на морозостойкость асфальтобетона. При взаимодействии глинистых, илистых и органических примесей в асфальтобетоне с водой может происходить его набухание, что приводит к нарушению структуры и прочности. Набухание допускается от 0,5 до 1,5 %.

Коэффициент водостойкости (коэффициент размягчения) должен быть не менее 0,6...0,85.

Износостойкость характеризуется потерей массы при воздействии истирающих усилий на образец. Горячий асфальтобетон при его эксплуатации в городских условиях изнашивается на 0,2...1,5 мм в год.

**Проектирование состава асфальтобетона.** Проектирование состава асфальтобетона заключается в определении соотношения составляющих материалов для получения достаточной прочности каменного остова, сдвигоустойчивости, износоустойчивости.

Подбор состава асфальтобетона чаще всего выполняется по ГОСТ 9128-76. В основу метода положена зависимость между прочностью и устойчивостью асфальтобетона и плотностью минеральных составляющих при оптимальном содержании битума.



**Приготовление и укладка асфальтобетонной смеси.** Асфальтобетонные смеси приготавливают на стационарных или временных асфальтобетонных заводах. В состав завода входят смесительный, камнедробильный, дробильно-размольный минерального порошка и битумный цеха.

Технология приготовления асфальтобетонной смеси включает приемку материалов из транспортных средств, дозировку, сушку и нагрев щебня и песка, приготовление и выдачу асфальтобетонной смеси.

Транспортировка асфальтобетонной смеси к месту укладки производится автомобилями-самосвалами.

**Дегтебетон.** Каменноугольные, сланцевые и торфяные дегти применяют в дорожном строительстве для изготовления дегтебетона. Дегтебетоны используют также для изготовления различных пресованных изделий — кабельных труб, плит и т. д. Дегтебетон запрещено применять для строительства городских магистралей, так как дегти вредно влияют на здоровье людей.

#### 11.4. Гидротехнические асфальтобетоны и растворы

В отличие от обычного дорожного гидротехнический асфальтобетон должен иметь повышенную водонепроницаемость, водоустойчивость, теплоустойчивость, химическую стойкость, эластичность. Содержание битума и минерального порошка в нем на 1...2 % больше, чем в дорожном.

*Горячие асфальтобетоны* применяют при устройстве противофильтрационных экранов в плотинах, дамбах, каналах и других гидромелиоративных сооружениях.

*Холодные асфальтобетоны* используют обычно при устройстве противофильтрационной облицовки каналов.

Применяют их и при асфальтировании полов и кровель зданий мелиоративного назначения.

Асфальтовые растворы в мелиоративном и водохозяйственном строительстве применяют при устройстве гидроизоляционных штукатурок и покрытий, полов, водоизоляционного ковра плоских кровель и гидроизоляции зданий или сооружений.

Состав асфальтовых растворов подбирают в зависимости от условий эксплуатации их в сооружениях.

## 12. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

### 12.1. Общие сведения о металлах и их видах

**Металлами** называют вещества, характерными свойствами которых являются высокая прочность, пластичность, тепло- и электропроводность, особый блеск, называемый металлическим.

Металлические элементы составляют почти 3/4 всех существующих в природе элементов, но не все находят широкое применение в строительстве. Из наиболее ценных и важных для техники и строительства металлов лишь немногие содержатся в земной коре в больших количествах: алюминий, железо, магний, титан и др. В строительстве металлы применяются в виде металлопроката и металлических изделий.

Металлы, применяемые в строительстве, делят на две группы — черные и цветные.

**Черные металлы** представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме того, в них могут содержаться и другие химические элементы (кремний, марганец, сера, фосфор). С целью придать черным металлам специфические свойства в их состав вводят улучшающие или легирующие добавки (никель, хром, медь и др.). Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяют на чугуны и стали.

*Чугун* — железоуглеродистый сплав с содержанием углерода 2...4,3 %. В зависимости от назначения различают чугуны литейные, чугуны переплавные и чугуны специальные. *Литейные чугуны* применяют для отливки различных строительных деталей; *переплавные* — используют для производства стали; *специальные чугуны* — в качестве добавок при производстве стали и чугуна литья специального назначения.

*Сталь* — ковкий железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2 %. В зависимости от способа получения стали разделяют на *мартеновские, конвертерные и электростали*. По химическому составу в зависимости от входящих в сплав химических элементов стали бывают *углеродистые и легированные*. К углеродистым сталям относят сплавы железа с углеродом и примесями марганца, кремния, серы и фосфора. *Легированными* называют стали, в состав которых входят легирующие добавки (никель, хром, вольфрам, молибден, медь, алюминий и др.).

По назначению стали могут быть *конструкционные*, применяемые для изготовления строительных конструкций и деталей машин, *специальные*, характеризующиеся высокой жаро- и износостойкостью, коррозионной стойкостью, и *инструментальные*.

**Цветные металлы** в чистом виде весьма редко используют в строительстве. Значительно чаще находят применение легкие и тяжелые сплавы цветных металлов.

*Легкие сплавы* получают на основе алюминия или магния. Наиболее распространены алюминиево-марганцевые, алюминиево-кремнеземистые, алюминиево-магниевые и сплавы дюралюминия. Их используют для несущих (фермы и др.) и ограждающих (оконные переплеты и др.) конструкций зданий и сооружений.

*Тяжелые сплавы* получают на основе меди, олова, цинка, свинца. Среди тяжелых сплавов в строительстве применяют бронзу (сплав меди с оловом или сплав меди с алюминием, железом и марганцем) и латунь (сплав меди с цинком). Из этих сплавов изготавливают архитектурные детали и санитарно-техническую арматуру.

## 12.2. Изделия из чугуна

**Свойства и марки чугуна.** В зависимости от содержания примесей и скорости охлаждения получают два основных вида чугуна: *белый и серый*. Эти наименования соответствуют цвету чугуна. Белый имеет высокую твердость, но весьма хрупок; его применяют для получения ковкого чугуна и стали. Серый чугун в расплавленном состоянии обладает хорошей текучестью и легко заполняет формы, дает малую усадку при затвердении, а также легко поддается механической обработке. Серый чугун характеризуется пределом прочности при растяжении 120...210 и при изгибе 280...400 МПа.

**Чугунные изделия.** В современном гражданском, промышленном, сельскохозяйственном и транспортном строительстве широко используют чугунные изделия. Среди них в первую очередь следует назвать санитарно-технические изделия и оборудование, например, отопительные радиаторы, ванны, мойки, вентили. Чугунные трубы применяют для стояков санитарно-технических кабин, канализационных сетей, для отвода промышленных вод и т. д.

Чугунные литые изделия изготовляют различными способами, среди которых наиболее простым является *литье в формы*. Из серого чугуна путем отливки получают элементы строительных конструкций, работающих на сжатие: колонны, опорные подушки, арки, своды, тубинги метрополитена, плиты для полов промышленных зданий и т. п. Его используют для литья труб, печных приборов (топочные дверцы, задвижки, колосники), а также арматурно-художественных изделий.

## 12.3. Виды и свойства сталей

Стали для строительных конструкций разделяют на виды и маркируют условными обозначениями, в которых отражается состав и назначение стали, механические и химические свойства, способы изготовления и раскисления.

**Маркировка сталей.** По стандарту марку углеродистой стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 7. Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами, которые показывают содержание углерода в сотых долях процента (0,8; 25 и т. д.).

В отличие от маркировки углеродистых сталей буквы в марке низколегированных сталей показывают наличие в стали легирующих примесей, а цифры — их среднее содержание в процентах; предшествующие буквам цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Для маркировки стали каждому легирующему элементу присвоена определенная буква: кремний — С, марганец — Г, хром — Х, никель — Н, молибден — М, вольфрам — В, алюминий — Ю, медь — Д, кобальт — К. Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода (в сотых долях процента для инструментальных и нержавеющей сталей); затем буквой указан легирующий элемент и последующими цифрами — его среднее содержание, например, сталь 3Х13 содержит 0,3 % — С и 13 % — Cr, марки 2Х17Н2 — 0,2 % — С, 17 % — Cr и 2 % — Ni.

**Углеродистые стали.** Сталь углеродистая обыкновенного качества — сплав железа с углеродом. В ее составе также присутствуют в небольшом количестве примеси: кремний, марганец, фосфор и сера, каждая из которых оказывает определенное влияние на механические свойства стали. В сталях обыкновенного качества, применяемых в строительстве, углерода содержится 0,06...0,62 %. Стали с низким содержанием углеро-

да характеризуются высокой пластичностью и ударной вязкостью. Повышенное содержание углерода придает стали хрупкость и твердость.

Наиболее широко в строительстве используют сталь марки Ст3, которая идет на изготовление металлических конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений, опор линии электропередач, резервуаров и трубопроводов, а также арматуры железобетона.

**Легированные стали.** Низколегированные стали наиболее часто применяют в строительстве. Содержание углерода в низколегированных сталях не должно превышать 0,2 %, при большем количестве понижаются пластичность и коррозионная стойкость, а также ухудшается свариваемость стали. Легирующие добавки влияют на свойства стали следующим образом: *марганец* увеличивает прочность, твердость и сопротивление стали износу; *кремний и хром* повышают прочность и жаростойкость; *медь* — стойкость стали к атмосферной коррозии; *никель* способствует улучшению вязкости без снижения прочности. Низколегированные стали имеют более высокие механические свойства, чем малоуглеродистые. Стали, содержащие никель, хром и медь, высокопластичны, хорошо свариваются, их с успехом используют для сварных и клепаных конструкций промышленных и гражданских зданий, пролетных строений мостов, нефтерезервуаров, труб и т. д.

#### 12.4. Изделия из стали

Металлообрабатывающая промышленность выпускает обширную номенклатуру различных стальных изделий.

**Профильную сталь** применяют для изготовления при помощи сварки или клепки разнообразных стальных строительных конструкций (каркасы и фермы промышленных и гражданских зданий, пролетные строения мостов, опоры ЛЭП, фонари освещения зданий и т. д.). Кроме того, из прокатной и штампованной стали специальных профилей выполняют оконные переплеты промышленных и общественных зданий.

*Прокатную сталь* квадратного сечения, а также полосовую сталь используют в строительстве для различных целей. Круглую сталь в основном употребляют в качестве арматуры для железобетона.

Прокатная листовая сталь имеет ряд разновидностей: прокатная толстолистовая шириной 600...3800 и толщиной 4...160 мм; прокатная тонколистовая шириной 600...1400 и толщиной 0,5...4 мм; листовая кровельная, в том числе оцинкованная, шириной 510...1500 и толщиной 0,5...2 мм, а также листовая волнистая и рифленая.

*Стальные трубы* цельнотянутые и сварные диаметром 59...1620 мм используют для магистральных газо- и нефтепроводов, водоснабжения, отопления и других целей.

*Мелкие стальные изделия* в виде болтов, гаек, шайб, заклепок широко применяют при изготовлении из прокатных стальных профилей разнообразных строительных конструкций.

Любое строительство не обходится без стальных крепежных изделий — шурупов, винтов, гвоздей, скоб, а также без скобяных изделий, необходимых для комплектации дверных и оконных блоков, санитарно-технических кабин (петли, ручки, замки и др.).

**Стальная арматура.** В среднем для получения 1 м<sup>3</sup> железобетона требуется 50...100 кг стали. Для армирования железобетона используют стальные стержни и проволоку как непосредственно, так и в виде сеток и каркасов.

Арматуру подразделяют на *ненапрягаемую*, используемую для обычного армирования, и *напрягаемую*, используемую в предварительно напряженном железобетоне.

*Стержневая арматурная сталь* представляет собой стержни диаметром 6...80 мм. В зависимости от марки стали и от физико-механических показателей стержневая арматура делится на шесть классов.

В зависимости от механических свойств стержневую арматуру разделяют на классы с условным обозначением А. Условные обозначения классов горячекатаной арматурной стали: А-1, А-2, А-3, А-4 и др. При обозначении класса термически упрочненной арматурной стали к индексу “А” добавляют индекс “Г”, например Аг-3.

Арматурные стержни класса А-1 — гладкие, А-2–А-6 — периодического профиля (рис. 15а, б), что улучшает их сцепление с бетоном. Стержневую арматуру диаметром более 10 мм поставляют в виде прутков длиной от 6 до 18 м; диаметром 6...9 мм (называемую катанкой) — в бухтах и выпрямляют в стержни на месте применения.

