

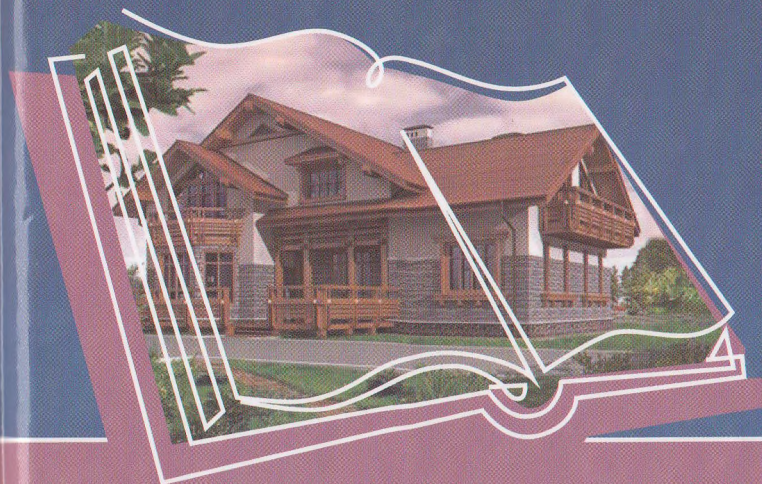
691
А-50

Высшее профессиональное образование

Учебник

Л. А. Алимов, В. В. Воронин

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ



БАКАЛАВРИАТ

СТРОИТЕЛЬСТВО



Л. А. АЛИМОВ, В. В. ВОРОНИН

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УЧЕБНИК

Рекомендовано

Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию
в области строительства в качестве учебника для бакалавров,
обучающихся по направлению «Строительство»



Москва

Издательский центр «Академия»

2012

БИБЛИОТЕКА
АМТИ
(филиал)
ФГБОУ ВПО «КубГУ»

УДК 691(075.8)

ББК 38.3я73

A501

Рецензенты:

директор НИПТИ «Стройиндустрия», акад. РААСН, проф.,
д-р техн. наук *У.Х. Магдеев*;
зав. кафедрой строительного производства и управления недвижимостью
Сибирского государственного индустриального университета,
проф., д-р техн. наук, международный ученый XXI в. *С.И. Павленко*

Алимов Л. А.

A501 Строительные материалы : учебник для студ. учреждений
высш. проф. образования / Л.А.Алимов, В.В.Воронин. — М. :
Издательский центр «Академия», 2012. — 320 с. — (Сер. Бакалав-
риат).

ISBN 978-5-7695-8336-0

Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государствен-
ного образовательного стандарта по направлению «Строительство» (квалифика-
ция «бакалавр»).

Изложены основы строительного материаловедения, строение и свойства
строительных материалов: природных каменных, теплоизоляционных, гидро-
изоляционных, металлов, стекла, полимеров. Показаны перспективы дальней-
шего развития строительных материалов с комплексом высоких эксплуатацион-
ных свойств на основе теории композитов и нанотехнологических подходов.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 691(075.8)

ББК 38.3я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение
любым способом без согласия правообладателя запрещается*

© Алимов Л. А., Воронин В. В., 2012

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-8336-0

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Строительные материалы» в учебном плане подготовки бакалавров по направлению «Строительство» является базисным для специальных дисциплин: архитектуры, технологии строительного производства, железобетонных конструкций, конструкций из дерева и пластмасс, экономики и организации строительства и др.

Настоящий учебник соответствует требованиям методологического обучения, воспитывающего у бакалавра умение видеть взаимосвязь состава, строения и свойств строительных материалов, распознавать способы формирования заданных структуры и свойств материалов при максимальном ресурсосбережении, а также методы оценки показателей их качества. В учебнике рассмотрены элементы теории композиционных материалов, поскольку большинство строительных материалов (бетоны, растворы, пластмассы и др.) структурно неоднородны. Их изучение на единой основе теории композитов необходимо для усвоения принципов создания новых эффективных материалов.

Описано использование нанотехнологических подходов и наносистем при создании строительных материалов нового поколения с высокими эксплуатационными свойствами путем модифицирования их веществами с размером частиц от 1 до 100 нм.

Рассмотрены металлические материалы и изделия из них. Представлены новые виды бетонов высококачественных, самоуплотняющихся, дисперсно-армированных, композиционных вяжущих, получаемых путем использования методов механохимической активации, и супер- и гиперпластификаторов.

Расширены физико-химические основы курса, необходимые для понимания процессов твердения вяжущих веществ, регулирования свойств материалов и их защиты от коррозии. Представлена реология дисперсных систем, являющаяся научной основой разнообразных способов изготовления изделий и конструкций. Построение учебника обусловлено программой курса и принятой классификацией. Каждая глава объединяет определенную группу материалов, что позволяет выявить общие закономерности формирования их структуры и свойств. Рассмотрено комплексное использование побочных продуктов промышленности (шлаков, зол и др.) в связи с требованиями охраны окружающей среды. Показана эффективность применения в промышленном строительстве крупноразмерных конструкций полной заводской готовности, монолитное и сборно-монолитное домостроение.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основные и специальные свойства строительных материалов с учетом воздействий на них, встречающихся в эксплуатационных условиях, можно подразделить на следующие группы:

- параметры состояния и структурные характеристики, определяющие технические свойства: химический, минеральный и фазовый состав; удельные характеристики массы (плотность и средняя плотность) и пористость; дисперсность порошкообразных материалов;
- физические свойства: реологические свойства пластично-вязких материалов; свойства гидрофизические, теплофизические, акустические, электрические, определяющие отношение материала к различным физическим процессам; стойкость к физической коррозии (морозостойкость, радиационная стойкость, водостойкость);
- механические свойства, определяющие отношение материала к деформирующему и разрушающему действию механических нагрузок (прочность, твердость, упругость, пластичность, хрупкость и др.);
- химические свойства: способность к химическим превращениям, стойкость к химической коррозии;
- долговечность и надежность.

Свойства строительных материалов обычно оценивают количественно, т.е. по числовым показателям, определяемым посредством испытаний (реже — устанавливаемым расчетным путем).

Плотность ρ — это масса единицы объема материала m в абсолютно плотном состоянии V_a , г/см³:

$$\rho = m/V_a.$$

Плотность твердых материалов определяют, устанавливая объем, занимаемый данным образцом, без пор. Для определения плотности пористого материала его предварительно тонко измельчают, а затем определяют суммарный объем, занимаемый частицами порошка. Зная массу единицы объема, устанавливают абсолютную плотность материала.

Средняя плотность ρ_{cp} — это масса единицы объема материала в естественном его состоянии, т.е. с порами.

Определение средней плотности производят чаще всего в образцах, имеющих правильную геометрическую форму (например куба, цилиндра). Измеряют размеры образца, вычисляют его объем V_e , взвешиванием устанавливают массу образца и вычисляют среднюю плотность (г/см^3 или кг/м^3) по формуле

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

Насыпная плотность ρ_n — это масса единицы объема рыхло насыпанных зернистых или волокнистых материалов.

Определение насыпной плотности производят взвешиванием дисперсного материала, помещенного в мерную емкость V_m , и вычисляют по формуле (г/см^3 или кг/м^3):

$$\rho_n = m/V_m.$$

Пористость Π — это степень заполнения объема материала порами:

$$\Pi = V_n/V,$$

где V_n — объем пор; V — объем образца.

Определение пористости производят экспериментально-расчетным методом путем определения плотности, средней плотности и рассчитывают по формуле (%):

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho}\right) 100.$$

Пористость — важная характеристика материалов, так как от пористости зависят многие свойства: прочность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость и др.

Гигроскопичность W_r — это свойство пористого материала поглощать влагу из воздуха; она определяется отношением массы поглощенной влаги из воздуха m_r к массе сухого материала m_c по формуле (%):

$$W_r = \frac{m_r}{m_c} 100.$$

Поглощение влаги из воздуха обусловлено как полимолекулярной адсорбцией водяных паров внутренней поверхностью пористого материала, так и капиллярной конденсацией. Этот физико-химический процесс поглощения пористым материалом водяных паров из воздуха называется *сорбцией* и носит обратимый характер. Капиллярная конденсация возможна только в капиллярах с радиусом 100 нм. Чем выше капиллярная пористость материала и чем меньше средний радиус капиллярных пор, тем больше его максимальное гигроскопическое влагосодержание.

Водопоглощение — это способность пористых материалов при непосредственном соприкосновении с водой впитывать и удерживать ее. Водопоглощение выражают или степенью заполнения объема материала водой — водопоглощение по объему V_o , или отношением количества поглощенной воды к массе сухого материала — водопоглощение по массе V_m .

Рассчитывают водопоглощение по следующим формулам:

- водопоглощение по массе —

$$V_m = (m_b - m_c)/m_c,$$

где m_b — масса влажного материала; m_c — масса сухого материала;

- водопоглощение по объему —

$$V_o = V_m \rho_{ср}.$$

Водопроницаемость — это способность материала пропускать воду под давлением. Водопроницаемость определяется коэффициентом фильтрации K_f (м/ч):

$$K_f = V_b a / [S(p_1 - p_2)t],$$

где V_b — количество воды, m^3 , проходящей через стенку площадью $S = 1 \text{ м}^2$, толщиной $a = 1 \text{ м}$ за время $t = 1 \text{ ч}$ при разности гидростатического давления на границах стенки $p_1 - p_2 = 1 \text{ м вод. ст.}$

Водостойкость — это степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении. Водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения K_p . Коэффициент размягчения определяется отношением прочности материала, насыщенного водой (R_n), к прочности материала в сухом состоянии (R_c):

$$K_p = R_n / R_c.$$

Принято считать, что природные и искусственные строительные материалы, применяемые в подводных конструкциях или в конструкциях, находящихся в сырых местах, должны иметь коэффициент размягчения не ниже 0,8.

Морозостойкость — это способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание.

Морозостойкость материала количественно оценивается маркой по морозостойкости. За марку материала принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания (при температуре $-15 \dots 20^\circ \text{C}$) и оттаивания (в воде при комнатной температуре), которые выдерживают образцы материала без снижения прочности на сжатие более 15 % и снижения массы не более 5 %.

Газо- и паропроницаемость — это способность материалов пропускать газ и пар через свою толщину, которая зависит главным образом от их строения. Газопроницаемость характеризуется коэффициентом газопроницаемости, имеющим размерность $[dm^3/(m \cdot ч \cdot мм \text{ вод. ст.})]$.

Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, имеющего размерность $[г/(м \cdot ч \cdot мм \text{ рт. ст.})]$.

Влажностные деформации — это способность материалов изменять свои размеры в результате намокания (набухание) или высыхания (усадка или усушка). Единица измерения — $[мм/м]$.

Температурное расширение — это способность материала расширяться при нагревании. Температурное расширение характеризуется коэффициентом линейного расширения, показывающим, на какую долю первоначальной длины расширился материал при повышении температуры на 1°C ($м/^\circ\text{C}$).

Теплоемкость — это способность материала поглощать при нагревании определенное количество теплоты; теплоемкость характеризуют удельной теплоемкостью — $[Дж/(кг \cdot К)]$ или $[Дж/(кг \cdot ^\circ\text{C})]$.