*Стальную арматурную проволоку* изготовляют двух классов: В-1 — из низкоуглеродистой стали (предел прочности 550...580 МПа) и В-2 — из высокоуглеродистой или легированной стали (предел прочности 1300...1900 МПа).

Проволока класса В-1 предназначена для армирования бетона без предварительного напряжения, В-2 — для предварительного напряженного армирования. Если на проволоке делают рифления для улучшения сцепления с бетоном (рис. 15в), то в обозначении добавляют букву “р” (например, Вр-1 или Вр-2).

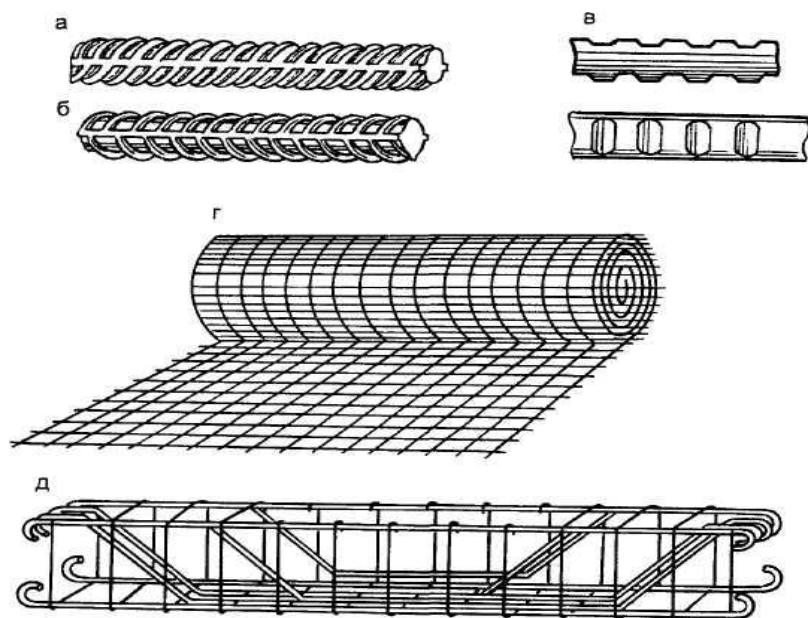


Рис. 15. Стальная арматура для железобетона:

а, б — горячекатаные стержни периодического профиля;  
 в — холодотянутая профилированная проволока;  
 г — арматурная сетка;  
 д — арматурный каркас

Из арматурной стали изготовляют также арматурные сетки и каркасы (рис. 15, г, д), нераскручивающиеся пряжи и стальные канаты.

Арматурную сталь необходимо хранить в закрытых помещениях или под навесом на стеллажах отдельно по видам и маркам стали, а также по диаметрам. При хранении арматурной стали необходимо предохранять ее от загрязнения и коррозии.

## 12.5. Коррозия стали и методы борьбы с ней

Разрушение металлов в результате химического или электрохимического воздействия на них внешней среды называют **коррозией**.

В результате коррозии безвозвратно теряется около 10...12 % ежегодно произведенных черных металлов. Коррозия может быть химической и электрохимической.

**Химическая коррозия.** Химическая коррозия — это разрушение металла в процессе воздействия на него агрессивных агентов.

Продуктами химической коррозии металла являются рыхлые образования окислов, получающиеся при реакции металла с кислородом и влагой среды, с кислотами.

**Электрохимическая коррозия.** Сущность электрохимической коррозии металлов состоит в том, что если в раствор какой-либо соли (электролита) погрузить два разнородных металла, а наружные концы их замкнуть, то возникает электрохимический процесс с образованием гальванического тока. При этом возникает так называемая макрокоррозия, при которой в раствор будет переходить металл.

**Межкристаллитная коррозия.** При любом виде коррозии на металле образуется более или менее глубокая коррозионная язва. Металл приобретает также коррозионную хрупкость как результат этой коррозии, т.е. коррозии, при которой металл под влиянием внешней среды разрушается по границам зерен сплава без видимых следов коррозии.

**Защита металлов от коррозии.** Применяют стойкие противокоррозионные сплавы (главным образом железоуглеродистые, в состав которых входят легирующие элементы), защиту основного металла металлическими и неметаллическими покрытиями.

Защитные *металлические покрытия* наносят на металлы гальваническим, химическим, анодизационным, диффузионным, горячим или металлизационным способами.

К *неметаллическим покрытиям* относят: эмалирование, покрытие стеклом или обмазками, создание высыхающих или невысыхающих пленок, напыление пластмасс, и др.

Для антикоррозионной изоляции стальных изделий может применяться битумно-асбестовая мастика, цементно-казеиновое покрытие.

Помимо перечисленных мероприятий борьба с коррозией металлов осуществляется рациональным конструктивным оформлением металлических конструкций, при котором исключается возможность попадания и задержки влаги в стыках и на поверхности металла; применением проекторов, т.е. присоединением к основному металлу менее устойчивого против коррозии (например, цинковых или других материалов); катодной защитой подземных металлических сооружений (трубопроводов и др.); присоединением к катоду отдельного источника питания и заземлением анода.

## 12.6. Цветные металлы и их сплавы

**Алюминий и его сплавы.** Алюминий — легкий серебристо-белый металл. Важное достоинство его - низкая плотность (2700 кг/м<sup>3</sup>). В чистом виде алюминий мягок, пластичен, хорошо отливается, прокатывается, температура плавления — 657 °С. Алюминий имеет повышенную стойкость к коррозии на воздухе, высокую теплопроводность и электропроводность. Предел прочности при растяжении — 90...120 МПа, относительное удлинение — 20...30 %.

В строительстве алюминий применяется для отливки деталей, изготовления по-

рошков (алюминиевые краски и газообразователи при изготовлении ячеистых бетонов), фольги, электропроводов. Из алюминиевой фольги делают эффективный утеплитель (альфоль), используют ее в качестве отражателя тепловых лучей, а также декоративного материала. Из алюминиевых сплавов получают различные архитектурные детали.

Алюминий применяют в виде сплавов. Сплавы, состоящие из алюминия, меди, магния и марганца, носят название *дюралюминий*. Сплавы алюминия имеют предел прочности при растяжении более 100 МПа. Из алюминиевых сплавов изготавливают плоские и волнистые листы, прокатные, гнутые, сварные профили, трубы.

**Медь и ее сплавы.** Медь — металл красного цвета с плотностью  $8800 \text{ кг/м}^3$ , температурой плавления  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ , пределом прочности при растяжении около 200 МПа. Медь — мягкий и пластичный металл, хорошо проводит электричество и тепло.

Медь применяют для изготовления электрических проводов и сплавов.

Сплав, состоящий из меди и цинка, называют *латунью*. Латунь обладает высокими механическими и антикоррозийными свойствами и поддается горячей и холодной обработке. Иногда к сплаву латуни добавляют свинец, олово, алюминий, кремний и др. Применяют ее в виде листов, прутьев, проволоки, труб. Латунь в строительстве применяют также в виде изделий, сочетающих антикоррозийные и художественные качества (для отделки интерьеров — базы колонн, различные погонажные изделия).

Сплавы меди с оловом (до 10 %) или с алюминием, никелем, кремнием носят название бронз. Бронзу применяют в виде изделий для внутреннего оборудования зданий (сантехническая арматура, вентиляционные решетки, детали карнизов, фурнитуры и др.).

**Магний и сплавы.** Магний — один из наиболее легких металлов. Средняя плотность его  $1730 \text{ кг/м}^3$ , температура плавления —  $649 \text{ }^\circ\text{C}$ . Применяют магний при изготовлении специальных легких сплавов.

**Цинк.** Плотность цинка  $7000 \text{ кг/м}^3$ . Температура плавления —  $419 \text{ }^\circ\text{C}$ . Применяют главным образом для оцинкования различных стальных изделий (гвоздей, болтов, кровельной стали), в качестве составляющего сплавов.

**Свинец** — мягкий, пластичный, тяжелый металл. Плотность свинца —  $11400 \text{ кг/м}^3$ . Температура плавления —  $325 \text{ }^\circ\text{C}$ . Свинец хорошо лется и прокатывается, хорошо противостоит действию серной и соляных кислот. Предел прочности при растяжении — до 20 МПа, твердость по НВ = 5,9. Свинец непроницаем для рентгеновских лучей и частично не пропускает гамма-лучи. Применяется в строительстве для специальных труб, антикоррозийных покрытий, звуко- и гидроизоляции и как составная часть некоторых легких сплавов.

**Олово.** Плотность олова —  $7230 \text{ кг/м}^3$ . Температура плавления —  $232 \text{ }^\circ\text{C}$ . Олово — мягкий, стойкий против коррозии металл. Применяется для лужения стали и меди в качестве припоя и как составная часть цветных легкоплавных сплавов. Предел прочности при растяжении — 35...45 МПа, относительное удлинение — 40 %, твердость по НВ = 12.

Сплавы, состоящие из свинца, олова, сурьмы, меди, применяют в качестве антифрикционных (*анти* — против, *фрикцио* — трение) или подшипниковых. Такие сплавы носят название *бabbitов*.

## 13. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОЛИМЕРОВ И ПЛАСТИЧЕСКИХ МАСС

### 13.1. Общие сведения о полимерах и пластмассах, их состав

**Полимеры** представляют собой высокомолекулярные соединения (смолы), молекулы которых состоят из многократно повторяющихся структурных звеньев. По происхождению полимеры подразделяют на природные и искусственные (синтетические).

*Природные полимерными материалами* являются древесина, волокна хлопка и джута, натуральные шелк и шерсть, каучук и битум. Природными полимерами являются белки, нуклеиновые кислоты и некоторые другие соединения.

*Искусственные полимеры*, применяемые в производстве строительных материалов, получают из каменного угля, нефти, природного газа путем его переработки на химических предприятиях методами полимеризации или поликонденсации.

При реакции **полимеризации** большое количество одинаковых молекул простых соединений (мономеров) соединяется в одну сложную молекулу (полимер). Полимеризацией получают полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен и другие полимеры.

При реакции **поликонденсации** из нескольких простых соединений образуется полимер, состав которого отличается от состава исходных продуктов. Поликонденсацией получают фенолоформальдегидные, карбамидные, полиамидные, полиэфирные и другие полимеры.

В зависимости от поведения полимеров при нагревании и охлаждении их разделяют на термопластичные и термореактивные.

*Термопластичные* полимеры характеризуются способностью размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении. Они обладают большим электросопротивлением, малым водопоглощением и высокой химической стойкостью, однако имеют низкую теплостойкость, малую твердость, легко разбухают и растворяются в органических растворителях. К этой группе относится большинство полимеризационных полимеров.

*Термореактивные* полимеры затвердевают при действии теплоты и давления и не размягчаются при повторном нагреве. Они отличаются от термопластичных полимеров большей прочностью, теплостойкостью и твердостью. К этой группе относят фенолоформальдегидные, карбамидные, эпоксидные и некоторые другие полимеры.

На основе искусственных и природных полимеров готовят пластические массы, характерной особенностью которых является способность в процессе изготовления принимать заданную форму и устойчиво сохранять ее.

**Пластическими массами** называют материалы, в состав которых входят полимеры. Эти вещества придают пластическим массам на определенной стадии их переработки пластичность, т.е. способность принимать требуемую форму и сохранять ее после снятия давления. Полимеры применяют в сочетании с наполнителями, пластификаторами, красителями, стабилизаторами и некоторыми другими веществами.

*Наполнители — это вещества:* порошкообразные (кварцевая мука и др.), волокнистые (асбестовые, древесные и стеклянные волокна) и слоистые (бумага, хлопчатая ткань, стеклоткань, древесный шпон и др.). Они придают пластмассам высокую проч-



ность, теплостойкость, кислотостойкость, долговечность, повышенную ударную вязкость и др. Наполнители намного дешевле полимеров, поэтому введение их в состав пластических масс значительно снижает стоимость материалов и изделий.

*Пластификаторы* применяют для придания пластичности и улучшения формовочных свойств пластмасс. В качестве пластификаторов рекомендуются дибутилфталат, камфора, олеиновая кислота и др.