Теплопроводность — это способность материала передавать тепло через толщу от одной своей поверхности к другой. Единица измерения теплопроводности — $[Вт/(м \cdot К)]$ или $[Вт/(м \cdot ^\circ\text{C})]$.

Электропроводность — это способность материала проводить электрический ток.

Огнеупорность — это способность материала выдерживать длительное воздействие температуры от 1580°C и выше, при этом материал не должен размягчаться и деформироваться.

Огнестойкость — это способность материала противостоять кратковременному воздействию высокой температуры, развивающейся в условиях пожара (до 1000°C), при сохранении конструкцией несущей способности и устойчивости.

Химические свойства — это свойства, характеризующие способность материалов к химическим превращениям под влиянием веществ, с которыми данный материал находится в непосредственном соприкосновении.

Механические свойства — это способность материалов сопротивляться деформированию и разрушению под действием внешних сил. К механическим свойствам относятся прочность, упругость, деформативность материалов.

Прочность — это свойство материала сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

Предел прочности, МПа, при осевом сжатии ($R_{сж}$) и растяжении (R_p) равен частному от деления разрушающей силы P_p на первоначальную площадь поперечного сечения S образца (куба, цилиндра, призмы):

$$R_{сж} = P_p / S; R_p = P_p / S.$$

При приложении внешней нагрузки в материале возникают внутренние силы упругости. Физическую величину, численно равную силе, приходящейся на единицу площади сечения тела, называют напряжением. За единицу измерения напряжения принят паскаль (Па), равный давлению, которое вызывает сила в 1 ньютон (Н), равномерно распределенная по поверхности площадью в 1 м.

Релаксация напряжений — это свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная деформация остается неизменной.

Трещиностокость — это способность материала противодействовать появлению и развитию в нем трещин.

Прочность реальных материалов существенно меньше их теоретической прочности из-за дефектов в строении. Упрощенно дефекты в реальной структуре можно представить как нарушение сплошности в виде поверхностных и внутренних микротрещин.

При приложении нагрузки, например при осевом растяжении образца, напряжения по сечению будут распределяться неравномерно и вблизи микродефектов; в частности, вблизи кончиков трещин они будут значительно выше, чем среднее напряжение. Разрушение произойдет, когда напряжение вблизи кончиков трещин (рис. 1.1) превысит теоретическую прочность материала (σ_t), т. е.

$$\sigma_p = P_{\max}/S = \sigma_t/K,$$

где K — коэффициент интенсивности напряжений.

Коэффициент интенсивности напряжений K вблизи кончика трещины зависит от длины трещины и радиуса кривизны ее концов и приблизительно описывается формулой

$$K = 1 + 2(1/R)^{1/2}.$$

Существуют следующие условия, при которых возможен рост трещины под действием внешней силы:

1) рост трещины должен быть энергетически выгодным процессом, т. е. распространение трещины должно сопровождаться уменьшением внутренней энергии деформированного тела; должен работать молекулярный механизм, с помощью которого может осуществляться преобразование энергии упругой деформации в поверхностную энергию (энергию новых поверхностей);

2) рост трещины возможен, когда длина ее больше некоторого критического значения, при котором выполняется первое условие,

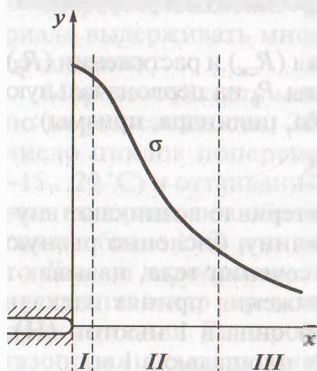


Рис. 1.1. Распределение напряжений у вершины трещины:

I — область линейных деформаций; *II* — область интенсивного роста напряжений; *III* — область номинальных напряжений

т. е. освобождающаяся энергия упругой деформации больше энергии образующихся поверхностей. Критическая длина трещины уменьшается с увеличением напряжения в материале, и при напряжениях, близких к пределу прочности, она бесконечно мала.

Второе условие роста трещин возможно при наличии механизма преобразования энергии упругой деформации в энергию новых поверхностей. Таким механизмом для хрупких материалов является сохранение высокой концентрации напряжений вблизи кончика трещины в процессе ее роста. В пластических материалах под действием местных напряжений вблизи дефектов их строения появляются пластические деформации, выравнивающие напряжения по рабочему сечению и задерживающие распространение трещин.

Реальные кристаллические материалы имеют большее или меньшее количество точечных дефектов. Одни из них заключаются в том, что некоторые атомы или ионы смещены в другие положения и могут располагаться даже между узлами кристаллической решетки. Их нормальные места остаются свободными и затем замещаются другими ионами. Следовательно, в узлах решетки могут быть свободные места (вакансии). Другого рода дефекты возникнут в результате размещения посторонних атомов или ионов примеси в узлах решетки, где они заменяют основное вещество (примеси замещения), или между ними (примеси внедрения). Поэтому свойства кристаллических материалов зависят от дислокаций кристаллов.

Дислокация — это всегда одномерный (линейный) дефект кристаллической решетки, возникающий или в процессе образования кристалла, или в результате последующих механических, тепловых и других воздействий. Дислокации бывают краевые, винтовые и смешанные. Они значительно понижают прочность монокристаллов, но зато придают пластичность и затрудняют распространение трещин.

Различают хрупкое и пластическое разрушение твердых тел. Хрупкое разрушение сопровождается малой предшествующей пластической деформацией, материал разрушается внезапно, не претерпевая существенной деформации. Хрупкость присуща не только кристаллическим и даже полимерным материалам.

Для того чтобы избежать хрупкого разрушения, осуществляют торможение трещин при помощи создаваемых в материале внутренних поверхностей раздела. Это используется в современных композиционных материалах. Радиус трещины, который был очень малым, при встрече с поверхностью раздела становится очень большим, устраняются концентрация напряжений в вершине трещины и тенденция к ее распространению.

Упругостью твердого тела называют его свойство самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы.

Пластичностью твердого тела называют его свойство изменять форму и размеры под действием внешних сил, не разрушаясь, причем

после прекращения действия силы тело не может самопроизвольно восстановить свои размеры и форму, вследствие чего появится остаточная деформация, называемая пластической деформацией.

Основными характеристиками деформативных свойств строительного материала являются: модуль упругости (модуль Юнга), коэффициент Пуассона, модуль сдвига, объемный модуль упругости (модуль всестороннего сжатия), предельные деформации (растяжения, сжатия и др.), ползучесть.

Закон Гука в современном определении — это напряжение σ при упругой деформации тела пропорционально относительной деформации ε :

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E — модуль упругости (модуль Юнга), численно равный напряжению, которое возникло бы в материале при относительной деформации, равной единице.

Модуль упругости имеет ту же единицу измерения, что и напряжение, и для данного материала является величиной постоянной. Модуль упругости характеризует жесткость материала, т. е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении к нему внешних сил.

Коэффициент Пуассона, или коэффициент поперечного сжатия μ , равен отношению относительного поперечного сужения (расширения) $\varepsilon_{\text{поп}}$ к относительному продольному удлинению (сжатию) $\varepsilon_{\text{прод}}$:

$$\mu = \varepsilon_{\text{поп}} / \varepsilon_{\text{прод}}.$$

Модуль сдвига G связывает модуль Юнга и коэффициент Пуассона:

$$G = E / [2(1 + \mu)].$$

Объемный модуль упругости, или модуль всестороннего сжатия (растяжения) K , связан с модулем Юнга следующим соотношением:

$$K = E / [3(1 - 2\mu)].$$

Динамическая σ_d , или ударная, прочность материалов — это способность материалов сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Динамическую прочность σ_d , Дж/м, рассчитывают по формуле

$$\sigma_d = A/S,$$

где A — работа, затраченная на разрушение стандартного образца; S — площадь сечения образца в месте разрушения.

Ползучесть — это непрерывное медленное нарастание деформаций образцов во времени при постоянной нагрузке.

Твердость — это свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела. Твердость минералов оценивают либо по шкале Мооса, представленной десятью минералами, из которых каждый последующий своим острым концом царапает все предыдущие, либо путем вдавливания в материал стального шарика или твердого наконечника (в виде конуса или пирамиды). В результате испытания вычисляют число твердости по формуле $HB = P/F$, где P — приложенная сила; F — площадь поверхности отпечатка.

Истираемость I , г/см², оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания S абразивом, и вычисляют по формуле

$$I = (m_1 - m_2)/S,$$

где m_1 , m_2 — масса образца соответственно до и после истирания.

Износ — это свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Показателем износа служит потеря массы пробы материала в результате проведенного испытания (в процентах от первоначальной массы).

Долговечность — это свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Предельное состояние определяется разрушением изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность строительных изделий измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и при конкретном режиме эксплуатации.

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

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

Безотказность — это свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и при определенных условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относится вероятность безотказной работы.

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

Ремонтпригодность — это свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению работоспособности и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателем ремонт-

пригодности является среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов.

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

Контрольные вопросы

1. Назовите основные параметры состояния и структурные характеристики строительных материалов и методы их определения.
2. Дайте определения плотности и пористости. Как они оцениваются у материалов?
3. Перечислите основные физические свойства строительных материалов.
4. Назовите свойства материалов по отношению к действию воды. Как оценивается морозостойкость?
5. Каковы теплофизические свойства строительных материалов?
6. Какие свойства называются механическими и как они подразделяются?
7. На какие группы подразделяются строительные материалы по огнестойкости? Приведите примеры по каждой группе.
8. Какие свойства материалов можно отнести к химическим?

Глава 2

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

2.1. Общие сведения

Природные каменные материалы получают путем переработки горных пород. Горные породы используют для производства строительных материалов как сырье для изготовления керамики, стекла, теплоизоляционных и других изделий, а также для производства неорганических вяжущих веществ: цементов, извести и строительного гипса. Сотни миллионов кубометров песка, гравия и щебня применяют ежегодно в качестве заполнителей для бетонов и растворов.

Широко используют природные каменные материалы и изделия, получаемые механической обработкой горных пород (раскалыванием, распиливанием, шлифованием, полированием, дроблением и т. п.). Это плиты из гранита, мрамора, известняка и других горных пород для декоративной облицовки и защиты строительных конструкций от коррозии.

Горные породы представляют собой значительные по объему скопления минералов в земной коре, образовавшиеся в одинаковых условиях.

Минерал — это природное тело, однородное по химическому составу, строению и физическим свойствам, образующееся в результате физико-химических процессов на поверхности и в глубинах земли. Минералы в подавляющем большинстве — твердые тела: кристаллические или аморфные.

2.2. Состав, структура и свойства породообразующих минералов

Каждый минерал обладает комплексом свойств и признаков. К ним относятся: химический состав, строение, плотность, механические свойства (твердость, прочность, спайность), оптические свойства (блеск, цвет, прозрачность, светопреломление и др.), тепловые, электрические и магнитные свойства. По этим свойствам и признакам определяют минералы.

Таблица 2.1. Относительная твердость минералов

Показатель твердости по шкале Мооса	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиновый шпат	Чертится стальным ножом под нажимом
5	Апатит	С трудом царапается ножом, стекла не царапает
6	Ортоклаз	При сильном нажиме царапает стекло, стальным ножом не царапается
7	Кварц	Легко чертит стекло
8	Топаз	—
9	Корунд	—
10	Алмаз	—

Среди механических свойств минералов наиболее характерным является твердость. Существует много методов определения твердости. В минералогии чаще всего применяется метод оценки относительной твердости по 10-балльной шкале, предложенной в 1811 г. немецким ученым Ф. Моосом (табл. 2.1).

Характерным признаком минералов является *спайность* — способность минералов раскалываться по определенным направлениям. Спайность может проявляться в одной или нескольких плоскостях. Различают:

1) спайность весьма совершенную (минералы легко расщепляются по плоскости спайности, например слюда);

2) спайность совершенная (минералы практически всегда раскалываются по плоскостям спайности, например кальцит, каменная соль);

3) спайность несовершенная (раскалывание минерала не обязательно происходит по плоскости спайности, например апатит);

4) спайность отсутствует (минералы раскалываются по неопределенным направлениям и дают неровную поверхность излома, например кварц).

Характер излома (рваный, ступенчатый, раковистый) также является специфическим признаком минерала.

Спайность — свойство с точки зрения применения в строительстве отрицательное, так как она уменьшает прочность и стойкость минерала и соответствующей горной породы, а также затрудняет обработку каменных материалов (шлифовку, полировку и др.).

Далее приведена краткая характеристика основных пороодообразующих минералов.

Минералы группы кремнезема (SiO_2) — ряд минералов, представляющих собой модификации диоксида кремния: кварц, халцедон и опал.

Кварц — наиболее распространенная кристаллическая модификация кремнезема, являющаяся существенной составной частью многих горных пород (кварцита, гранита, песка и др.). Плотность кварца — $2\,650\text{ кг/м}^3$; твердость по минералогической шкале — 7. Химическая стойкость кварца очень высокая. Прочность кристаллов кварца при сжатии — до $1\,000 \dots 2\,000\text{ МПа}$.

Халцедон — скрытокристаллическая разновидность кварца, содержащая до $1,0 \dots 1,5\%$ воды и незначительные примеси железа и алюминия. Плотность халцедона — $2\,550 \dots 2\,600\text{ кг/м}^3$; твердость — $6,5 \dots 7,0$.

Опал — $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Содержание воды в опале от 2 до 14 %. Кроме того, в опале могут быть примеси MgO , CaO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 .

Полевые шпаты — группа наиболее распространенных в природе минералов, составляющих по массе более 50 % горных пород. Из полевых шпатов сложено большинство изверженных пород: граниты, сиениты, габбро, андезиты, диориты. Различают следующие разновидности полевых шпатов: ортоклаз ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), альбит ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), анортит ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Полевые шпаты имеют твердость $6,0 \dots 6,5$. Плотность полевых шпатов — $2\,500 \dots 2\,900\text{ кг/м}^3$; температура плавления $1\,100 \dots 1\,500^\circ\text{C}$.

Мусковит ($\text{K} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) — прозрачная калиевая слюда; плотность — $2\,770 \dots 3\,100\text{ кг/м}^3$.

Биотит — темная железистомагнезиальная слюда; плотность — $3\,000 \dots 3\,300\text{ кг/м}^3$.

Асбест — группа минералов волокнистого строения, по химическому составу представляющих собой водные силикаты магния и железа. Существуют следующие разновидности: хризотиласбест и амфиболовые асбесты.

Наиболее распространен хризотиласбест; его химический состав $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — водный силикат алюминия. К группе каолиновых минералов относятся монтмориллонит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) и галлуазит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Кальцит, или известковый шпат (CaCO_3) — один из наиболее распространенных минералов в земной коре. Кальцит хрупок, обладает совершенной спайностью по трем плоскостям; плотность — $2\,700 \dots 2\,800\text{ кг/м}^3$; твердость — 3.

Магнезит (MgCO_3) по своим свойствам близок к кальциту, но встречается значительно реже; плотность — $2\,900 \dots 3\,100 \text{ кг/м}^3$, твердость — $3,5 \dots 4,0$.

Доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) — распространенный минерал, по свойствам занимающий промежуточное положение между кальцитом и магнезитом.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — мягкий минерал (твердость — 2), в чистом виде прозрачный, но обычно окрашен примесями в желтоватый или розоватый цвет; плотность — $2\,300 \text{ кг/м}^3$. Гипс растворим в воде ($2,05 \text{ г/л}$ при температуре 20°C).

Ангидрит (CaSO_4) — безводная разновидность гипса; плотность — $2\,800 \dots 3\,000 \text{ кг/м}^3$; твердость — $3,0 \dots 3,5$. По внешнему виду ангидрит похож на гипс. На воздухе в присутствии воды ангидрит переходит в гипс с увеличением в объеме.

2.3. Классификация горных пород

Признаком классификации горных пород являются условия их происхождения, так как они определяют химический и минеральный состав, строение и свойства. Согласно этой классификации горные породы подразделяются на три основные группы: изверженные (первичные); осадочные (вторичные) и метаморфические (видоизмененные) (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Виды горных пород

Изверженные породы	Осадочные породы	Метаморфические породы
А. Массивные: - Глубинные (гранит, сиенит, диорит, габбро, лабрадорит). - Излившиеся (кварцевый порфир, бескварцевый порфир, трахит, порфирит, андезит, диабаз, базальт). Б. Обломочные (вулканические): - Рыхлые (вулканический пепел, вулканический песок, пемза). - Цементированные (вулканическая лава, туф, трассы)	А. Механические отложения (обломочные породы): - Рыхлые (глины, пески, гравий, щебень). - Цементированные (песчаник, конгломерат, брекчия). Б. Химические осадки (гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известняки, известковые туфы). В. Органогенные отложения (мел, большинство известняков, ракушечник, диатомит, трепел)	А. Измененные изверженные породы (гнейсы). Б. Измененные осадочные породы (мрамор, кварцит, глинистые сланцы)

Изверженные, или магматические (первичные), горные породы образовались в результате охлаждения и затвердевания огненно-жидкой лавы (магмы) в недрах земной коры или на поверхности земли. Скорость и условия охлаждения магмы были разными, что привело к образованию изверженных пород с различным минералогическим составом, строением и свойствами. В зависимости от места образования выделяют глубинные, излившиеся плотные и излившиеся пористые (вулканические) породы.

Глубинные породы образовались в результате медленного остывания магмы на большой глубине от поверхности земли в условиях высокой температуры и значительного давления вышележащих слоев земли. Эти условия были благоприятны для кристаллизации минералов, составляющих породу, поэтому глубинные породы массивны, очень плотны и состоят обычно из тесно сросшихся более или менее крупных кристаллов, различимых невооруженным глазом (рис. 2.1, *а*). Эти породы обладают большой средней плотностью, высокой прочностью и морозостойкостью, малым водопоглощением и большой теплопроводностью. К числу важнейших глубинных горных пород, применяемых в строительстве, относятся гранит, сиенит, диорит, габбро и лабрадорит.

Излившиеся плотные породы образовались в верхних горизонтах земной коры или на ее поверхности при отсутствии давления и при быстром охлаждении магмы.

В этих условиях не успевали образовываться крупные кристаллы, часть расплава застывала в виде аморфной массы и обычно возникала скрытокристаллическая или стеклообразная структура. Иногда кристаллизация протекала при движении магмы к поверхности в две фазы: первая фаза — медленная (на глубине); вторая фаза — быстрая (на поверхности). В результате этого возникала порфировая (неравномерная) структура породы (рис. 2.1, *б*), представляющая собой мел-

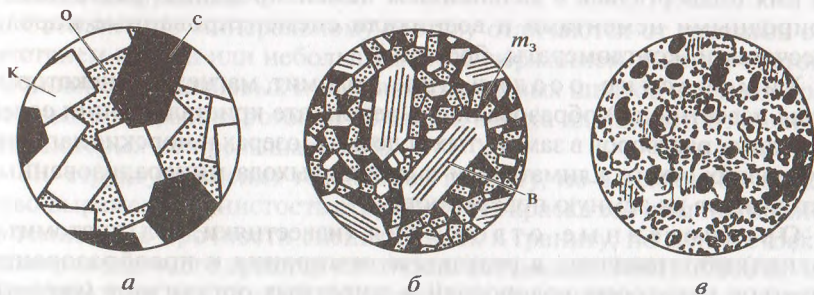


Рис. 2.1. Схематическое строение изверженных горных пород:

а — зернисто-кристаллическая структура гранита (к — кварц; о — ортоклаз; с — слюда); *б* — порфировая структура (*m* — масса мелких зерен; в — включения); *в* — очень пористая структура — пемза

кокрystalлическую, скрытокристаллическую или даже стекловатую массу, в которую включены более крупные кристаллы — вкрапленники, образовавшиеся в магме при ее подъеме из глубины.

Плотные излившиеся горные породы по показателям свойств близки к глубинным горным породам. В зависимости от химического состава магмы к этой группе относятся кварцевый и бескварцевый порфир, андезит, трахит, диабаз и базальт.

Излившиеся пористые породы (обломочные рыхлые и цементированные) образовались при извержении вулканов, когда на поверхность земли под большим давлением выбрасываются частицы раздробленной магмы вместе с парами и газами. Магма, быстро охлаждаясь и удерживая газы при снижении давления, приобретает стеклообразное пористое строение.

Если продукты вулканических извержений откладывались в виде отдельных обломков, то возникали обломочные рыхлые породы — пемзы (рис. 2.1, в), вулканические пески и пеплы. Если же эти обломки попадали в расплавленную магму до ее остывания или со временем слеживались, то образовывались сцементированные породы (вулканические туфы, трассы, туфовые лавы).

Осадочные (вторичные) горные породы образовались в результате химических, физико-механических и биохимических процессов, протекающих в поверхностной зоне земной коры. Эти весьма разнообразные процессы внешней динамики земли происходят как в водных бассейнах, так и на континентах. Осадочные породы большей частью слоисты, поэтому их иногда называют пластовыми.

По преобладающему способу осаждения минеральных и органических образований выделяют три основные группы осадочных пород: механические отложения, химические осадки и органогенные отложения.

Механические отложения рыхлые (глина, песок, гравий, щебень) образовались в результате разрушения, переноса и накопления обломков горных пород и других продуктов выветривания. Часть из них подвергалась в дальнейшем цементированию различными природными цементами и возникали сцементированные породы (песчаники, конгломераты, брекчии).

Химические осадки (гипс, доломит, магнезит и некоторые виды известняков) образовались в результате кристаллизации солей из водных растворов в замкнутых водоемах (озерах и морских лагунах) в условиях сухого климата или в местах выхода минерализованных источников на земную поверхность.

Органогенные отложения (известняки, мел, диатомит и трепел) образовались в результате отмирания и преобразования остатков некоторых водорослей и животных организмов (скелеты губок, кораллы, панцири, раковины и др.) с последующим их уплотнением и цементацией.

Метаморфические (видоизмененные) горные породы образовались в результате преобразования осадочных и изверженных пород под

действием высоких температур и больших давлений, а также под влиянием внедрения магмы в толщу ранее образованных пород. В условиях метаморфизма менялся минералогический, а иногда и химический состав пород, происходила перекристаллизация минералов (без их плавления), изменялась их структура и формировались новые породы, обычно более плотные, чем исходные осадочные.