*Отвердители* вводят для сокращения времени отверждения пластмасс и ускорения технологического процесса производства изделий.

*Красители* придают пластмассам определенные цвета. Красителями служат стойкие во времени и к действию света органические (нигрозин, хризодин) и минеральные (охра, сурик, мумия, умбра и др.) пигменты.

*Стабилизаторы* тормозят старение пластмасс, повышают их долговечность.

### 13.2. Основные свойства полимеров и пластмасс

Пластические массы обладают рядом физико-механических свойств, которые дают им значительные преимущества перед наиболее распространенными строительными материалами. Это следующие свойства.

*Истинная плотность* пластмасс находится в пределах 900...1800 кг/м<sup>3</sup>. *Средняя плотность* пластмасс колеблется в широких пределах и составляет у пористых 15...30 кг/м<sup>3</sup> и у плотных — 1800...2200 кг/м<sup>3</sup>.

*Прочность* пластмасс различна. Предел прочности при сжатии пластмасс с порошкообразным наполнителем составляет 100...150 МПа, у стекловолокнистых пластмасс достигает 400 МПа.

*Теплопроводность* пластмасс зависит от их пористости. Теплопроводность плотных пластмасс равна 0,2...0,7 Вт/(м · °С), пористых, например, пено- и поропластов, — 0,03...0,04 Вт/(м · °С).

Пластмассы обладают высокой *химической стойкостью* по отношению к воде, кислотам, растворам солей, органическим растворителям.

Пластмассы *хорошо окрашиваются* в любые цвета. Некоторые ненаполненные пластмассы прозрачны и обладают высокими оптическими свойствами.

Пластмассы *легко обрабатывать*: пилить, сверлить и т.п. Ценным свойством пластмасс является легкость технологической переработки — возможность придания им разнообразной формы. Изделия из пластмасс получают различными методами: *литьем под давлением* (полистирольные плитки); непрерывным профильным выдавливанием — *экструзией* (трубы и погонажные изделия, поручни, плинтусы); *на вальцах* с последующим пропусканием между вальками каландра (рулонные материалы, например линолеум); *формованием под давлением* в пресс-формах (дверные ручки и др.).

Пластмассам присущи и **недостатки**, ограничивающие область их применения. Основной недостаток многих пластмасс — низкая теплостойкость (70...200 °С). Пластмассы горят и выделяют при горении токсичные газы. Пластмассы обладают повышенной ползучестью. Существенным недостатком пластмасс является старение, которое выражается в потемнении поверхности и самопроизвольном разрушении изделий.

### 13.3. Материалы и изделия из пластмасс

#### 13.3.1. Материалы для несущих и ограждающих конструкций

*Полимербетон* — разновидность бетона, в котором вместо минерального вяжущего использованы терморезактивные полимеры: эпоксидные, полиэфирные, фенолоформальдегидные. Полимербетон получают, смешивая полимерное связующее и заполнители. Связующее состоит из жидкого олигомера, отвердителя и тонкомолотого минерального наполнителя, который уменьшает расход полимера и улучшает свойства полимербетона. Твердеют полимербетоны при нормальной температуре в течение 12...24 ч, а при нагревании — еще быстрее.

Главное свойство полимербетона — высокая химическая стойкость как в кислых, так и в щелочных средах. Кроме того, полимербетоны обладают высокой прочностью ( $R_{сж} = 60...100$  МПа), плотностью, износостойкостью и отличной адгезией к другим материалам. Наряду с этим полимербетоны характеризуются повышенной деформативностью и невысокой термостойкостью.

*Полимерцементные бетоны* получают, добавляя полимер непосредственно в обычную бетонную или растворную смесь. Расход полимерной добавки — от 1 до 30 % от массы цемента. Наибольшее распространение получили полимерцементные растворы и бетоны с добавкой водных дисперсий полимеров (например, поливинилацетатной и акриловой дисперсии, латексов синтетических каучуков). Полимерные добавки используют также для модификации гипсовых материалов.

Применяют полимерцементные бетоны для покрытия полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов, для наружной отделки по кирпичным и бетонным поверхностям, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов.

*Бетонополимер* представляет собой бетон, пропитанный после затвердения мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки переходят в твердые полимеры, заполняющие поры бетона. В результате этого более чем в 2 раза повышается прочность бетона ( $R_{сж} = 80...120$  МПа) и его морозостойкость. Бетонополимеры практически водонепроницаемы. Для получения бетонополимера используют главным образом стирол и метилметакрилат, полимеризующиеся в бетоне соответственно в полистирол и полиметилметакрилат.

*Стеклопластики* представляют собой материалы, состоящие из полимеров и наполнителя — стеклянного волокна. Стеклянное волокно обеспечивает высокую прочность материала, а смола связывает отдельные волокна, распределяет усилия между ними и защищает их от внешних воздействий.

По виду и расположению стекловолоконистого наполнителя их делят на три основные группы: стекловолоконистый анизотропный материал (СВАМ), стеклопластик на основе рубленого волокна и стеклопластик на основе стеклоткани (стеклотекстолит).

*Стекловолоконистый анизотропный материал (СВАМ)* получают методом горячего прессования пакета листов стеклошпона. Стеклошпон — тонкие полотнища однонаправленных стеклянных нитей, склеенных спиртовыми растворами (эпоксидно-фенольных) смол. Обычно листы СВАМ имеют длину до 1000, ширину до 500 и толщину от 1 до 30 мм.

В строительстве из стеклопластиков СВМ изготавливают несущие элементы, оболочки навесных панелей и пространственных ограждений конструкций.

В качестве связующего для стеклопластиков на основе рубленого стекловолокна служат полиэфирные смолы. Стеклопластики выпускают в виде плоских и волнистых листов длиной 1000...6000, шириной до 1500 и толщиной 1...1,5 мм. Плотность их равна 1400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении — не менее 60 МПа, при сжатии не менее — 90 МПа и при изгибе не менее — 130 МПа, светопрозрачность — 50...85 %.

*Стеклопластики* на основе рубленого стекловолокна применяют для изготовления светопроницаемых ограждений фонарей, светопрозрачных перегородок. Полупрозрачные, окрашенные волнистые стеклопластики используют для отделки балконов и устройства кровли павильонов, кафе, киосков, навесов.

*Стеклотекстолит* получают методом горячего прессования уложенных правильными слоями в пакеты полотниц стеклоткани, которую предварительно пропитывают растворами фенолформальдегидных смол и подсушивают. Стеклотекстолит выпускают в виде листов длиной 2400, шириной 600...1200 и толщиной 9...35 мм. Плотность стекловолокнистых листов 1850 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении — 230, при сжатии — 95 и при изгибе — 120 МПа. Стеклотекстолит обладает высокой теплостойкостью, водостойкостью, коррозионной и химической устойчивостью.

Листовой стеклотекстолит предназначен для изготовления трехслойных панелей, оболочек, волнистой кровли и т. д.

*Древесноволокнистые отделочные плиты* производят методом горячего прессования волокнистых материалов (древесные волокна, камыш и др.), пропитанных синтетическими смолами.

Отделочные древесноволокнистые плиты имеют длину 1200...2700, ширину 1200...1700 и толщину 3...6 мм. Они достаточно прочны и обладают высокими эксплуатационными свойствами. Их применяют для облицовки стен в лабораториях, магазинах, больницах, кинотеатрах, а также для встроенной мебели.

*Древесностружечные отделочные плиты* получают горячим прессованием древесной стружки, смешанной с синтетическими термореактивными смолами.

Длина древесностружечных отделочных плит составляет 2500...3500, ширина 1250...1750 и толщина 10...25 мм. Плотность их обычно 600...700 кг/м<sup>3</sup>. Лицевую поверхность плит покрывают лаками, эмалями и красками, а также облицовывают шпоном, фанерой, листовыми пластиками и другими материалами.

Высокие прочностные и декоративные свойства отделочных древесностружечных плит позволяют успешно применять их для облицовки дверей, отделки встроенной мебели, устройства перегородок, подвесных потолков и других элементов.

*Декоративный бумажно-слоистый пластик* — листовой материал, изготавливаемый методом горячего прессования пакетов из нескольких слоев бумаги, предварительно пропитанной синтетическими смолами. Верхний слой бумажно-слоистого пластика представляет собой лист с рисунком, имитирующим ценные породы дерева или камня (дуб, орех, карельская береза, мрамор, малахит и др.).

Листы бумажно-слоистого пластика имеют длину 400...3000, ширину 400...1600

и толщину 1...3 мм. Плотность бумажно-слоистого пластика — 1400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе — не менее 100 МПа. Он не расслаивается, атмосферо- и морозостоек, легко поддается механической обработке (распиловке, сверлению, строганию, фрезерованию и даже гнутью).

Бумажно-слоистый пластик служит для внутренней отделки культурно-бытовых, торговых и общественных зданий, а также для щитов встроенной и обычной мебели.

*Полистирольные облицовочные плитки* изготавливают методом литья под давлением. Размеры полистирольных облицовочных плиток 100×100 и 150×150 мм при толщине 1,25 и 1,35 мм. Цвет плиток разнообразный (белый, желтый, бирюзовый, синий и др.).

Полистирольные плитки применяют для внутренней облицовки стен и панелей в помещениях жилых, общественных и промышленных зданий с повышенными гигиеническими требованиями и температурно-влажностным режимом эксплуатации (душевые кабины, санитарные узлы, кухни, лаборатории и др.).

*Фенолитовые облицовочные плитки* получают прессованием смеси из связующего (фенолоформальдегидные смолы), отвердителя и наполнителя (древесная мука, тальк и др.). Размеры фенолитовых плиток — 100×100 и 150×150 мм толщиной 1,5 мм. Расцветка плиток весьма разнообразна. Фенолитовые облицовочные плитки характеризуются высокой механической прочностью и химической стойкостью, кроме того, они термостойки, паронепроницаемы, водо- и морозостойки.

Фенолитовые плитки предназначены для облицовки внутренних стен лабораторий, производственных цехов и других помещений, где возможно воздействие агрессивных химических сред.

### 13.3.2. Материалы для полов

*Линолеум* выпускают в рулонах шириной 1200...2000 мм, длиной не менее 12 м. Толщина в зависимости от вида линолеума — 1,2...6 мм.

Рулоны линолеума хранят в вертикальном положении в сухом помещении при температуре не ниже 10 °С. За несколько суток до настилки линолеум раскатывают, чтобы ликвидировать волнистость. К основанию пола линолеум крепят на мастиках.

*Релин* — многослойный материал, лицевой слой которого изготовлен из цветной резины на синтетических каучуках, а нижний — с использованием старой дробленой резины. Средний слой часто делают пористым. Релин настилают в помещениях с повышенной влажностью, к которым предъявляют высокие гигиенические требования (кухни, санитарно-технические узлы, раздевалки).

**Мастичные бесшовные покрытия.** В мастичные составы входят полимер, наполнители и пигменты. Наносят их на основание пола слоем 0,5...1 см. После затвердевания образуется бесшовное покрытие. Такие покрытия отличаются высокой химической стойкостью, износостойкостью и хорошим сопротивлением ударным нагрузкам.

В зависимости от вида полимерного компонента различают составы на водных дисперсиях полимеров (например, на поливинилацетатной дисперсии или латексах синтетических каучуков) и на жидких термореактивных олигомерах (на полиэфирных и эпоксидных смолах). Второй тип мастичных составов дает более прочное и химически стойкое покрытие.

### 13.3.3. Трубы, санитарно-технические и погонажные изделия

В последние годы в строительстве широко применяют трубы, санитарно-технические изделия и детали оборудования, изготавливаемые из пластических масс.

**Пластмассовые трубы** получают методом непрерывной шнековой экструзии из полиэтилена, поливинилхлорида и других полимерных материалов. Трубы выпускают диаметром от 6 до 150 мм при толщине стенок от 2 до 8 мм. Они рассчитаны на рабочее давление до 1,2 МПа. Трубопроводы из пластмасс используют в разных отраслях народного хозяйства, в том числе и в строительстве, где они служат для водоснабжения, канализации, вентиляции и др. Пластмассовые трубы имеют достаточную прочность и эластичность, не подвержены коррозии, обладают высокой водо- и химической стойкостью, малой массой, низкой теплопроводностью, имеют гладкую внутреннюю поверхность, на которой не осаждаются минеральные вещества. Гидравлическое сопротивление жидкостей в пластмассовых трубах меньше, чем в чугунных. Кроме того, за счет выпуска длинномерных пластмассовых труб обеспечивается возможность сокращения количества соединений, что снижает трудоемкость и стоимость монтажа трубопровода. При этом эксплуатация пластмассовых труб обходится дешевле, чем металлических. Отрицательным свойством труб из пластических масс является низкая теплостойкость, поэтому их нельзя монтировать вблизи источников выделения тепла, имеющих на своей поверхности температуру выше 60 °С. Несмотря на высокую стоимость пластмассовых труб, перспективность расширения их производства и применения не вызывает сомнения.

**Санитарно-технические изделия.** Пластические массы являются хорошим материалом для изготовления самых различных санитарно-технических изделий и приборов — умывальников, раковин, унитазов, смывных бачков, ванн, сифонов, смесителей, вентиляционных решеток и т. п. В зависимости от вида изделий и условий их эксплуатации они могут быть либо полностью пластмассовыми, либо с частичным применением металлов.

Санитарно-технические изделия из пластических масс легки, имеют достаточную прочность, не требуют систематической окраски, не корродируют, гигиеничны, а гладкая полированная поверхность и светлая расцветка различных тонов придают им красивый внешний вид.

**Погонажные изделия.** К погонажным строительным изделиям, изготавливаемым на основе полимеров, относят плинтусы, поручни для лестниц, балконов и других ограждений, накладки на проступи лестничных маршей, порожки, раскладки для крепления и обработки швов листовых и рулонных облицовочных материалов, рейки для облицовки стен, наличники дверные и оконные, герметизирующие и уплотняющие прокладки для окон, дверей и стыков в крупнопанельных зданиях.

Погонажные изделия получают в основном экструзионным методом из композиций на основе поливинилхлоридной смолы. Эти изделия характеризуются достаточной эластичностью, теплостойкостью, малой горючестойкостью, химической стойкостью, водонепроницаемостью, гигиеничностью и рядом других ценных свойств.

## 14. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Одно из главных требований к ограждающим конструкциям зданий и сооружений (стенам, перекрытиям) — сохранение постоянной температуры внутри здания при минимальных затратах тепловой энергии. Для этого ограждающие конструкции должны в минимальной степени проводить теплоту.

Для создания эффективной тепловой изоляции используют специальные теплоизоляционные материалы. Кроме утепления зданий такие материалы необходимы для устройства тепловой изоляции высокотемпературных промышленных установок (котлов, печей и т. п.), горячих трубопроводов, а также холодильных камер.

Теплоизоляционными считаются материалы, у которых коэффициент теплопроводности  $\lambda = \leq 0,175$  Вт/(м · К). Косвенной характеристикой теплоизоляционного материала является низкая средняя плотность (не более 600 кг/м<sup>3</sup>).

К теплоизоляционным относят материалы, имеющие пористое строение и предназначенные для тепловой изоляции строительных конструкций зданий и сооружений, а также тепловых и холодильных установок и трубопроводов. Тепловая изоляция в промышленном и гражданском строительстве ведет к снижению массы ограждающих конструкций, уменьшению расхода основных материалов, сокращению затрат топлива и электроэнергии.

### 14.1. Классификация теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы классифицируют по следующим признакам:

✓ *средней плотности* на группы и марки, указанные в табл. 11;

Таблица 11

Классификация теплоизоляционных материалов по средней плотности

Группа	Марки	Материалы
Особо низкой плотности	15; 25; 35; 50; 75	Минеральная вата марки 75 и ниже; каолиновое волокно; пенопоропласты; ультратонкое, супертонкое стекловолокно; базальтовое волокно; вспученный перлит; плиты минераловатные и стекловолокнистые и др.
Низкой плотности	100; 125; 150; 175	Минеральная вата марки выше 75; стеклянная вата из непрерывного стекловолокна; плиты минераловатные на синтетическом связующем; прошитые минераловатные маты и др.
Средней плотности	200; 225; 250; 300; 350	Изделия совелитовые, вулканитовые, перлито-цементные, известково-кремнеземистые; плиты минераловатные на битумном связующем; шнуры минераловатные и др.
Плотные	400; 450; 500; 600	Изделия пенидиатомитовые, диатомитовые, из ячеистого бетона; битумперлит монолитный и др.

✓ *виду исходного сырья:*

- неорганические;

- органические;
- ✓ *теплопроводности:*
  - класс **А** — низкой теплопроводности —  $\lambda \leq 0,06$  Вт/(м · К);
  - класс **Б** — средней теплопроводности —  $\lambda = 0,06 \dots 0,115$  Вт/(м · К);
  - класс **В** — повышенной теплопроводности —  $\lambda = 0,115 \dots 0,175$  Вт/(м · К);
- ✓ *форме и внешнему виду:*
  - штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
  - рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты);
  - рыхлые и сыпучие (вата, перлитовый песок и др.);
- ✓ *структуре:*
  - волокнистые (минераловатные, стекловолоконные и др.);
  - зернистые (перлитовые, вермикулитовые);
  - ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, пенопласты);
- ✓ *возгораемости:*
  - негорючие;
  - трудногорючие;
  - сгораемые;
  - трудновоспламеняющиеся (материалы из пластмасс).

## 14.2. Органические теплоизоляционные материалы

Органические теплоизоляционные материалы (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, фибролит, арболит, камышитовые и торфяные плиты, пластмассы и др.) обладают существенными недостатками. Они горючи, как правило, легко поглощают воду и обладают невысокой биостойкостью, что предопределяет их недолговечность. Однако благодаря богатой сырьевой базе (в основном их получают из неделовой древесины, камыша, торфа и других местных материалов) и сложности изготовления их широко применяют в строительстве малоэтажных зданий.

Сравнительно недавно появилась новая группа таких материалов — газонаполненные пластмассы. Они не поглощают воду, биостойки и долговечны, однако, как и все органические материалы, имеют низкую теплостойкость (до 100...150 °С) и горючи.

**Древесноволокнистые плиты (ДВП)** получают измельчением неделовой древесины или других растительных материалов (камыш, костра, солома).

Для тепловой изоляции используют мягкие и полутвердые плиты длиной 1200...3000 мм; шириной 1200...2000 мм.

Применяют древесноволокнистые плиты в конструкциях сборно-щитовых зданий, для изоляционно-отделочной обшивки стен, а также для устройства звукоизоляционных прокладок в конструкциях пола.

**Древесностружечные плиты (ДСП)** получают горячим прессованием специально приготовленной стружки с добавлением небольшого количества мочевиноформальдегидной смолы.

Плиты подразделяют на *легкие* — плотностью 250...500 кг/м<sup>3</sup>, *средние* — 500...600 кг/м<sup>3</sup> и *тяжелые* — плотностью более 600 кг/м<sup>3</sup>.

Древесностружечные плиты применяют для изготовления стен, полов, перегородок, а также столярных изделий и мебели. При хранении и применении их предохраняют от увлажнения (при насыщении водой они сильно набухают и теряют прочность).

**Арболит** изготавливают из смеси цемента, органических заполнителей, химических добавок и воды. В качестве органических заполнителей используют дробленые отходы древесных пород, сечку камыша, костру конопли или льна и т. п.

Арболит характеризуется невысокой плотностью — менее 700 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии колеблется от 0,5 до 3,5 МПа, теплопроводность — 0,1...0,22 Вт/(м · °С). Он обладает рядом ценных строительных качеств: биостоек, трудносгораем, морозостоек, хорошо пилится и сверлится. Изделия из арболита в виде плит и панелей применяют для возведения навесных и самонесущих стен и перегородок, а также в перекрытиях и покрытиях преимущественно сельских зданий различного назначения.

**Камышитовые плиты** производят путем прессования стеблей камыша и прошивки их в поперечном направлении оцинкованной проволокой. Длина плиты — 2400...2800 мм, ширина 500...1500 и толщина 30...100 мм. По плотности плиты выпускают трех марок: 175, 200 и 250, теплопроводность их 0,06...0,09 Вт/(м · °С).

Из камышитовых плит устраивают стены и внутренние перегородки, они служат также для утепления перекрытий жилых малоэтажных зданий и сельскохозяйственных построек.

**Торфяные плиты** получают прессованием малоразложившегося торфа с последующей тепловой обработкой. Водостойкость плит низкая. Плотность торфяных плит 150...250 кг/м<sup>3</sup>. Размеры плиты следующие: длина — 1000 мм, ширина — 500 мм и толщина — 30 мм.

**Газонаполненные пластмассы** — пористый (90...95 %) материал на основе полимеров. Плотность их не превышает 100 кг/м<sup>3</sup>. По характеру пористости и способу ее получения газонаполненные пластмассы делятся на *пенопласты* (мелкие замкнутые поры сферической формы), *поропласты* (сообщающиеся поры) и *сотопласты* (пористая структура, представляет собой ячейки правильной геометрической формы).

Наиболее распространены в строительстве пенопласты. Промышленность изготавливает пенополистирол (ПС-1, ПС-2, ПСБ), пенополивинилхлорид (ПХВ-1, ПХВ-2), фенолоформальдегидный пенопласт (ФРП) в виде плит толщиной 25...100 мм, которые используют для тепловой изоляции конструкций стен, перекрытий и т. п.

На основе этих пенопластов изготавливают трехслойные панели и плиты, наружные слои которых выполнены из асбестоцемента, алюминия или стеклопластика, внутри находится пенопласт. Применяют трехслойные панели для устройства самонесущих стен промышленных зданий и специальных сооружений.



### 14.3. Неорганические теплоизоляционные материалы

Основные положительные свойства неорганических теплоизоляционных материалов — огнестойкость и биостойкость — сочетаются с высокими теплоизоляционными качествами. Из неорганических теплоизоляционных материалов наиболее распространены минеральная вата и изделия из нее, ячеистые бетоны, пеностекло, керамзит.

Минеральная вата и изделия из нее по объему производства занимают первое место среди всех теплоизоляционных материалов благодаря хорошим эксплуатационным свойствам, неограниченной сырьевой базе и относительной простоте производства.

**Минеральная вата** — материал, который состоит из тонких стекловидных волокон, получаемых из расплавленных горных пород (известняки, мергели, доломиты, базальты, граниты, диориты и др.) или металлургических шлаков. В последнем случае она называется *шлаковой ватой*. Теплоизоляционные свойства минеральной ваты обусловлены высоким содержанием воздуха (до 95 %) между волокнами.

Производство минеральной ваты состоит из двух основных технологических процессов: получения силикатного расплава при температуре 1300...1400 °С и превращения этого расплава в тончайшие волокна толщиной 2...7 мкм и длиной 2...40 мм..

В зависимости от плотности минеральную вату подразделяют на марки: 75; 100; 125; 150. Теплостойкость минеральной ваты достигает 700 °С. Минеральная вата трудоемка в применении и склонна к слеживанию, поэтому из нее главным образом выпускают готовые изделия.

**Минераловатные изделия** получают путем склеивания волокон различными связующими (синтетическими смолами, битумом, крахмалом). Выпускают гибкие, жесткие и полужесткие минераловатные изделия. К гибким изделиям относят минеральный войлок, прошивные маты и теплоизоляционный шнур.

**Минеральный войлок** получают уплотнением минеральной ваты, смоченной битумной эмульсией или синтетической смолой. Выпускают минеральный войлок марок от 100 до 200 в виде рулонов или листов толщиной 30...60 мм.

**Минераловатные прошивные маты** — полотнища из минеральной ваты с обкладками с одной или двух сторон, прошитые проволокой или нитью, — выпускают длиной 1000...2500 мм, шириной 500...2500 мм, толщиной 40...120 мм.

Минеральную вату и изделия из нее применяют для утепления наружных конструкций зданий, а также для устройства звукоизолирующих слоев в перекрытиях и внутренних стенах зданий. В промышленном строительстве минеральную вату и изделия из нее, кроме того, применяют для изоляции печей, сушил, холодильных камер, тепловых сетей, оборудования теплоэлектростанций, котельных и т. п.

**Стекловолоконная вата и изделия из нее.** Стекловолоконная вата — материал, состоящий из беспорядочно расположенных стеклянных волокон, полученных из расплавленного сырья. Сырьем для производства стекловаты служат сырьевая шихта для варки стекла.