Из метаморфических пород в строительстве применяются гнейсы, мраморы, кварциты и глинистые сланцы.

2.4. Изверженные породы

Глубинные породы. *Граниты* — наиболее распространенные из всех магматических пород на Земле. Гранит состоит из трех минералов: кварца (20...40 %), полевых шпатов (40...70 %) и слюд — мусковита и биотита (5...20 %), иногда в состав гранита входят роговая обманка и авгит. Граниты имеют ясно выраженное зернисто-кристаллическое строение (см. рис. 2.1, а).

Строительные свойства гранитов можно характеризовать некоторыми средними показателями: средняя плотность — 2 600...2 700 кг/м³; предел прочности при сжатии — около 100...250 МПа, но бывает и выше — до 300 МПа, а на растяжение составляет 1/40...1/60 предела прочности при сжатии. Вследствие малой пористости и небольшого водопоглощения (0,1...1,0 %) граниты морозостойки ($F > 200$ циклов). Цвет гранита зависит от цвета полевого шпата и бывает чаще всего серым, голубовато-серым, темно-красным.

Граниты широко применяются в строительстве, из них изготавливают облицовочные плиты, ступени, плиты для полов, бортовые камни, щебень для бетона и др. Гранит используют для облицовки гидротехнических сооружений, набережных, устоев мостов, цоколей и других важных частей зданий, а также для фундаментов монументальных сооружений.

Сиениты по минеральному составу отличаются от гранитов отсутствием кварца или небольшим его содержанием. Сиенит состоит в основном из калиевых и натриевых полевых шпатов и темноокрашенных минералов (роговой обманки, авгита или биотита), количество которых не превышает 15 %.

По структуре сиенит тождествен граниту, но в нем менее отчетливо выражена зернистость структуры и окраска его обычно немного темнее. По прочности сиенит близок к граниту, но менее стоек к выветриванию, его средняя плотность составляет 2 600...2 800 кг/м³. Пористость и водопоглощение сиенита незначительные, он лучше поддается полировке и обладает большей вязкостью по сравнению с гранитом. Применяют сиениты наряду с гранитами.

Диориты состоят из полевых шпатов плагиоклазов (около 75 %) и темноокрашенных минералов — роговой обманки (реже — биотита

и авгита). Цвет диорита серый или темно-зеленый (при большом содержании темноокрашенных минералов); средняя плотность — 2 800 ... 3 000 кг/м³; предел прочности при сжатии — 150 ... 300 МПа (в среднем выше, чем у гранитов и сиенитов).

Диориты отличаются повышенной ударной вязкостью и устойчивостью к выветриванию, имеют мелкозернистое и среднезернистое строение, хорошо полируются. Их применяют в дорожном строительстве и в виде облицовочных плит.

Габбро — глубинная основная горная порода, состоящая из полевых шпатов, главным образом плагиоклаза (около 50 %), и темноокрашенного минерала — авгита, реже в состав габбро входят роговая обманка, оливин и биотит.

Структура габбро кристаллическая, крупнозернистая, цвет серый, темно-зеленый до черного, но встречаются и коричневые габбро. Габбро — плотная и прочная горная порода со средней плотностью 2 900 ... 3 300 кг/м³ и пределом прочности при сжатии 200 ... 350 МПа, стойкая к выветриванию, хорошо полируется и широко используется для облицовки зданий, покрытия дорог и приготовления щебня.

Лабрадорит — одна из разновидностей габбровых пород, составной частью которой является минерал плагиоклаз — лабрадор. Лабрадорит хорошо полируется и используется в качестве декоративного камня для ценных облицовок.

Излившиеся плотные породы. Представителями излившихся плотных пород являются порфиры, трахиты, андезиты, диабазы, базальты. *Порфиры* подразделяются на кварцевый порфир (аналог гранита), бескварцевый порфир (аналог сиенита) и порфирит (аналог диорита). Свойства порфиров близки к свойствам аналогичных им глубинных пород, однако вследствие скрытокристаллического, а иногда и стекловатого строения основной массы и наличия вкрапленников стойкость к выветриванию ниже. Применяют их в городском и дорожном строительстве в виде щебня, декоративных плит и камней.

Трахиты — излившиеся, сходные с сиенитом породы, но более пористые и легко поддаются выветриванию. По прочности и морозостойкости они намного уступают сиениту. Обычно трахиты имеют светло-желтую или серую окраску. В строительстве их применяют как стеновой материал и щебень для бетона.

Андезиты по свойствам сходны с диоритами, но отличаются от них порфировой структурой. Они желто-серого цвета и содержат больше темноокрашенных минералов, чем трахиты. Наиболее кислые и плотные андезиты применяют в качестве кислотостойкого материала (облицовочные плиты, щебень для кислотоупорного бетона).

Диабазы (аналоги габбро) — плотные кристаллические породы с зернами различной крупности, отличаются своеобразным переплетенным строением (между кристаллами полевого шпата содержится авгит). Они имеют высокую прочность на сжатие — до 450 МПа, об-

ладают большой ударной вязкостью и малой истираемостью. Применяют диабазы для изготовления дорожных каменных материалов, а также в качестве сырья для каменного литья. Цвет диабазов вследствие обилия в них темноокрашенных минералов темно-серый или зеленовато-черный.

Базальты (аналоги габбро) — самые распространенные излившиеся породы. В состав базальтов входят полевой шпат (плагноклаз) и значительное количество темноокрашенных минералов (авгит, реже — оливин). Базальты имеют темно-серый или почти черный цвет. В зависимости от условий, при которых происходило остывание магмы, структура базальтов может быть стекловатая или скрытокристаллическая. Средняя плотность их близка к плотности и в среднем составляет $2\,900 \dots 3\,000 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии очень высокий, иногда достигает 500 МПа , однако при наличии трещин и пор прочность значительно понижается, достигая 100 МПа .

Базальты очень твердые и хрупкие, что затрудняет их обработку. Применяют базальты главным образом для дорожного покрытия, для мощения откосов набережных, в качестве щебня для бетона и сырья для каменного литья.

Излившиеся пористые породы. Вулканические пеплы и пески — порошкообразные частицы вулканической лавы, выброшенной в раздробленном состоянии. Более мелкие частицы (размером до 1 мм) называются вулканическим пеплом, а более крупные зерна (до 5 мм) — вулканическим песком. Пепел и пески используют как активные минеральные добавки при производстве цементов и других вяжущих веществ.

Пемза — легкая весьма пористая порода (см. рис. 2.1, б). Она встречается в природе в виде отдельных обломков с размерами частиц $5 \dots 30 \text{ мм}$. Благодаря наличию крупных и замкнутых пор пемза негигроскопична и морозостойка. Большая пористость пемзы (до 80%) придает ей низкую теплопроводность ($0,14 \dots 0,23 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$) и малую насыпную плотность ($500 \dots 600 \text{ кг/м}^3$). Предел прочности пемзы при сжатии составляет всего $2 \dots 4 \text{ МПа}$.

Применяют пемзу как заполнитель для легкого бетона, в качестве теплоизоляционного материала, как активную минеральную добавку к извести и цементам, а также в качестве шлифующего (абразивного) материала.

Вулканические туфы — пористые породы, образовавшиеся из вулканических пеплов, которые уплотнялись в результате спекания массы, сохранившей достаточно высокую температуру, или вследствие давления вышележащих слоев и цементации природными цементами. Вулканические туфы большей частью имеют пористое строение и малую среднюю плотность. К наиболее уплотненным вулканическим туфам относятся трассы. Туфы и трассы используют в качестве активной гидравлической добавки к цементам и извести, как теплоизоляционные и акустические материалы.

Туфы легко поддаются технологической обработке и являются хорошим строительным материалом, из них выпиливают камни для кладки стен и плиты для облицовки фасадов зданий. Также применяют туфы как заполнитель для легкого бетона.

Туфовая лава образовалась при попадании в жидкую лаву значительного количества вулканических пеплов и песков.

Крупное месторождение туфовой лавы (арктикский туф) находится в Армении. Это стекловидная пористая порода, но благодаря замкнутым порам у нее малое водопоглощение и высокая морозостойкость. Средняя плотность составляет $750 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$; предел прочности при сжатии — $5 \dots 15 \text{ МПа}$; теплопроводность — в среднем $0,35 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$. Арктикский туф имеет разнообразную окраску.

2.5. Осадочные породы

Механические отложения (обломочные породы). К рыхлым механическим отложениям относятся гравий, щебень, песок и глины.

Песчаники состоят из зерен кварцевого песка (реже — из песка полевого шпата), сцементированного природным цементом (рис. 2.2, *а*), например карбонатами кальция, водным кремнеземом, гипсом, глинистыми минералами.

В зависимости от цементирующего вещества песчаники называются известковыми, кремнистыми, глинистыми и др. Цвет их зависит от цвета цементирующего вещества.

Наибольшее применение в строительстве получили известковые и кремнистые песчаники. В известковых песчаниках зерна песка сцементированы кальцитом и доломитом, прочность и стойкость у них средние, а средняя плотность составляет $2300 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$.

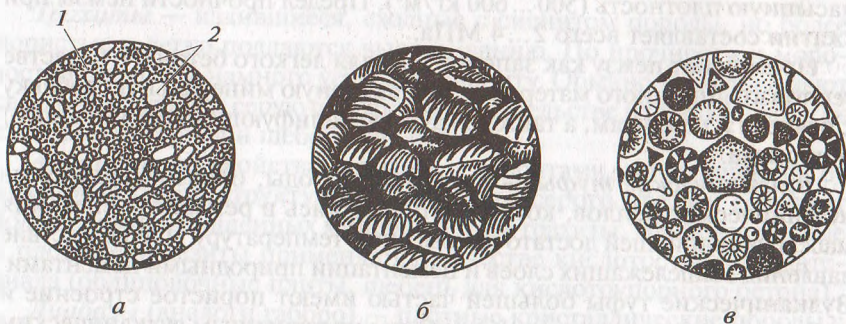


Рис. 2.2. Схематическое строение осадочных горных пород:

а — песчаник: 1 — цементирующее вещество; 2 — зерна песка; *б* — известняк-ракушечник; *в* — диатомит

Кремнистые песчаники состоят из кварцевого песка, сцементированного водным кремнеземом (минерал опал). Они обладают высокой стойкостью, в том числе и кислотостойкостью, высоким пределом прочности (до 250 МПа), большой средней плотностью (2 300 ... 2 600 кг/м³) и значительной твердостью.

Песчаники применяют для фундаментов, бортовых камней, подпорных стенок, набережных, для устройства ступеней и тротуаров, а особо стойкие — для облицовки зданий и сооружений. Кроме того, их используют в виде щебня для бетонов и дорожных покрытий.

Конгломераты состоят из сцементированных округлых гладких зерен гравия, а брекчии — из сцементированных природным цементом остроугольных с шероховатой поверхностью зерен щебня. Конгломераты и брекчии используют в качестве заполнителей для бетонов, для изготовления штучного камня.

Химические осадки. К химическим осадкам относятся некоторые виды известняков и известковые туфы, магнезиты, доломиты, гипс, ангидрит. *Известковые туфы* образовались в результате выпадения CaCO_3 из источников подземных углекислых вод. Обычно туфы мягкие, обладают малой прочностью и легко поддаются распиловке. Туфы имеют пористое, ноздреватое строение.