В зависимости от назначения вырабатывают текстильное и теплоизоляционное (штапельное) стекловолокно. Средний диаметр текстильного волокна 3...7 мкм, а теплоизоляционного — 10...30 мкм.

Стекловолоконное волокно значительно длиннее, чем волокна минеральной ваты, и отличается большой химической стойкостью и прочностью. Плотность стекловатной ваты 75...125 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,04...0,052 Вт/(м · °С), предельная температура применения стекловатной ваты 450 °С. Из стекловолокна выполняют маты, плиты, полосы и другие изделия, в том числе тканые.

**Пеностекло** (ячеистое стекло) — легкий и прочный материал ячеистого строения с пористостью 80...90 %. Пеностекло получают из стекловатного боя с добавлением газообразователей (мела, угля).

Поры в пеностекле замкнутые, поэтому оно практически не поглощает влагу и, следовательно, морозостойко. Пеностекло хорошо обрабатывается: пилится, сверлится.

Плотность пеностекла 200...300 кг/м<sup>3</sup>. При такой плотности его прочность довольно высока — 0,5...3 МПа. Промышленность выпускает пеностекло в виде плит толщиной около 100 мм и размером 500×1000 мм. Применяют пеностекло для тепловой изоляции промышленных холодильников, трубопроводов, укладываемых в грунт, и металлических конструкций зданий.

**Вспученный перлит и изделия из него.** Вспученный перлит представляет собой теплоизоляционный материал, состоящий из пористых зерен.

Сырьем служат горные породы вулканического происхождения стекловидной структуры с наличием связанной воды до 6 %. Вспучивание происходит путем обжига при температуре 850...1250 °С в результате испарения воды. Получают щебень с зернами размером от 5 до 20 мм и песок с зернами до 5 мм.

*Щебень* имеет среднюю плотность от 300 до 600 кг/м<sup>3</sup>, *песок* — от 80 до 300 кг/м<sup>3</sup>. Вспученный перлит имеет высокую гигроскопичность. Водопоглощение по массе составляет до 800...900 %, коэффициент теплопроводности — до 0,055 Вт/(м · °С).

Щебень и песок применяют в качестве засыпок при температуре от –200 °С до +1200...1300 °С и в виде заполнителя для легких бетонов.

На основе вспученного перлита, который выполняет роль высокопористого заполнителя, и различных связующих получают изделия безобжиговые (битумперлит, цементперлит, пластоперлит, гипсоперлит) и обжиговые (керамоперлит, перлитовый легковес на основе легкоплавких связок).

*Битумперлит* применяют для утепления и гидроизоляции совмещенных покрытий, теплоизоляции промышленных холодильников; *пластоперлиты* — в трехслойных стеновых панелях, для утепления холодильников; *цементперлит* — для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до +600 °С.

*Силикатперлит* применяют для изоляции панелей стен, холодильных установок, горячих поверхностей с температурой до 900 °С; *керамоперлит* — для изоляции оборудования и трубопроводов с температурой поверхности до 900 °С; *перлитовый легковес* — для изоляции горячих поверхностей промышленного оборудования.

**Вспученный вермикулит и изделия из него.** Вспученный вермикулит представляет собой теплоизоляционный материал, получаемый в результате обжига измельченного минерала вермикулита. При нагревании до температуры 850...880 °С он вспучива-

ется в результате испарения воды, при этом расщепляется на отдельные пластинки, увеличиваясь в объеме в 15 раз и более.

Средняя плотность вермикулита составляет 80...200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность — 0,056...0,07 Вт/(м · °С), температура плавления — 1210...1350 °С. Из вспученного вермикулита и различных связующих (глине, битуме, жидком стекле, цементе) получают жесткие плиты, полуцилиндры, сегменты для тепловой изоляции конструкций, оборудования, трубопроводов.

**Ячеистые бетоны.** Представляют собой пористый материал, получаемый из минеральных вяжущих, кремнеземистых компонентов и порообразователей. В качестве вяжущих применяются известь, цемент и гипс. Кремнеземистым компонентом, в основном, служит молотый кварцевый песок, а также зола-унос, металлургические шлаки.

Поры создаются за счет введения газообразователей (алюминиевой пудры) или пенообразователей (клееканифоляного, смолосапонинового, гидролизованной крови).

По способу твердения ячеистые бетоны разделяют на неавтоклавные и автоклавные. Названия ячеистого бетона отражают способ образования пор и вид вяжущего: газосиликаты, пеносиликаты, газобетоны, пенобетоны, газшлакобетоны и т.д..

Теплоизоляционный ячеистый бетон выпускается со средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>. Предел прочности при сжатии составляет не менее 0,8...1,2 МПа, теплопроводность — 0,11...0,128 Вт/(м · °С). Плиты из ячеистого бетона применяют для теплоизоляции строительных конструкций и поверхностей промышленного оборудования при температуре до 400 °С.

**Асбестосодержащие материалы и изделия.** К асбестовым материалам и изделиям относят асбестовые плиты, бумагу, шнур, ткань и др. Асбест может быть также частью композиций, из которых изготовляют разнообразные теплоизоляционные материалы (совелит и др.). *Ценные свойства асбеста:* температуростойкость, высокая прочность, волокнистость и др.

*Асбестовая бумага* — огнестойкий листовой или рулонный материал. Размеры листов 1000×950, толщина 0,5; 1 и 1,5 мм. Бумагу в рулонах выпускают с шириной полотна 670, 950 и 1150, толщиной 0,3; 0,4; 0,5; 0,65 и 1 мм. Плотность асбестовой бумаги 650...1500 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,1 Вт/(м · °С), температура применения до 500 °С.

*Асбестовый картон* — листовой материал, изготавливаемый из асбестовой бумаги или из асбестового волокна, смешанного с каолином и крахмалом. Средняя плотность картона составляет 900...1000 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность — 0,157 Вт/(м · °С). Применяют его для изоляции плоских поверхностей и трубопроводов при температуре до 500 °С.

*Асбестовый шнур* изготовляют диаметром 0,75...55 мм из нескольких крученых нитей. Шнуры наматывают в клубки или бухты и упаковывают в бумагу или полиэтиленовую пленку. Шнуры применяют для тепловой изоляции трубопроводов малых диаметров (до 89 мм) и промышленного оборудования при температурах до 500 °С.

*Асбестовую ткань* выпускают в виде рулонов длиной до 25 м, шириной 1...1,5 м, толщиной 1,4...1,5 мм. Плотность асбестовой ткани около 600 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность

около 0,1 Вт/(м · °С). Используют такую ткань для обшивки горячих трубопроводов малых диаметров.

*Совелит* — наиболее распространенный в нашей стране асбестомagneзиальный теплоизоляционный материал, сырьем для производства которого служат доломит (80 %) и распушенный асбест (20 %). Совелитовый порошок затворяют водой и наносят на изолируемую поверхность.

#### 14.4. Акустические материалы и изделия

В результате беспорядочных колебаний физической природы возникает шум. Различают шумы воздушные и ударные. Воздушный шум распространяется в виде звуковых волн в воздухе, ударный шум возникает при воздействиях на конструкцию. Источником шума может быть движущийся транспорт, различные машины и механизмы, музыкальные инструменты и пр.

Уровни шума нормируются в зависимости от назначения помещения и частоты звука. Для производственных помещений они составляют 80..85 дБ, для административных — 38...71 дБ, больниц — 13...51 дБ. При превышении шума на 15...20 дБ производительность труда понижается на 10...20 %. Повышенный шум отрицательно сказывается на здоровье человека.

Снижение шума достигается различными методами, в том числе и применением акустических материалов — звукопоглощающих и звукоизоляционных.

**Звукопоглощающие материалы** применяют для борьбы с шумом. Они понижают энергию падающих на них звуковых волн и снижают уровень шума в помещениях. Эффективность звукопоглощающих материалов оценивается коэффициентом звукопоглощения  $\alpha$ , который равен отношению количества поглощенной звуковой энергии  $E_{\text{погл}}$  к общему количеству падающей на поверхность материала энергии  $E_{\text{пад}}$  в единицу времени ( $\alpha = E_{\text{погл}} / E_{\text{пад}}$ ). К звукопоглощающим относят материалы с коэффициентом звукопоглощения на средних частотах более 0,2. Это материалы с открытой пористостью.

В качестве звукопоглощающих применяют теплоизоляционные материалы и специально изготовленные для этих целей плиты: минераловатные на синтетическом и крахмальном связующих, двухслойные древесноволокнистые, из ячеистого бетона, акустические гипсовые перфорированные и асбестоцементные акустические экраны.

*Минераловатные плиты на синтетическом связующем.* Изготавливают из минеральной ваты и полимерного связующего. В качестве связующего применяется смесь поливинилацетатной эмульсии и фенолоспиртов. Плиты применяют в качестве звукопоглощающих облицовок в общественных зданиях.

*Минераловатные звукопоглощающие плиты на крахмальном связующем.* Для изготовления применяют гранулированную минеральную вату. В качестве связующего — крахмал. Для повышения огне-, био- и влагостойкости — различные добавки.

Плиты применяют их для звукопоглощающих облицовок в общественных зданиях при влажности не более 70...80 %.

*Двухслойные древесноволокнистые плиты* из мягкой и твердой перфорированных плит, склеенных между собой.

Перфорированный экран улучшает звукопоглощающие свойства.

Поропластовые плиты полиуретановые и “Винилор” изготавливают из газонапыленных пластмасс со сквозной поризацией. Применяют в качестве глушителей вентиляционных систем.

Плиты из бетона “Силакпор” изготавливают по технологии теплоизоляционного газобетона. Для получения сквозной пористости вводят повышенное количество газообразователя. Применяют для звукопоглощающих облицовок общественных и промышленных зданий.

*Акустические гипсовые перфорированные плиты* состоят из армированного перфорированного экрана, минеральной ваты и алюминиевой фольги. Применяют для отделки потолков.

*Асбестоцементные акустические экраны* представляют собой перфорированные асбестоцементные плиты. Они могут изготавливаться с минераловатным звукопоглотителем или без него. Применяют для облицовки стен и потолков.

**Звукоизоляционные материалы** применяют для изоляции от ударного и воздушного шумов. Они должны обладать малым динамическим модулем упругости. Прокладочные материалы, применяемые в перекрытиях, в амортизаторах под оборудование и др., должны иметь малые остаточные деформации во времени. Такими свойствами обладают материалы с пористостью 40...90 °С.

В качестве звукоизоляционных материалов применяют минераловатные мягкие и жесткие плиты на синтетических смолах со средней плотностью 50...150 кг/м<sup>3</sup>, стекловолокнистые маты и плиты со средней плотностью 30...250 кг/м<sup>3</sup>, асбестовые маты, мягкие древесноволокнистые плиты со средней плотностью 150...250 кг/м<sup>3</sup>, губчатую резину и эластичные полимеры из полиуретана, поливинилхлорида. Звукоизоляция пола достигается за счет применения теплоизоляционного линолеума.

## 15. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КОАГУЛЯЦИОННЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

Один из важных вопросов в строительстве — защита зданий и сооружений от воздействия атмосферных осадков, воздушных водяных паров, грунтовых вод и др. Во всех этих случаях основную роль играют гидроизоляционные и кровельные материалы, которые определяют долговечность зданий и сооружений. Гидроизоляционные и кровельные материалы подразделяют на эмульсии, пасты, мастики, эластичные герметизирующие прокладки, рулонные, листовые, плиточные и пленочные материалы. В зависимости от входящих в состав гидроизоляционных и кровельных материалов вяжущих подразделяют на битумные, дегтевые, дегте-битумные, битумно-резиновые, полимерные, полимерно-битумные и т. п.

### 15.1. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты

**Эмульсии** — дисперсные системы, состоящие из двух не смешивающихся и не растворяющихся друг в друге компонентов.

Для приготовления битумной или дегтевой эмульсии применяют слабые водные растворы поверхностно-активных веществ или тонкодисперсные твердые порошки-эмульгаторы, которые понижают поверхностное натяжение между битумом и водой. В качестве эмульгаторов используют олеиновую кислоту, асидол и др. Эмульсии выпускают битумные, полимерные, битумно-полимерные и др. Их используют в качестве грунтовок и покрытий, наносят в холодном состоянии на сухую или сырую поверхность послойно. Для увеличения водостойкости битумных эмульсий в их состав вводят добавки ГКЖ-10, ГКЖ-11, известковое молоко и др. Для гидроизоляции гидромелиоративных сооружений используют, кроме того, битумно-фенолоформальдегидную, битумно-карбамидную и другие, в том числе полимерные эмульсии.

**Пасты** готовят из смеси эмульгированного битума и тонкомолотых минеральных порошков (негашеной или гашеной извести, пластичных глин, трепела и др.). Применяют их в качестве грунтовок и покрытий для внутренних слоев гидроизоляционного ковра или в качестве вяжущего для изготовления холодных мастик и др.

### 15.2. Кровельные и гидроизоляционные мастики

**Мастиками** называют пластичные смеси органических вяжущих веществ с минеральными наполнителями и добавками. В зависимости от исходного вяжущего мастики разделяют на битумные, битумно-резиновые, дегтевые и др. По способу приготовления и применения мастики делятся на горячие и холодные. По назначению мастики подразделяют на кровельные, кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные асфальтовые.

**Битумная мастика** — однородная масса, состоящая из нефтяных битумов, наполнителей и добавок. Наполнители для мастик могут быть пылевидные (известковый, доломитовый, кварцевый и др. порошки), волокнистые (асбест, асбестовая пыль, минеральная вата и др.) или комбинированные (смесь пылевидных и волокнистых). Их вводят для сокращения расхода битума, повышения теплостойкости мастик и уменьшения их хрупкости при пониженных температурах. В качестве добавок используют поверхностно-активные вещества, антисептики и др.

*Битумные горячие мастики* готовят нагреванием битумов до 160...180 °С с последующим введением в расплав наполнителя и добавок. Выпускают битумные горячие мастики следующих марок: МБК-Г-55, МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85 и МБК-Г-100 (МБК-Г — сокращенное название мастики, а цифры указывают ее теплостойкость).

**Битумно-резиновая изоляционная мастика** представляет собой однородную многокомпонентную смесь состоящую из кровельных битумов, мелкой резиновой крошки, пластификатора и антисептика. Мастику выпускают следующих марок: МБР-65, МБР-75, МБР-90 и МБР-100. По сравнению с горячей битумной кровельной мастикой она обладает повышенными эластичностью, гибкостью и морозостойкостью.

*Холодные битумные мастики* состоят из смеси нефтяного битума, органического растворителя (соляровое масло, керосин, и др.), наполнителя (низкосортный асбест), пластификатора и антисептика.

Наиболее распространена холодная битумная мастика марки МБК-Х-1. Применение холодных мастик основано на свойстве солярового масла растворять битум и просачиваться в рулонный материал. Холодные мастики хорошо склеивают битумные и рулонные материалы между собой и приклеивают их к оштукатуренному основанию.

**Дегтевые мастики** готовят из дегтевого вяжущего (сплав каменноугольных пеков с антраценовым маслом) и наполнителей. Применяют такие мастики для приклеивания и склеивания рулонных дегтевых материалов при производстве гидроизоляционных и кровельных работ.

### 15.3. Герметизирующие материалы

При монтаже стен крупнопанельных зданий панели обычно соединяют друг с другом сваркой стальных закладных деталей. При этом между панелями остаются швы шириной 20...30 мм. Уплотняют (герметизируют) стыки между панелями специальными материалами — герметиками. Так как в процессе эксплуатации здания ширина стыка меняется вследствие термических и других деформаций, герметики кроме водо- и атмосферостойкости должны обладать упругими свойствами и хорошей адгезией к бетону.

В зависимости от структурного состояния в момент применения различают *герметизирующие мастики и эластичные пористые прокладки*. Герметизирующие мастики, в свою очередь, могут быть твердеющие и нетвердеющие.

**Герметизирующие нетвердеющие мастики** представляют собой густо-вязкую массу, которая остается пластичной в течение всего срока эксплуатации здания. Получают их на основе полиизобутилена и синтетических каучуков, пластифицированных минеральными маслами и наполненных порошкообразным мелом или известняком.

Наибольшее распространение среди нетвердеющих герметиков получила мастика УМС-50, сохраняющая свои физико-химические свойства в интервале температур от +70 до -50 °С. УМС-50 рекомендуется для герметизации вертикальных и горизонтальных стыков панелей крупнопанельных зданий и мест примыкания оконных и дверных блоков, а также для уплотнения зазоров по периметру внутренних стен и перегородок.

**Твердеющие мастики** — мастики на основе полимеров, затвердевающие без подогрева. Обычно это двухкомпонентные мастики, которые изготавливаются из двух паст — герметизирующей и отверждающей. Перед употреблением обе пасты смешивают.

*Основной вид двухкомпонентных мастик* — тиоколовые мастики, получаемые на основе жидких полисульфидных (тиоколовых) каучуков, способных к вулканизации при обычной температуре практически без усадки. В отвержденном виде тиоколовые каучуки обладают высокой атмосферостойкостью и морозостойкостью. Нормально вулканизируются при температуре до 5 °С. Температура хрупкости -40 °С.

В качестве наполнителя в тиоколовых мастиках применяют сажу (черные мастики) и каолин (светлые мастики).

*Однокомпонентные тиоколовые мастики* отверждаются без введения вулканизаторов. Положительное свойство этих мастик — способность отверждаться при температуре воздуха до -15 °С.

**Эластичные пористые прокладки** применяют как в качестве самостоятельного герметизирующего материала, так и в качестве основы под мастику. В строительстве широко применяют гернит, пороизол.

*Гернит* — пористый резиновый жгут коричневого цвета с тонкой плотной оболочкой и пористой сердцевинной, получаемой на основе полихлоропренового каучука. Укладывают его в швы, предварительно обмазывая кумароново-каучуковой мастикой, которая обеспечивает адгезию гернитового жгута к бетону и полную непроницаемость стыка. Гернит сохраняет свои свойства в интервале температур от -40 до +70 °С.

*Пороизол* — пористый эластичный герметизирующий материал, выпускаемый в виде жгутов круглого, овального или прямоугольного сечения диаметром 30, 40, 50 и 60 мм. Его изготавливают из старой резины, которую перерабатывают в крошку и девулканизируют вместе с нефтяным дистиллятом, затем в массу вводят порообразователь, вулканизирующий реагент и антисептик.

#### **15.4. Рулонные гидроизоляционные и кровельные материалы**

**Гидроизоляционные материалы** служат для изоляции сооружений от проникновения влаги. Они должны обладать высокой степенью водонепроницаемости, не разрушаться во внешней среде, быть достаточно гибкими, иметь высокую деформативность (не давать трещин и разрывов при температуроусадочных деформациях) и др. В качестве гидроизоляционных материалов используют гидроизол, изол, фольгоизол, стеклоизол и др.

*Гидроизол* — рулонный беспокровный биостойкий материал, изготавливаемый путем пропитки асбестового картона нефтяными битумами. Гидроизол выпускают в рулонах с шириной полотна 950 мм, площадью 20 м<sup>2</sup>. Гидроизол употребляют для многослойной оклеечной гидроизоляции подземных сооружений, для гидроизоляции плоских кровель.

Рулоны гидроизола хранят и транспортируют в вертикальном положении.

*Изол* — это бесосновный биостойкий эластичный рулонный материал, получаемый из битумно-резинового вяжущего наполнителя, пластификатора и антисептика. Его выпускают в виде полотен шириной 800 и 1000 мм, толщиной 2 мм и длиной 10...12 м, свернутых в рулоны.

Этот материал обладает высокой долговечностью, температуроустойчивостью, незначительным водопоглощением и сохраняет эластичность при отрицательных темпе-



ратурах.

*Фольгоизол* представляет собой рулонный двухслойный материал из тонкой рифленой или гладкой фольги, покрытой с нижней стороны защитным битуминизированным составом. Фольгоизол выпускают в рулонах с шириной полотна 960 мм.

Внешняя поверхность фольгоизола может быть окрашена в различные цвета атмосферостойкими красками.

*Фольгоизол* — водонепроницаемый и долговечный материал, не требующий ухода в течение всего периода эксплуатации. В силу отражательной способности фольги он нагревается меньше аналогичных кровель черного цвета от солнечных лучей. Он податлив в обработке, гибок, хорошо режется и гвоздится.

*Фольгоизол* подразделяется на гидроизоляционный и кровельный. *Гидроизоляционный* используют для устройства защитного гидроизоляционного слоя теплоизоляции трубопроводов, герметизации стыков на кровельном покрытии. *Кровельный* предназначен для устройства верхнего слоя рулонного ковра кровель.

*Стеклоизол* является рулонным материалом, который получают путем нанесения с двух сторон на поверхность стекловолоконистого холста битумно-резиновой массы. Применяют стеклоизол для оклеечной гидроизоляции несущих конструкций зданий и при устройстве плоских кровель.

**Рулонные кровельные материалы.** Эти материалы выпускаются в рулонах длиной 10...30 м с шириной полотна 1000, 1025 и 1050 мм. Область применения — здания и сооружения различного назначения. При наклеивании нескольких слоев наиболее предпочтительны они для кровель с уклонами 2,5...5 %.

По виду пропитки рулонные кровельные материалы делят на битумные, полимерные, битумно-полимерные и др. В качестве рулонных кровельных материалов используются: саратмаст, днепромаст, филизол, элабит, изолен, рунакром и др.

*Саратмаст* — рулонный кровельный наплавляемый битумный материал, предназначенный для устройства кровель зданий и сооружений различного назначения во всех климатических районах страны.

Материал получают путем двустороннего нанесения на стекловолоконистую (стеклоткань, стеклохолст) или полиэфирную основу битумно-минерального вяжущего, состоящего из битума и минерального наполнителя в виде талько-магнезита.

Высококачественное сырье, технология изготовления и устройство кровли обеспечивают срок службы материала до 10 лет.

*Днепромаст* — битумный наплавляемый рулонный кровельный материал.

В качестве основы в нем используются стеклохолст и каркасная стеклоткань.

*Днепромаст* получают путем двустороннего нанесения на стекловолоконистую основу высококачественного битумного вяжущего, содержащего минеральный наполнитель и пластификатор. В качестве защитного и антиадгезивного слоев используются крупнозернистая посыпка и полиэтиленовая пленка.

*Филизол* — рулонный битумно-полимерный наплавляемый кровельный материал. В качестве основы для него используются стеклохолст, стеклоткань и полиэстер.

Использование в качестве полимерного компонента искусственного каучука (стиролбутадиенстирола) обеспечивает эластичность материала в диапазоне температур от -50 до +100 °С и увеличивает абсолютное значение разрывных усилий при его растяжении.

Филизол пригоден как для устройства новых кровель, так и для ремонта старых кровель.

Срок службы Филизола — не менее 20 лет.

*Элабит* — рулонный битумно-полимерный наплавляемый кровельный материал на стекло- или полиэфирной основе (стеклоткань, стеклохолст или полиэстер). В качестве полимера используется термопластичный каучук.

Площадь рулона — 7,5 или 10 м<sup>2</sup>; ширина полотна — 1000 мм.

Элабит приклеивается на подготовленное основание путем оплавления покровного слоя с нижней стороны методом сваривания внахлест свободно лежащего материала. Оплавление осуществляется газовыми и подобными им горелками.

Долговечность кровли при соблюдении технологии производства работ и правил эксплуатации — не менее 20 лет.

*Изолен* — трудногорючий эластомерный невулканизированный кровельный материал на основе хлорсульфированного полиэтилена. Приклеивание его к основанию и соединение полотен между собой осуществляется с помощью мастики Неоплен. Самовулканизация происходит после укладки материала под воздействием тепловых факторов и ультрафиолетового излучения.

Имеющаяся на *Изолене* полиэтиленовая пленка снимается во время раскатывания материала перед укладкой. Покрытие из *Изолена* выполняется однослойным.

Внутри полотна имеется полиэфирная ткань с сетчатой структурой, обеспечивающая повышенную механическую прочность материала на продавливание и разрыв. Изолен обладает высокими свето- и озоностойкостью, износостойкостью, химической стойкостью к воздействию массы растворителей, химикатов, кислот и повышенной пожаробезопасностью.

*Рунакром* — полимерный рулонный кровельный материал, который изготавливается на основе бутилкаучука и различных добавок. Область применения его распространяется на здания и сооружения различного назначения во всех климатических районах страны.