Разновидность известкового туфа — травертин — имеет плотное мелкозернистое строение, высокую прочность при сжатии (до 80 МПа) и обычно используется как декоративный камень для облицовки зданий. Травертин образовался в результате выпадения CaCO_3 из горячих источников.

Магнезит — порода кристаллического, а иногда аморфного строения, состоит в основном из минерала магнезита (MgCO_3), иногда содержит примеси углекислого кальция и железа. Цвет его белый, желтоватый до бурого. Магнезит используют для изготовления огнеупорных изделий, а также в качестве сырья для производства минерального вяжущего — каустического магнезита.

Доломит состоит в основном из минерала доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) с примесью глины, оксида железа и др. Доломиты бывают зернистой, оолитовой и кристаллической структуры. Цвет — серый, желтоватый до бурого. По свойствам доломиты близки к плотным известнякам. Средняя плотность доломитов — 2 200 ... 2 800 кг/м³; предел прочности при сжатии — 150 ... 200 МПа, что немного больше прочности плотного известняка. Применяют их в качестве строительного камня и щебня для бетона, для получения огнеупорных материалов и вяжущего вещества — каустического доломита.

Гипс — горная порода обычно белого или серого цвета, состоящая из минерала того же названия ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Гипсовый камень имеет среднюю плотность 2 000 ... 2 300 кг/м³, предел прочности при сжатии 30 МПа и невысокую стойкость. Гипс используют главным образом для изготовления гипсовых вяжущих веществ и в качестве добавки при производстве портландцемента.

Ангидрит состоит в основном из минерала ангидрита (CaSO_4). По внешнему виду мало отличается от гипса, цвет голубовато-белый до серого с разными оттенками. Ангидрит применяют для получения вяжущих веществ и внутренней облицовки зданий.

Органогенные отложения. К органогенным породам относятся различные карбонатные и кремнистые горные породы. Из них для строительных целей используются известняки, известняк-ракушечник, мел, диатомит и трепел.

Известняки — широко распространенная горная порода, состоящая главным образом из кальцита (CaCO_3). Кроме углекислого кальция известняки обычно содержат незначительную примесь магнесия, а иногда кварца, глинистых, железистых и других соединений. В основном известняки морского происхождения — уплотненные и сцементированные скелетные остатки простейших животных организмов (раковин, моллюсков, панцирей и игл морских ежей, скелетов коралловых полипов).

Цвет известняков белый или светлый с желтыми, серыми, красноватыми или бурыми оттенками (в зависимости от содержащихся в них примесей). По структуре известняки подразделяются на плотные, пористые, мраморовидные, ракушечники, оолитовые (в которых шарообразные зернышки кальцита сцементированы тем же известковым цементом), землистые (мел).

Плотные известняки имеют среднюю плотность $2\,000 \dots 2\,600 \text{ кг/м}^3$ и предел прочности при сжатии до 100 МПа , а пористые — среднюю плотность $900 \dots 2\,000 \text{ кг/м}^3$ и предел прочности при сжатии $0,4 \dots 20 \text{ МПа}$.

Плотные известняки используют для облицовочных плит, архитектурных деталей, в качестве щебня для бетона, для производства извести и портландцемента.

Мраморовидные известняки — переходные породы от известняков к мраморам. Они состоят из зерен кальцита, тесно связанных между собой небольшим количеством карбонатного цемента. Мраморовидные известняки более плотные, чем обычные, имеют большую среднюю плотность ($2\,600 \dots 2\,800 \text{ кг/м}^3$) и более высокий предел прочности при сжатии ($60 \dots 180 \text{ МПа}$).

Известняк-ракушечник — пористая порода, состоящая из раковин и панцирей моллюсков, корненожек и других остатков, слабоцементированных известковым цементом (рис. 2.2, б). Средняя плотность ракушечника — $900 \dots 2\,000 \text{ кг/м}^3$; предел прочности при сжатии — $0,4 \dots 15 \text{ МПа}$ и более. Он имеет малую теплопроводность и легко поддается распиловке. Используют известняк-ракушечник как щебень для легкого бетона, а более прочные виды — для изготовления стеновых камней и блоков.

Мел — землистая горная порода, которая представляет собой затвердевший морской осадок, состоящий из мелких обломков кальцита, многоклеточных организмов и микроскопических раковин. Он обладает высокой дисперсностью. Цвет его белый. Используют мел

для получения извести, при производстве портландцемента, стекла и для приготовления красок и замазки.

Диатомиты представляют собой богатые аморфным кремнеземом рыхлые или землистые массы белого, желтого, серого и других цветов, состоящие из опала ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Они образовались из остатков мельчайших водорослей диатомий, покрытых тонкой прочной кремневой оболочкой, а также из кремневых скелетов одноклеточных животных радиолярий и губок, между которыми осаждались тончайший ил и глина (рис. 2.2, в).

Трепел — по внешнему виду, химическому и минералогическому составу и свойствам очень сходен с диатомитом, но содержит аморфный кремнезем в виде мельчайших шариков опала, сцементированных опаловидным цементом. В состав трепела входит также небольшое количество скелетов диатомий, губок и раковин радиолярий.

В диатомите и трепеле содержится до 75...96 % активного кремнезема. Их средняя плотность — 350...950 кг/м³, теплопроводность — 0,17...0,23 Вт/(м·°С).

Диатомит и трепел используют при изготовлении теплоизоляционных материалов, для производства легкого кирпича, а также в качестве активных гидравлических добавок к вяжущим.

С течением времени под давлением верхних слоев трепел превращается в плотную, прочную, трудно размокающую породу — опоку, почти полностью состоящую из аморфного кремнезема.

2.6. Метаморфические породы

Мраморы образовались из известняков (реже — доломитов) под воздействием высокой температуры и огромного многостороннего давления. Состоят они из прочно сросшихся между собой кристаллов кальцита (CaCO_3), иногда с примесью зерен доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Кристаллические зерна связаны в мраморе непосредственным сцеплением кристаллов без цементирующего вещества (рис. 2.3, а). Это придает ему высокую плотность и прочность при сжатии — примерно 120 МПа, а иногда до 300 МПа.

Мрамор имеет среднюю плотность 2 600...2 800 кг/м³, водопоглощение 0,1...0,7 % и относительно высокую прочность на истирание. Цвет чистого мрамора — белый, но в зависимости от примесей он может быть очень разнообразным: красным и розовым (от примесей железистых соединений и марганца), серым и черным (от примесей органических веществ) и др. При неравномерном распределении примесей мраморы приобретают окраску с разными узорами и прожилками. Из него изготавливают плиты для внутренней отделки зданий, плитки для полов, ступени, подоконные доски и другие изделия.

Мрамор не рекомендуется применять для наружной отделки зданий, так как под влиянием влаги, отрицательных температур и воз-

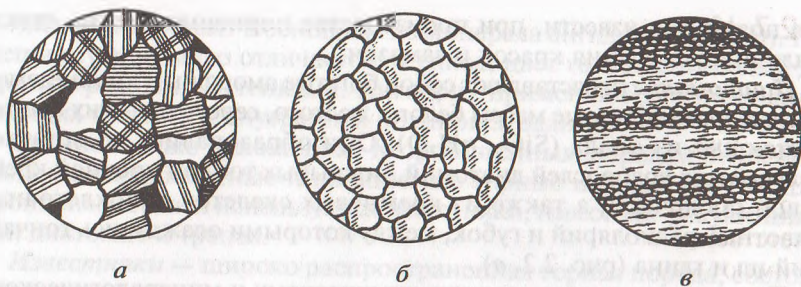


Рис. 2.3. Схематическое строение метаморфических горных пород:
а — мрамор; *б* — кварцит; *в* — гнейс (сланцеватое строение)

действием сернистого газа (содержащегося в воздухе промышленных центров) он выветривается, теряет блеск полировки, цвет его изменяется.

Кварциты — метаморфическая разновидность кремнистых песчаников с перекристаллизованными и сросшимися зернами кварца, так что цементирующее вещество неотделимо от зерен кварца (рис. 2.3, *б*). Кварциты очень стойки к выветриванию, имеют высокий (до 400 МПа) предел прочности при сжатии и среднюю плотность 2 500...2 700 кг/м³. Вследствие большой твердости (7 и выше) кварциты трудно обрабатываются. Применяют их обычно в особо ответственных частях зданий и сооружений, например для подферменных конструкций мостов, наружной облицовки в виде камня и плит (если требуется повышенная стойкость), как бутовый камень и щебень, а также в качестве сырья для производства огнеупорных (динасовых) изделий. Цвет кварцита — белый, красный, фиолетовый, темно-вишневый.

Гнейсы образовались в результате перекристаллизации гранитов, гранодиоритов, кварцевых порфиров и некоторых других изверженных пород, при высокой температуре и большом одностороннем давлении, поэтому гнейсы имеют сланцеватое строение (кристаллы вытянуты в одном направлении), что обуславливает их анизотропность (рис. 2.3, *в*). Сланцеватость облегчает добычу и обработку гнейсов, но уменьшает их прочность вдоль слоев и стойкость к выветриванию. В строительстве гнейсы используют в виде плит для облицовки каналов, набережных, кладки фундаментов, устройства тротуаров и др.

Глинистые сланцы — плотная и твердая глинистая порода сланцевого строения. Они образовались из глин, сильно уплотнившихся и частично перекристаллизовавшихся под большим односторонним давлением. В отличие от глин они не размокают в воде и при увлажнении, не обладают пластичностью. Цвет у них обычно темно-серый, они очень долговечны, легко распиливаются на тонкие ровные плитки и являются хорошим кровельным материалом (природный шифер).

2.7. Изделия из природного камня

Природные каменные материалы и изделия подразделяются:

- по средней плотности — на тяжелые (более $1\,800\text{ кг/м}^3$) и легкие (менее $1\,800\text{ кг/м}^3$);
- по пределу прочности при сжатии (кг/см^2) — на марки: 4, 7, 10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 800 и 1 000 (соответственно от 0,4 до 100 МПа), причем легкие каменные материалы имеют марки до 200, а тяжелые — от 100 и выше;
- по морозостойкости (количеству циклов замораживания и оттаивания) — на марки: F10, 15, 25, 35, 50, 100, 200, 300 и 500;
- по коэффициенту размягчения (K_p) — на материалы с коэффициентом размягчения 0,6; 0,75; 0,9 и 1,0.

К изделиям и профилированным деталям относятся: пиленные штучные камни и блоки для стен; камни, плиты и профильные изделия с различно обработанной поверхностью для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений. Бутовый камень получают из осадочных (песчаников, известняков и т. п.) и изверженных пород (гранит, сиенит). Бутовый камень применяют для устройства фундаментов, кладки стен холодных помещений (склады и т. п.), для отсыпки или бетонирования массивных частей гидротехнических сооружений.

Камни и блоки для кладки стен получают обычно из пористых известняков, вулканических туфов и других горных пород со средней плотностью от 900 до $2\,000\text{ кг/м}^3$ методом выпилевания. Марки камней в зависимости от пористости горной породы могут быть от 4 до 50. Для лицевой кладки без штукатурки марка камня должна быть не ниже 25. Водопоглощение камней допускается не более 30 %, а коэффициент размягчения — не менее 0,6.