Материал отличается высокой стойкостью к атмосферным осадкам, ультрафиолетовому излучению, парам бензина, машинному маслу, длительному воздействию воды, агрессивным средам, сохраняет работоспособность в широком диапазоне температур — от -50 до +120 °С.

Ремонт или восстановление верхнего защитного слоя рекомендуется выполнять мастикой Рунакром-3 один раз в 12...15 лет.

## 16. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К лакокрасочным относят природные или искусственные материалы, которые наносят в вязкожидком состоянии тонким слоем на конструкции и детали с целью создания пленки для защиты их от вредных воздействий окружающей среды, архитектурно-художественного оформления и улучшения санитарно-гигиенических условий.

Лакокрасочные материалы делят на *основные и вспомогательные*. Основные включают краски, лаки и эмали, вспомогательные — грунтовочные и шпатлевочные составы, растворители, разбавители и др.

Лакокрасочные материалы классифицируют: по виду пленкообразующих веществ (масляные, глифталевые, эпоксидные, известковые, силикатные), виду жидкой фазы (водные и безводные), отношению к действию воды (водостойкие и неводостойкие), назначению (химически стойкие, термостойкие, электроизоляционные).

### 16.1. Основные компоненты окрасочных составов

Основными компонентами окрасочных составов являются связующие вещества и пигменты. В состав некоторых красок входят также растворители, разбавители, пластификаторы, сиккативы, наполнители и др.

**Связующие вещества.** Пленка лакокрасочного покрытия образуется связующим. Для лакокрасочных материалов характерно большое разнообразие применяемых пленкообразующих связующих веществ. Для водных составов служат: минеральные вяжущие вещества, клеи животного, растительного и синтетического происхождения.

Связующими для безводных составов служат олифы и синтетические водонерастворимые полимеры. Они так же, как цементы и жидкое стекло, позволяют получать водостойкие покрытия.

**Олифы** являются связующими для масляных красок и представляют собой маслянистую жидкость, которая после нанесения на поверхность высыхает, образуя прочную эластичную пленку. Их разделяют на три группы: натуральные, полунатуральные и искусственные (синтетические).

*Натуральные олифы* — это продукты, получаемые из льняного или конопляного масел. Эти олифы создают прочные и долговечные пленки, их применяют для приготовления высококачественных окрасочных составов, используемых для окраски металлических конструкций, дверных полотен, оконных переплетов, дощатых полов и др.

*Полунатуральные олифы* получают полимеризацией растительных масел.

Полунатуральные олифы широко распространены в строительстве для разведения масляных красок до требуемой консистенции. Полученные красочные составы используют для наружной и внутренней окраски металлов, дерева и штукатурки.

*Искусственные олифы* изготавливают на основе, часто с добавлением растительных масел. Представителем этого вида олиф является глифталевая олифа.

Искусственные олифы имеют темный цвет и обладают сравнительно низкой атмосферо- и влагостойкостью. Из них готовят окрасочные составы для внутренней окраски металлов, дерева и штукатурки.

Все олифы обладают способностью отвердевать на воздухе в тонком слое в течение 12 ...24 ч.

*Основными свойствами*, определяющими качество связующих в лакокрасочных материалах, являются вязкость, цвет и прозрачность, время затвердевания, адгезия к покрываемым поверхностям, твердость, гибкость.

**Лаки масляные** получают растворением природных или искусственных смол в высыхающих растительных маслах, содержащих сиккативы и растворители. Смола придает пленке покрытия блеск и твердость, сиккативы обеспечивают быстрое высыхание, а растворители — необходимую малярную консистенцию. Масляные лаки применяют в качестве связующего для приготовления эмалевых красок, которые характеризуются повышенной стойкостью к атмосферным воздействиям.

**Связующие для водных красочных составов.** Обычно эти связующие, за исключением некоторых минеральных, образуют на окрашенной поверхности пленку за счет испарения из красочного состава воды.

Для приготовления водных красочных составов используют следующие *минеральные связующие*: портландцемент, известь и жидкое калиевое стекло. В большинстве случаев целесообразно употреблять белый портландцемент. Строительная известь в водных красочных составах является одновременно белым пигментом и связующим. Натриевое или калиевое жидкое стекло служит связующим в силикатных красочных составах, которыми окрашивают фасады зданий и поверхности внутренних помещений.

**Клеи.** К группе связующих, используемых для приготовления водных красочных составов, относят животные, растительные, искусственные и синтетические клеи.

Животный клей бывает костным и мездровым. *Мездровый клей* получают из кожи животных, *костный клей* — из костей. Выпускают плиточный и дробленый клей, а также клей-студень. Клей не должен иметь гнилостного запаха, налетов плесени и должен расплываться при погружении в подогретую воду. Клей хранят в сухом месте.

*Казеиновый клей.* Казеин — белковое вещество, которое получают из молока. *Казеиновый клей* применяют в качестве связующего в красочных составах со щелочестойкими пигментами, а также для клеевых грунтовок и шпатлевок.

*Растительный клей* получают путем заваривания в кипятке крахмала, муки или декстрина. Он предназначен для клеевых красочных составов, грунтовок и шпатлевок, а также для наклейки обоев.

*Синтетические клеи* — натрий-карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и метилцеллюлоза представляют собой раствор искусственных смол в воде. Эти клеи мало подвержены гниению, способны набухать и растворяться в воде. Их используют в клеевых и минеральных красках и при оклейке стен обоями.

**Пигменты** — тонкоизмельченные цветные порошки, не растворимые в воде, органических растворителях и связующих материалах, но способные хорошо с ними смешиваться, образуя красочные составы. Пигменты разделяют на минеральные и органические; минеральные, в свою очередь, — на природные и искусственные.

Любой цветной пигмент должен обладать определенными свойствами. Так, он должен иметь хорошую укрывистость и красящую способность. *Укрывистость* харак-

теризуется расходом пигмента (в граммах) в красящем составе, способным перекрывать цвет 1 м<sup>2</sup> поверхности. *Красящая способность* определяется минимальным количеством пигмента, необходимым для придания цветового тона смеси с белым пигментом.

*Тонкость помола* пигмента оказывает существенное влияние как на укрывистость, так и на красящую способность: с повышением тонкости помола пигмента повышается его укрывистость и красящая способность.

Область применения пигментов приведена в табл. 12.

Таблица 12

Виды пигментов и область их применения

Пигмент	Цвет	Область применения
Мел	Белый	Грунтовки и шпатлевки, водные красочные составы
Белила цинковые	Белый	Масляные и силикатные краски
Литопон сухой	Белый	Масляные краски
Белила титановые	Белый	Масляные краски и эмали
Перекись марганца	Черный	Водные и безводные красочные составы
Сажа	Черный	Безводные составы
Графит	Серый	Водные и безводные красочные составы
Сурик железный	Красный	То же
Мумия сухая	Красный	То же
Охра сухая	Желтый	То же
Крон цинковый	Желтый	Масляные, эмалевые и клеевые краски
Окись хрома	Зеленый	Водные и безводные красочные составы
Ультрамарин	Синий	То же
Лазурь железная	Синий	Масляные и эмалевые составы, водные составы

## 16.2. Вспомогательные материалы

Вспомогательными материалами при окрасочных работах являются шпатлевки, грунтовки, ускорители сушки (сиккативы), растворители и разбавители, смывочные средства, шлифующие материалы, наполнители и др.

Перед окраской поверхность *шпатлюют* (выравнивание пастой), шлифуют и грунтуют.

В зависимости от материала поверхности применяют **шпатлевки** гипсовые, клеевые, масляные, лаковые.

*Гипсовая* шпатлевка состоит из обычного гипса, затворенного клеевой водой.

*Клеевая* шпатлевка представляет собой клеевой водный раствор с небольшим количеством олифы и мела.

*Масляная* шпатлевка состоит из олифы, сиккатива, скипидара и мела.

*Лаковые* шпатлевки состоят из лака, наполнителя (мела и пигмента) и растворителя.

*Грунтовки* состоят из небольшого количества пигмента, наполнителя и связующего. Применяют их для увеличения сцепления (прилипания) красочного состава с окрашиваемой поверхностью. При отделочных работах чаще всего используют *медно-купоросную, мыльно-клеевую и силикатную* грунтовки.

*Наполнители* — высокодисперсные минеральные порошки, вводимые в состав красок с целью уменьшения расхода более дорогого пигмента и придания им особых свойств, например, повышенной прочности, кислото-огнестойкости и т. д.

В качестве наполнителей для окрасочных составов применяют каолин, молотый тальк, пылевидный кварц, асбестовую пыль, слюду и другие измельченные материалы.

*Сиккативы* — это свинцовые, марганцевые, кобальтовые и другие соли жирных, смоляных и нафтеновых кислот в смеси с растворами высыхающих или полувсыхающих масел в уайт-спирите или скипидаре. Сиккативы добавляют в масляные составы для ускорения высыхания масел. Избыток сиккатива сокращает срок службы красящей пленки вследствие преждевременного старения.

Растворителями и разбавителями красок служат скипидар, лаковый бензин, спирт, сольвент каменноугольный, ацетон и др.

Скипидар является растворителем большинства натуральных смол и применяется для разбавления и разжижения масляных и лаковых связующих составов, а также для получения матовых масляных поверхностей и для мытья кистей.

*Лаковый бензин (уайт-спирит)* применяют в качестве растворителя масел и лаков.

*Спирт этиловый* применяют для приготовления мебельных спиртовых лаков.

*Сольвент каменноугольный* применяют в качестве растворителя для лаков и красок.

*Ацетон* является хорошим растворителем жиров и некоторых синтетических смол.

### 16.3. Виды окрасочных составов

**Водно-известковые и водно-цементные окрасочные составы.** В качестве связующего в строительных красках этого вида применяют *водно-известковые* или *водно-цементные суспензии*. Известковую суспензию приготавливают из известкового теста. В состав суспензии вводят щелочестойкие пигменты, а также поваренную соль или хлористый кальций с целью предотвращения быстрого высыхания.

Известковые краски применяют для окраски кирпичных стен и штукатурок.

Более долговечны и атмосферостойчивы *цементные краски*. Их получают на основе белого портландцемента и щелочестойких пигментов. Цементные краски атмосферостойки. Их применяют для наружной и внутренней окраски по камню, кирпичу, бетону, штукатурке и другим пористым поверхностям, которые предварительно увлажняют.

**Силикатные краски.** Сухие силикатные краски состоят из смеси пигментов с тонкомолотыми наполнителями (тальк, мел и др.). Смесям придают рабочее состояние путем разведения калиевым жидким стеклом. Силикатные краски на калиевом стекле атмосферостойки, имеют широкую палитру цветов и применяются для окраски фасадов зданий.

**Водно-клеевые составы.** Сухие клеевые краски состоят из пигментов, наполнителей и тонкоизмельченного животного клея, и до рабочей вязкости доводят их разведением водой.

Клеевые краски не водостойки, поэтому их применяют только для окраски штукатурок во внутренних сухих помещениях.

**Казеиновые клеевые составы.** Сухие казеиновые краски состоят из измельченного казеина, извести-пушонки, пигмента. Для получения красочных составов рабочей консистенции сухие казеиновые краски смешивают с горячей водой.

Казеиновые краски применяют для окраски наружных оштукатуренных и бетонных поверхностей зданий, а также для внутренней отделки помещений.

**Масляные краски.** Масляными красками называют красочные суспензии пигментов в олифе, в состав которых вводят наполнители. По консистенции масляные краски подразделяют на *густотертые и готовые к употреблению*. Для получения густотертых красок пигменты тщательно растирают с олифой в специальных краскотерочных машинах. Перед использованием густотертые краски разводят олифой до рабочей консистенции.

Масляные краски применяют для защиты стальных конструкций от коррозии, деревянных элементов от увлажнения, а также для окраски периодически увлажняемых поверхностей.

Наибольшая атмосферостойкость и долговечность характерна для красочных составов на натуральных олифах. Красочные составы на искусственных олифах значительно дешевле, но менее атмосферостойки, поэтому их применяют для окраски внутренних частей зданий (за исключением полов).

**Лаки** — это растворы смол, битумов и других пленкообразующих веществ в летучих растворителях, наносимые на поверхность тонким слоем и образующие после высыхания твердые покровные пленки.