Основные размеры камней из пористых пород для кладки стен — $390 \times 190 \times 188$ и $390 \times 190 \times 288$ мм. Каждый такой камень заменяет 8...12 кирпичей.

Для наружной облицовки зданий и сооружений используются плотные и атмосферостойкие горные породы, в основном глубинные изверженные (граниты, сиениты, габбро и др.) или плотные известняки, мергели, реже — мрамор. Кроме того, для этой цели широко используется вулканический туф.

Для внутренней облицовки зданий применяют плиты из декоративных пород средней твердости: мрамора, пористых известняков (травертина, ракушечника), вулканических туфов. Травертин и туф можно рекомендовать для облицовки стен театров и кинотеатров, так как вследствие сильно развитой открытой пористости эти породы обладают хорошими звукопоглощающими свойствами.

Для устройства покрытия полов используют полированные (реже — шлифованные) плиты из твердых и износостойких пород камня (гранит, сиенит, кварцит) и в случае небольшой интенсивности люд-

ских потоков в помещении — плиты из мрамора. Толщина плит для пола — не менее 20 мм. Лестницы, как и полы, облицовывают твердыми износостойкими породами. В зависимости от способа получения облицовочные плиты подразделяются на колотые и тесаные, получаемые обработкой ударными инструментами, и пиленые, получаемые распиловкой каменных блоков. Для облицовки зданий используют в основном пиленые плиты, толщина которых для наружной облицовки составляет 20...60 мм. Плиты для внутренней облицовки имеют толщину 15...10 мм.

Поверхность облицовочных плит может иметь различную фактуру. Ударной обработкой можно получить следующие фактуры:

- а) фактуру скалы с крупными буграми и впадинами, имеющую вид, как при расколе горной породы;
- б) рифленую и бороздчатую с правильным чередованием гребней и впадин глубиной от 0,5 до 2,0 мм;
- в) точечную — равномерно шероховатую с углублениями не более 2 мм.

При абразивной обработке можно получить более гладкие фактуры:

- а) пиленую — с глубиной бороздок не более 2 мм;
- б) шлифованную — равномерно шероховатую с глубиной рельефа до 0,5 мм;
- в) лощеную — гладкую бархатисто-матовую с выявленным рисунком и цветом камня, но не имеющую блеска;
- г) полированную — гладкую с зеркальным блеском, полностью выявляющую структуру и рисунок камня.

Дорожные каменные материалы используют в виде брусчатки, колотых и булыжных камней и бордюрного камня.

Бортовые камни, служащие для отделения проезжей части от тротуаров, изготавливают из гранита и сиенита. Они представляют собой прямоугольные параллелепипеды длиной 1 000...2 000 мм, высотой 300...400 мм и шириной 100...200 мм.

Брусчатка — колотые или тесаные камни из изверженных или плотных осадочных пород, имеющие форму параллелепипеда. Брусчатка применяется для мощения городских улиц, площадей и заполнения трамвайного полотна.

Колотый и булыжный камень в основном используется для устройства верхних покрытий дорог, его применяют для укрепления откосов земляных сооружений и при проведении берегоукрепительных работ.

2.8. Защита природных каменных материалов от коррозии

Факторы, вызывающие разрушение природных каменных материалов от воздействия окружающей среды, подразделяются на физико-механические и физико-химические.

Среди *физико-механических воздействий* наибольшую опасность представляет совместное воздействие мороза и воды. Осадочные породы (известняки, доломиты и др.) имеют поры, поэтому их перед использованием необходимо проверять на морозостойкость.

Что же касается изверженных пород, то благодаря отсутствию в них пор они, как правило, имеют высокую морозостойкость. Однако если обработка камня производилась ударным инструментом (фактура скалы, бороздчатая или точечная фактура), на поверхности камня появляются мельчайшие трещины, которые при попадании в них воды могут стать причиной начала разрушения. Поэтому для придания большей стойкости облицовочному камню его поверхность делают полированной.

Причиной разрушения каменных материалов в результате *физико-химических воздействий* являются вредные выбросы в атмосферу от промышленных предприятий и автотранспорта, создающие в городах высокую концентрацию кислотных окислов (SO_2 , SO_3 , NO_2 и т. п.). Эти окислы, образуя с атмосферной влагой кислоты, вызывают коррозию. Особенно опасно это для карбонатных пород (известняка, мрамора), поэтому защита архитектурных памятников, выполненных в основном из этих пород, является серьезной проблемой.

Карбонатные породы разрушаются также под воздействием воды и углекислого газа, содержащегося в атмосфере, в результате образования хорошо растворимого в воде бикарбоната кальция:



Таким образом, например, полированная поверхность мрамора на открытом воздухе менее чем через год делается матовой. Наиболее радикальный путь повышения стойкости камня — изоляция его от воздействия влаги, что осуществляется конструктивными мерами и физико-химическими методами.

Конструктивные меры: придание выступающим частям каменных конструкций (карнизам, парапетам, поясам) формы, не дающей возможности задерживаться на них воде, и применение материалов с полированной поверхностью.

Физико-химические методы защиты природного камня сводятся к гидрофобизации его поверхности кремнийорганическими жидкостями; уплотнению поверхностного слоя камня путем пропитки полимерами (например, раствором мочевиноформальдегидной смолы, полимерными эмульсиями или другими водостойкими веществами, заполняющими поры камня); флюатированию — наиболее эффективному методу защиты карбонатных пород.

Сущность флюатирования заключается в пропитывании поверхности известняков растворами флюатов (солей кремнефтористоводородной кислоты). При этом происходит следующая реакция:



Получающиеся новообразования практически нерастворимы в воде. Они отлагаются в порах, уменьшая пористость и смачиваемость поверхности, скорость капиллярного подсоса воды, и, кроме того, препятствуют загрязнению облицовки пылью.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об использовании природных каменных материалов в строительстве.
2. Как классифицируются горные породы?
3. Чем отличается горная порода от минерала?
4. Что вы знаете о магматических породах?
5. Как образовались осадочные породы? Расскажите об осадочных породах механического происхождения.
6. Какая органогенная осадочная порода является одной из главных пород, применяемых в строительстве? Расскажите о ее составе и свойствах.
7. Чем отличается мрамор от известняка?
8. Какие виды строительных изделий получают из горных пород?
9. В чем заключается коррозия изделий из природного камня и как повышают стойкость горных пород?

Глава 3

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

3.1. Общие сведения

Керамическими называются материалы и изделия, изготавливаемые формованием и обжигом глин. В глубокой древности из глин путем обжига получали посуду, а позднее (около 5 000 лет назад) стали изготавливать кирпич, а затем черепицу. Большая прочность, значительная долговечность, декоративность многих видов керамики, а также распространенность в природе сырьевых материалов обусловили широкое применение керамических материалов и изделий в строительстве.

В долговечности керамических материалов можно убедиться на примере Московского Кремля, стены которого сложены почти 500 лет назад.

По структуре различают керамические изделия с пористым и плотным черепком. Пористые изделия имеют водопоглощение по массе свыше 5 %, плотные — менее 5 %.

По конструктивному назначению различают керамические изделия для стен (кирпич и керамические камни), облицовки фасадов (лицевой кирпич и камни, плитки), внутренней облицовки стен, полов (плитки), перекрытий (пустотные камни), кровли (черепица), санитарных коммуникаций (дорожный кирпич, трубы и т.д.), теплоизоляции (легкий кирпич, фасонные изделия), а также выделяют заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит).

3.2. Глины, их состав и свойства

Глинами называют группу распространенных в природе осадочных горных пород, сложенных различными глинистыми минералами — водными алюмосиликатами — со слоистой кристаллической структурой. Важнейшими глинистыми минералами являются каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), монтмориллонит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), галлуазит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), бейделит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Глинистые минералы определяют основную особенность глин — образовывать с водой пластичное тесто, способное в процессе высыхания сохранять приданную ему форму и после обжига приобретать свойства камня.

К основным свойствам глин относятся пластичность, воздушная усадка и огневая усадка, огнеупорность и цвет черепка после обжига.

Пластичностью глин называется способность глиняного теста под действием внешних сил принимать заданную форму без образования трещин и устойчиво сохранять ее. Природные глины содержат различные примеси, например кварц, кальцит, слюды, соединения железа и др. Примеси понижают пластичность глин и тем в большей степени, чем выше их содержание. Пластичность глин повышается с увеличением количества воды в глиняном тесте, но до некоторого предела, сверх которого глиняное тесто начинает терять удобоформируемость (прилипает к поверхности перерабатывающих машин). Чем пластичнее глины, тем больше они требуют воды для получения удобоформируемого глиняного теста.

Глинистые минералы при смачивании глин водой набухают вследствие того, что поглощаемая ими вода располагается между отдельными слоями их кристаллических решеток; при этом межплоскостные расстояния решеток значительно увеличиваются. При сушке глин происходит обратный процесс, сопровождающийся усадкой.

Под *воздушной усадкой* (линейной или объемной) понимают уменьшение линейных размеров и объема образца из глиняного теста при высыхании. Воздушная усадка тем больше, чем выше пластичность глины.

При обжиге глин после удаления гигроскопической влаги и выгорания органических примесей происходит разложение глинистых минералов. Так, каолинит при температуре 500...600 °С теряет химически связанную воду; при этом процесс протекает с полным распадом кристаллической решетки и образованием аморфной смеси глинозема Al_2O_3 и кремнезема SiO_2 . При дальнейшем нагреве до температур 900...950 °С возникают новые кристаллические силикаты, например муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), и образуется некоторое количество расплава (жидкой фазы) вследствие плавления наиболее легкоплавких минералов, входящих в состав обжигаемых глиняных масс. Чем больше в составе глин окислов-плавней Na_2O , K_2O , MgO , CaO , тем ниже температура образования жидкой фазы.

В процессе обжига под действием сил поверхностного натяжения жидкой фазы твердые частицы обжигаемого материала сближаются и объем его уменьшается, т.е. происходит огневая усадка. *Огневой усадкой* (линейной или объемной) называется уменьшение линейных размеров и объема высушенных глиняных образцов в процессе обжига.

Переход глиняных масс при обжиге и последующем охлаждении в камнеподобное тело обусловлен сцеплением частиц в результате

диффузионных процессов, приводящих к возникновению новых кристаллических силикатов за счет топохимических реакций, и образованием стекловидного расплава, связывающего отдельные огнеупорные зерна в прочный монолитный черепок.

Процесс уплотнения глиняных масс при обжиге принято называть *спеканием*. Температура обжига, при которой водопоглощение обожженного изделия составляет 5 %, принимается за начало спекания глин. Температурный интервал между огнеупорностью и началом спекания называется *интервалом спекания глин*. Он зависит от состава глин: чистые каолиновые глины имеют интервал спекания более 100 °С, присутствие в составе глин кальцита CaCO_3 уменьшает интервал спекания. При производстве плотных керамических изделий можно использовать только глины с большим интервалом спекания.

Огнеупорность глин зависит от их состава, и у чистого каолинита она равна 1780 °С. По огнеупорности глины подразделяются на огнеупорные с огнеупорностью более 1580 °С, тугоплавкие с огнеупорностью 1350...1580 °С и легкоплавкие с огнеупорностью менее 1350 °С.

Для получения керамических строительных материалов используют преимущественно легкоплавкие (кирпичные) глины, содержащие значительное количество кварцевого песка, соединений железа и других плавней.

Цвет глиняного черепка после обжига зависит от состава глин, в частности от присутствия в них окислов железа. Соединения железа окрашивают керамический черепок в красный цвет при обжиге в окислительной среде и в темно-коричневый или черный цвет при обжиге в восстановительной среде. Интенсивность окраски повышается с увеличением содержания в глине Fe_2O_3 .

3.3. Принципы производства керамических изделий

Производство керамических изделий состоит из четырех этапов: карьерные работы; механическая обработка глиняной массы; формование изделий; их сушка и обжиг.

Карьерные работы включают в себя добычу, транспортирование и хранение промежуточного запаса глины. Вылеживание замоченной глины и ее вымораживание в течение года на открытом воздухе разрушают природную структуру глины, она диспергируется на элементарные частицы, что повышает пластичность и формовочные свойства керамической массы.

Механическую обработку глиняной массы осуществляют с помощью глинообрабатывающих машин в целях выделения либо из-

мельчения каменистых включений, гомогенизации керамической массы и получения нужных формовочных свойств. Выделение каменистых включений из глины осуществляют, пропуская глину через винтовые камневыведительные вальцы или применяя другие специализированные машины. Практически полного выделения камней из глины можно добиться гидравлическим обогащением: глину выпускают в глиноболтушках, а затем шликер пропускают через сито, на котором отделяются камни размером более 0,5 мм; обезвоживание шликера осуществляют в мощных распылительных сушилках.

Измельчение глины производят после выделения каменистых включений. Если в глине их нет, то после доставки на завод ее сразу подвергают грубому дроблению, а уже потом тонкому измельчению.

После тонкого измельчения глину надо промять, чтобы получить глиняную массу с нужной формовочной влажностью. На кирпичных заводах глину проминают в открытых лопастных глиномялках с водяным орошением и паровым увлажнением глиняной массы. Паровое увлажнение увеличивает производительность ленточных прессов и снижает потребляемую ими мощность на 15...20 % по сравнению с водяным орошением глины.

Стеновые керамические изделия изготавливают способами пластического формования и полусухого прессования. Из жидких глиняных масс (шликеров) изготавливают некоторые виды облицовочной плитки, санитарно-технические и другие изделия из фаянса и фарфора.

Способ пластического формования. Изделия стеновой керамики формуют из пластичных глиняных масс на ленточных шнековых прессах, которые могут быть вакуумными и безвакуумными (рис. 3.1). В корпусе этого пресса вращается шнек — вал с винтовыми лопастями. Глиняная масса, поступающая через воронку и питающий валик, перемещается шнеком к сужающейся переходной головке и мундштуку. В этом месте глиняная масса уплотняется, выравниваются давления и скорости по сечению глиняного бруса.

Мундштук ленточного пресса для производства обыкновенного кирпича имеет прямоугольное сечение. Для формования пустотелых кирпича и керамических камней в мундштуке пресса устанавливают пустотообразующий сердечник, состоящий из скобы с прикрепленными к ней стержнями — пустотообразователями. Применяются также фасонные вставки в виде узкой щели — для формования черепицы, кольцевые — для керамических труб.

Из мундштука пресса выходит глиняный брус, который разрезают автоматическим резательным аппаратом, получая изделия заданного размера. Отбор сырца от пресса и укладку его на транспортные средства выполняют автоматы. Плотный вакуумированный сырец устанавливается рядами на печную вагонетку и поступает в туннельную сушилку в штабеле (без полок). Вакуумирование глины извлекает из

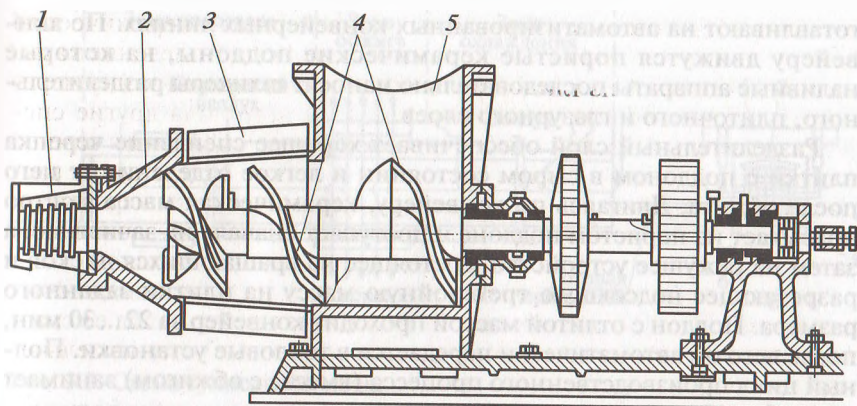


Рис. 3.1. Схема устройства ленточного пресса:

1 — мундштук; 2 — головка пресса; 3 — цилиндр; 4 — лопасти шнека; 5 — воронка

нее воздух, снижает необходимую формовочную влажность на 3...4 % и вследствие этого улучшает ее формовочные и прочностные свойства. Прочность сырца возрастает, примерно в 1,5 раза упрочняется высушенное изделие, прочность обожженного изделия увеличивается до двух раз, его водопоглощение снижается на 10...15 %.

Способ полусухого прессования. Керамические изделия формируются способом полусухого прессования из шихты с влажностью 8...10 %, уплотняемой прессованием под давлением 15...40 МПа. Керамические пресс-порошки должны иметь определенные зерновой состав и влажность. Их готовят шликерным и сушильно-помольным способами.

При сушильно-помольной подготовке глины предусматриваются следующие операции:

- 1) дробление глины на дезинтеграторных вальцах;
- 2) сушка глины в сушильных барабанах;
- 3) помол высушенной глины в корзинчатых дезинтеграторах;
- 4) отсеивание крупных зерен на ситах;
- 5) увлажнение порошка, прошедшего через сито, паром до равномерной влажности 8...10 %, необходимой для прессования.

Для полусухого способа производства целесообразно применять глины с небольшой естественной влажностью, не требующие сушки перед помолом. Способ полусухого прессования применяют при производстве обыкновенного и пустотелого глиняного кирпича, фасадных плиток.

Главное преимущество полусухого прессования перед пластическим формованием — сокращение затрат энергии.

Способ литья. Рассмотрим особенности способа литья применительно к производству тонких (толщиной 2 мм) глазурованных мозаичных плиток, которые служат для облицовки фасадов. Плитки из-

готовавливают на автоматизированных конвейерных линиях. По конвейеру движутся пористые керамические поддоны, на которые наливные аппараты последовательно наносят шликеры разделительного, плиточного и глазурного слоев.

Разделительный слой обеспечивает хорошее сцепление черепка плитки с поддоном в сыром состоянии и легкое отделение от него после обжига. Двигаясь по конвейеру, керамическая масса быстро подсыхает на пористом поддоне и поступает сначала на зачистное, а затем на режущее устройство, состоящее из вращающихся дисков и разрезающее подсыхшую трехслойную массу на плитки заданного размера. Поддон с отлитой массой проходит конвейер за 22...30 мин, после чего он автоматически передается в тепловые установки. Полный цикл производственного процесса (вместе с обжигом) занимает около 2 ч.

Сушка сырца. Формовочная влажность стеновых керамических изделий, изготавливаемых способом пластичного формования, обычно составляет 18...22 %, хотя уже появились ленточные прессы для формования сырца из масс влажностью 14...16 %. Сырец полусухого прессования имеет влажность 8...10 %. Перед обжигом изделие надо высушить до содержания влаги не более 5 % во избежание неравномерной усадки и растрескивания при обжиге.

Сушку сырца проводят в туннельных и камерных сушилках. Туннельные сушилки на кирпичных заводах работают по принципу противотока (рис. 3.2). Сырец на вагонетках движется по туннелю навстречу потоку горячего воздуха или дымовых газов. Длительность сушки кирпича-сырца в туннельных сушилках составляет 16...36 ч при начальной температуре теплоносителя 120...150 °С.

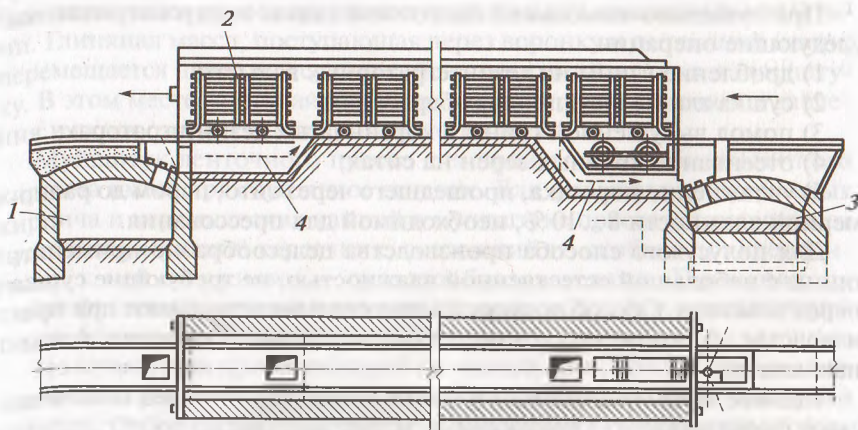


Рис. 3.2. Схема туннельной сушилки:

1 — подача теплоносителя; 2 — вагонетки с сырцом; 3 — отбор теплоносителя; 4 — центральный канал для подачи теплоносителя в сушилку

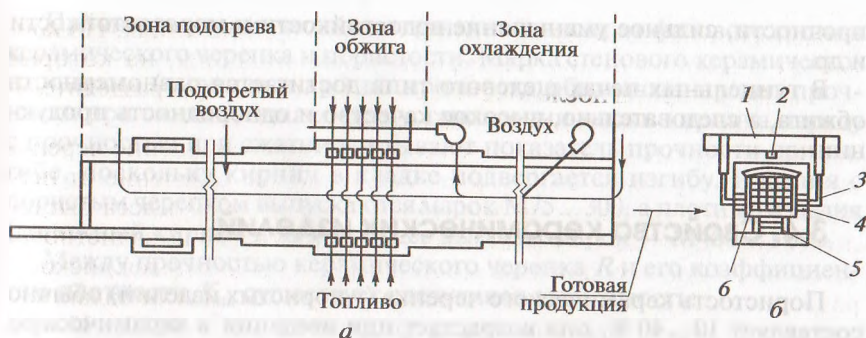


Рис. 3.3. Схема туннельной печи:

а — план; *б* — разрез: 1 — газопровод; 2 — трубопровод для подогретого воздуха; 3 — газовая горелка; 4 — топка; 5 — вагонетка; 6 — кирпичная садка

Камерные сушилки представляют собой систему камер. Каждая камера обогревается горячим воздухом или горячими газами, отходящими из печей. В стены камер встроены лопастные реверсивные вентиляторы, создающие интенсивную циркуляцию теплоносителя внутри камеры.

После сушки керамические изделия, имеющие влажность не более 5 %, поступают в печь.