По виду смолы масляные лаки подразделяют на *глифталевые, перхлорвиниловые, поливинилхлоридные* и т. д.

**Эмалевые краски.** Эмалевыми называют краски, приготовленные растиранием пигментов на различных лаках. После высыхания эмалевые красочные составы образуют блестящую пленку.

*По виду связующего эмалевые краски подразделяют* на масляные (на масляных лаках), нитроэмали (на нитроцеллюлозных лаках), глифталевые (на глифталевых лаках), перхлорвиниловые и т. п.

*Глифталевые эмалевые краски* имеют ограниченную водостойкость, из-за чего их используют для внутренней отделки помещений, покрывая металл, дерево, бетон и штукатурку. Они не рекомендуются для помещений с влажным режимом эксплуатации.

*Пентафталевые эмалевые краски* применяют для высококачественной наружной окраски по металлу, дереву, бетону и штукатурке, а также для окраски санитарно-технических узлов и кухонь.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительное материаловедение, оформившись 100 лет назад в вид научного направления, непрерывно развивалось, причем, как в плане, увеличения номенклатуры строительных материалов различного назначения, так и в плане выработки концепции получения материалов с необходимыми свойствами.

За этот период было выпущено более 25 учебников для вузов. Если в первых изданиях авторы стремились систематизировать и обобщить знания о строительных материалах, то уже около 20...30 лет, на различных масштабных уровнях, отслеживается взаимосвязь состава сырья, структуры, свойств и параметров технологии современных строительных материалов.

В настоящее время определены приоритеты строительного материаловедения 21-го века – создание нанотехнологий, позволяющих получать революционно новые материалы.

В то же время еще долгий период современные строительные материалы будут использоваться при возведении зданий и сооружений.

Поэтому изучение разделов учебного пособия создают предпосылки для подготовки квалифицированных специалистов, способных успешно трудиться в народном хозяйстве нашей страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев. - М.: Высшая школа, 2003.- 701 с.
2. Строительные материалы (материаловедение и технология): Учебное пособие / В.Г. Микульский [и др.].- М.: ИАСВ, 2002.-536 с.
3. Горчаков, Г.И. Строительные материалы: учеб. для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М.Баженов. - М.: Стройиздат, 1986.- 688 с.
4. Серия «Строитель». Бетон. Материалы. Технологии. Оборудование.- М.: Стройинформ, Ростов н/Д: Феникс, 2006.- 424 с.
5. Щербаков, А.С. Основы строительного дела: учеб. для вузов / А.С.Щербаков. - М.: Высш. шк., 1994.- 399 с.
6. Кровельные системы. Материалы и технологии.- М.: Стройинформ, Ростов н/Д: Феникс, 2006.- 536 с.
7. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1985. - 6 с.
8. ГОСТ 22245-90 Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1990. - 9 с.
9. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1993. - 18 с.
10. ГОСТ 26633-91 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.- М.: Изд-во стандартов, 1991. - 23 с.
11. ГОСТ 10181.1-81 Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.- М.: Изд-во стандартов, 1981. - 8 с.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>1. Строение и основные свойства строительных материалов</b> .....	4
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Классификация строительных материалов.....	5
1.3. Стандартизация свойств.....	5
1.4. Связь строения, состава и свойств.....	6
1.5. Параметры состояния строительных материалов.....	7
1.6. Гидрофизические свойства строительных материалов.....	9
1.7. Теплофизические свойства.....	11
1.8. Механические свойства.....	13
<b>2. Лесные строительные материалы и изделия</b> .....	20
2.1. Строение дерева.....	20
2.2. Породы деревьев.....	21
2.3. Основные физико-механические свойства древесины.....	22
2.4. Защита древесины от разрушения.....	24
2.5. Виды материалов и изделий из древесины.....	26
2.6. Хранение древесины.....	29
<b>3. Природные каменные материалы</b> .....	30
3.1. Общие сведения.....	30
3.2. Породообразующие минералы.....	30
3.3. Горные породы.....	32
3.3.1. Изверженные горные породы.....	32
3.3.2. Осадочные горные породы.....	33
3.3.3. Метаморфические горные породы.....	35
3.4. Добыча и обработка каменных материалов.....	36
3.5. Материалы и изделия из природного камня.....	37
3.5.1. Технические требования к материалам и изделиям.....	37
3.5.2. Основные виды природных каменных материалов и изделий.....	37
3.6. Защита, транспортирование и хранение природных каменных материалов.....	40
<b>4. Искусственные обжиговые материалы</b> .....	41
4.1. Керамические материалы и их классификация.....	41
4.2. Сырье для получения керамических материалов и изделий.....	41
4.3. Производство керамических материалов и изделий.....	42
4.4. Стеновые керамические материалы и изделия.....	43
4.5. Керамические трубы.....	44
4.6. Керамические изделия для наружных и внутренних облицовок.....	46
<b>5. Строительные материалы и изделия из силикатных расплавов</b> .....	47
5.1. Общие сведения.....	47
5.2. Сырьевые материалы.....	47
5.3. Производство стекла.....	48
5.4. Свойства строительных стекол.....	48
5.5. Материалы и изделия из стекла.....	49
5.5.1. Листовое строительное стекло.....	49
5.5.2. Облицовочные изделия из стекла.....	50
5.5.3. Свето пропускающие изделия из стекла.....	51

5.5.4. Стекланные трубы .....	51
5.6. Изделия из шлаковых расплавов и каменное литье .....	51
5.7. Стеклокристаллические материалы (ситаллы и шлакоситаллы).....	52
<b>6. Минеральные вяжущие материалы.....</b>	<b>53</b>
6.1. Классификация вяжущих веществ.....	53
6.2. Воздушные вяжущие вещества.....	53
6.2.1. Гипсовые вяжущие вещества .....	53
6.2.2. Известь строительная воздушная .....	55
6.2.3. Магнезиальные вяжущие вещества .....	57
6.2.4. Жидкое растворимое стекло.....	58
6.3. Гидравлические вяжущие вещества.....	58
6.3.1. Гидравлическая известь.....	58
6.3.2. Романцемент.....	59
6.3.3. Портландцемент.....	59
6.3.3.1. Общие сведения.....	59
6.3.3.2. Сырьевые материалы.....	60
6.3.3.3. Основы производства.....	60
6.3.3.4. Показатели клинкера.....	61
6.3.3.5. Твердение.....	62
6.3.3.6. Технические характеристики портландцемента.....	63
6.3.3.7. Коррозия цементного камня.....	63
6.3.3.8. Применение портландцемента.....	65
6.3.4. Специальные виды портландцемента.....	65
6.3.4.1. Портландцементы с минеральными добавками.....	65
6.3.4.2. Портландцементы с органическими добавками.....	67
6.3.4.3. Белый и цветные портландцемент.....	68
6.3.4.4. Быстротвердеющие портландцементы.....	68
6.3.5. Глиноземистый цемент.....	69
6.3.6. Расширяющиеся и безусадочные цементы.....	70
<b>7. Бетоны.....</b>	<b>71</b>
7.1. Общие сведения.....	71
7.2. Материалы для изготовления тяжелого бетона.....	72
7.3. Бетонная смесь.....	73
7.4. Основные свойства тяжелого бетона.....	75
7.4.1. Прочность бетона.....	75
7.4.2. Пористость и плотность бетона.....	78
7.4.3. Морозостойкость бетона.....	78
7.4.4. Водонепроницаемость бетона.....	79
7.4.5. Деформативные свойства бетона.....	80
7.4.6. Усадка и набухание бетона.....	81
7.4.7. Теплофизические свойства бетона.....	81
7.5. Легкие бетоны.....	82
7.5.1. Бетоны на пористых заполнителях.....	82
7.5.2. Крупнопористый бетон.....	84
7.5.3. Гипсобетон.....	84
7.5.4. Ячеистые бетоны.....	85
7.6. Особые виды бетона.....	86
7.6.1. Высокопрочный бетон.....	86
7.6.2. Гидротехнический бетон.....	87
7.6.3. Дорожный бетон.....	88

7.6.4. Декоративные бетоны.....	88
7.6.5. Жаростойкий бетон.....	88
7.6.6. Кислотоупорный бетон.....	89
7.6.7. Бетон для защиты от радиоактивного воздействия.....	89
7.6.8. Мелкозернистый бетон.....	90
7.6.9. Бетон, упрочненный волокнами.....	90
<b>8. Бетонные и железобетонные изделия.....</b>	<b>91</b>
8.1. Общие сведения о железобетоне и его классификация.....	91
8.2. Технология изготовления сборных железобетонных изделий.....	91
8.2.1. Организация технологического процесса.....	91
8.2.1.1. Агрегатно-поточный способ производства.....	92
8.2.1.2. Конвейерный способ производства.....	92
8.2.1.3. Стендовый и кассетный способы производства.....	92
8.2.2. Формование изделий.....	93
8.2.3. Тепловая обработка бетона.....	93
8.2.4. Коррозия арматурной стали в бетоне.....	94
8.2.5. Контроль качества железобетонных изделий.....	95
<b>9. Строительные растворы.....</b>	<b>96</b>
9.1. Общие сведения и классификация.....	96
9.2. Материалы для строительных растворов.....	97
9.3. Свойства растворных смесей и растворов.....	98
9.4. Виды растворов и область их применения в строительстве.....	100
<b>10. Искусственные каменные и необжиговые материалы и изделия на основе неорганических вяжущих веществ.....</b>	<b>103</b>
10.1. Изделия автоклавного твердения на основе извести и кремнеземистого компонента.....	103
10.2. Асбестоцементные изделия.....	104
10.3. Гипсовые и гипсобетонные изделия.....	106
<b>11. Коагуляционные (органические) вяжущие материалы, растворы и бетоны на их основе.....</b>	<b>108</b>
11.1. Битумные вяжущие.....	108
11.2. Дегтевые вяжущие.....	110
11.3. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы.....	111
11.4. Гидротехнические асфальтобетоны и растворы.....	113
<b>12. Металлы и металлические изделия.....</b>	<b>114</b>
12.1. Общие сведения о металлах и их видах.....	114
12.2. Изделия из чугуна.....	115
12.3. Виды и свойства сталей.....	115
12.4. Изделия из стали.....	116
12.5. Коррозия стали и методы борьбы с ней.....	118
12.6. Цветные металлы и их сплавы.....	118
<b>13. Материалы и изделия из полимеров и пластических масс.....</b>	<b>120</b>
13.1. Общие сведения о полимерах и пластмассах, их состав.....	120
13.2. Основные свойства полимеров и пластмасс.....	121
13.3. Материалы и изделия из пластмасс.....	122
13.3.1. Материалы для несущих и ограждающих конструкций.....	122
13.3.2. Материалы для полов.....	124
13.3.3. Трубы, санитарно-технические и погонажные изделия.....	125
<b>14. Теплоизоляционные и акустические материалы.....</b>	<b>126</b>

14.1. Классификация теплоизоляционных материалов.....	126
14.2. Органические теплоизоляционные материалы.....	127
14.3. Неорганические теплоизоляционные материалы.....	129
14.4. Акустические материалы и изделия.....	132
<b>15. Гидроизоляционные и кровельные материалы на основе коагуляционных и полимерных вяжущих.....</b>	<b>134</b>
15.1. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты.....	134
15.2. Кровельные и гидроизоляционные мастики.....	134
15.3. Герметизирующие материалы.....	135
15.4. Рулонные гидроизоляционные и кровельные материалы.....	136
<b>16. Лакокрасочные материалы.....</b>	<b>139</b>
16.1. Основные компоненты окрасочных составов.....	139
16.2. Вспомогательные материалы.....	141
16.3. Виды окрасочных составов.....	142
<b>Заключение.....</b>	<b>144</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>144</b>

Учебное издание

Сергей Васильевич **ЧЕРКАСОВ**  
Людмила Николаевна **АДОНЬЕВА**

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Учебное пособие для студентов  
высших учебных заведений,  
обучающихся по специальностям:  
«Промышленное и гражданское строительство»,  
«Водоснабжение и водоотведение»,  
«Экспертиза и управление недвижимостью»*

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать

Формат 60 × 84 1/16 Уч.- изд. л. 9,2.

Усл. - печ. л. 9, 3. Бумага писчая. Тираж 360 экз. Заказ №