Обжиг завершает изготовление керамических изделий. Обжиг керамических изделий осуществляют в туннельных печах с автоматическим управлением (рис. 3.3). Туннельная печь представляет собой длинный канал, выложенный внутри огнеупорной футеровкой. Вагонетки с изделиями, составляющие сплошной поезд, перемещаются в печи и постоянно проходят зоны подогрева, обжига и охлаждения: при подаче новой вагонетки с сырцом в зону подогрева из зоны охлаждения выходит вагонетка с обожженными изделиями.

Следовательно, процесс обжига керамических изделий можно условно разделить на три последовательных этапа:

- 1) постепенное удаление влаги из сырца;
- 2) обжиг сырца;
- 3) постепенное охлаждение обожженных изделий.

Максимальная температура обжига кирпича и других стеновых керамических изделий (950...1000 °С) необходима для спекания керамической массы. Спекание происходит вследствие цементирующего действия расплава эвтектик (жидкостное спекание), реакций в твердой фазе и кристаллизации новообразований.

При избыточном количестве расплава, что характерно для пережога, изделия теряют свою форму, оплавляются с поверхности. Недожег обусловлен незавершенностью процесса спекания. Он проявляется в характерных признаках: алый цвет кирпича, снижение

прочности, сильное уменьшение водостойкости и морозостойкости и др.

В туннельных печах щелевого типа достигается равномерность обжига, а следовательно, высокое качество и однородность продукции.

3.4. Свойства керамических изделий

Пористость керамического черепка (у пористых изделий) обычно составляет 10...40 %, она возрастает при введении в керамическую массу выгорающих, пенообразующих и других добавок. Стремясь снизить среднюю плотность и теплопроводность, прибегают к созданию пустот в кирпиче и керамических камнях.

Водопоглощение характеризует пористость керамического черепка. Пористые керамические изделия имеют водопоглощение 6...20 % по массе, т.е. 12...14 % по объему. У плотных же изделий водопоглощение гораздо меньше: 1...5 % по массе (2...10 % по объему).

Теплопроводность абсолютно плотного керамического черепка большая — 1,16 Вт/(м·°С). Воздушные поры и пустоты, создаваемые в керамических изделиях, снижают среднюю плотность и значительно уменьшают теплопроводность. Облегчение стеновых керамических изделий с 1800 до 700 кг/м³ понижает теплопроводность с 0,8 до 0,21 Вт/(м·°С). Соответственно уменьшаются толщина наружной стены и материалоемкость ограждающих конструкций, черепка.

Марка по морозостойкости обозначает число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживает изделие в условиях стандартного испытания без каких-либо признаков видимых повреждений (расслоение, шелушение, растрескивание, выкрашивание).

Морозостойкость керамического материала зависит от объема резервных пор. К резервным относятся крупные поры (диаметром больше 200 мкм), в которых капиллярное давление недостаточно для удержания воды. Керамический материал морозостоек, если в нем объем резервных пор V_p достаточен для компенсации прироста объема замерзающей воды в опасных порах (их объем $V_{оп}$). Это условие выражается в виде формулы для вычисления структурной характеристики материала G , %:

$$G = \frac{V_p}{V_{оп} - V_p} 100.$$

Опасные поры (диаметром 200 мкм и менее) удерживают воду, замерзающую при температуре от -15 до -20 °С.

Обыкновенный глиняный кирпич морозостоек при $G > 9$ %, а пустотелые изделия — при $G > 6$ %.

Прочность керамических материалов зависит от фазового состава керамического черепка и пористости. Марка стенового керамического изделия (кирпича и др.) по прочности обозначает предел прочности при сжатии, однако при установлении марки кирпича наряду с прочностью при сжатии учитывают показатель прочности при изгибе, поскольку кирпич в кладке подвергается изгибу. Изделия с пористым черепком выпускаются марок М75... 300, а плотные изделия (дорожный кирпич и др.) — более высоких марок — М400... 1 000.

Между прочностью керамического черепка R и его коэффициентом плотности $K_{пл}$ существует следующая зависимость:

$$R_{сж} = R_0 K_{пл}^3,$$

где R_0 — предел прочности при сжатии абсолютно плотного черепка.

Коэффициент плотности определяется по формуле

$$K_{пл} = \rho_{ср} / \rho,$$

где $\rho_{ср}$, ρ — соответственно средняя плотность и плотность керамического черепка.

Паропроницаемость стеновых керамических изделий способствует естественной вентиляции помещений. Малая паропроницаемость нередко служит причиной отпотевания внутренней поверхности стен помещений с повышенной влажностью воздуха. Паропроницаемость зависит от пористости и характера пор. Например, коэффициент паропроницаемости фасадных плиток полусухого прессования с водопоглощением 8,5; 6,5 и 0,25 % соответственно равен 0,155; 0,0525 и 0,029 г/(м · ч · Па).

Неодинаковая паропроницаемость слоев, из которых состоит наружная стена, вызывает накопление влаги. Так, фасадная облицовка стен глазурованными плитками может привести к накоплению влаги в контактном слое стена — плитка, последующее замерзание влаги вызовет отслоение облицовки.

3.5. Керамические изделия

Глиняный строительный кирпич. Кирпич глиняный обыкновенный (сплошной) имеет форму прямоугольного параллелепипеда размером 250 × 120 × 65 мм с прямыми ребрами, четкими гранями и ровными лицевыми поверхностями. Искривление ребер и граней кирпича не должно превышать 3 мм. Модульный кирпич имеет размеры 250 × 120 × 88 мм и выпускается с круглыми или щелевыми пустотами, чтобы масса одного кирпича составляла не более 4 кг (рис. 3.4).

Отклонения от размеров не должны превышать установленных величин.

Кирпич не должен иметь механических повреждений и сквозных трещин. На отдельных кирпичах допускаются отбитости ребер и углов

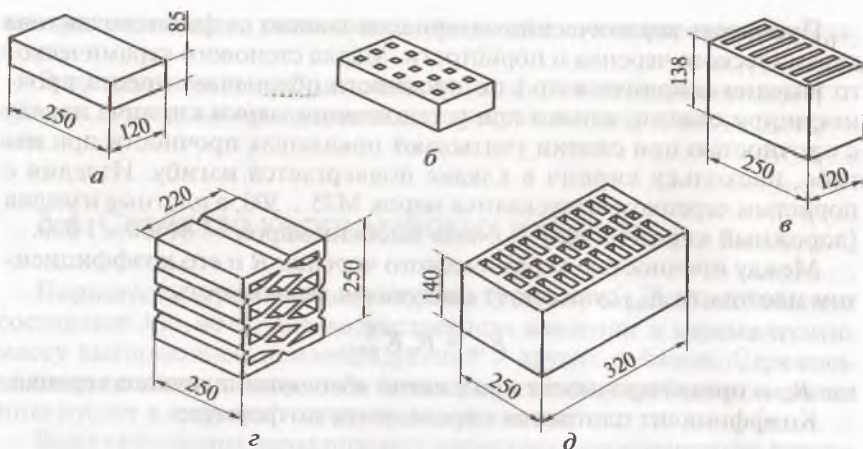


Рис. 3.4. Виды керамических стеновых изделий:

а — обыкновенный кирпич; *б* — дырчатый кирпич; *в* — щелевой камень; *г* — сотовый камень; *д* — щелевой камень для панелей

размером по длине ребра не более 15 мм в количестве не более двух на одном кирпиче. На отдельных кирпичах может быть допущена одна сквозная трещина протяженностью не более 30 мм по ширине кирпича. Кирпич должен быть нормально обожжен. Кирпич «недожог» или «пережог» является браком. После обжига кирпич должен соответствовать цвету эталона нормально обожженного кирпича. Не допускаются известковые включения («дутики»), вызывающие разрушение кирпича.

В зависимости от предела прочности на сжатие кирпич подразделяется на марки М75, 100, 125, 150, 200, 250, 300. Средняя плотность обыкновенного глиняного кирпича составляет $1\,600 \dots 1\,900 \text{ кг/м}^3$, его теплопроводность — $0,70 \dots 0,82 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$. Водопоглощение кирпича марок выше М150 должно быть не менее 6 %, кирпича других марок — не менее 8 %.

Это требование обеспечивает определенную пористость кирпича, иначе он станет слишком теплопроводен и будет плохо сцепляться со строительным раствором.

Морозостойкость кирпича — не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания; предусмотрены и более высокие марки по морозостойкости: F25, F35, F50.

Кирпич применяют преимущественно для кладки стен зданий, изготовления стеновых панелей, кладки печей и дымовых труб.

Эффективные стеновые керамические изделия. Наружные стены из обыкновенного глиняного кирпича имеют надлежащее термическое сопротивление при большой толщине: 2...2,5 кирпича, или 52...64 см. Стены получаются тяжелыми: масса 1 м^2 стены со-

ставляет 800...1100 кг. Такие стены нередко обладают излишней прочностью, которая не используется.

Пустотелые кирпичи и керамические камни выгоднее в производстве, по сравнению со сплошным кирпичом, и эффективнее, особенно в наружных стенах зданий (см. рис. 3.4). Производство пустотелых стеновых изделий требует меньших затрат сырья и топлива, а поскольку ускоряются сушка и обжиг тонкостенных изделий, соответственно повышается производительность сушилок и печей. Применение пустотелых керамических изделий позволяет уменьшить толщину наружных стен, снизить материалоемкость ограждающих конструкций на 20...30 %, сократить транспортные расходы и нагрузки на основание.

Экономическая эффективность применения пустотелой керамики возрастает по мере снижения ее объемной массы. Например, стоимость 1 м² стены толщиной 52 см из пустотелого кирпича на 15...25 % ниже, чем стены из сплошного кирпича толщиной 64 см.

Кирпич глиняный пустотелый изготавливают со сквозными или несквозными (пятистенный) пустотами, расположенными перпендикулярно постели. Сырьем для его получения служат легкоплавкие глины или глинотрепельные смеси с выгорающими добавками или без них.

Кирпич строительный легкий имеет те же размеры, что и обыкновенный кирпич, но значительно легче его (средняя плотность легкого кирпича — 700...1450 кг/м³). Его изготавливают из глины, диатомита и трепела с обязательным введением выгорающих добавок. Относительно малая теплопроводность этого кирпича дает возможность выполнять наружные стены толщиной 38...52 см.

Пустотелые керамические камни (см. рис. 3.4) изготавливают из легкоплавких глин с числом пластичности 15...25. Многопустотные камни формуют только на вакуумных прессах. Размеры камней больше, чем кирпича, поэтому их применение повышает производительность труда при кладке стен, а также приводит к уменьшению количества швов. Несмотря на большую пустотность (25...37 %) марки керамических камней (М75...250) почти такие же, как у сплошного кирпича, отсутствует только М300. Поэтому керамические камни применяют для каркасных и несущих стен.

Керамические изделия для облицовки фасадов. Фасадные керамические изделия применяют для облицовки фасадных поверхностей стеновых панелей, блоков, цоколей зданий, лоджий, для отделки архитектурных элементов фасада зданий (поясов, карнизов) и создания декоративных панно.

Для отделки сборных конструкций на заводах используют коврово-мозаичные плитки размером 48 × 48 и 22 × 22 мм и толщиной 2...4 мм, плитки типа «кабанчик» размером 120 × 65 × 7 мм, облицовку типа «брекчия» — ковры, набранные из плиточного боя (рис. 3.5).

Коврово-мозаичные плитки выпускают с естественно окрашенным черепком (такие изделия называют терракотовыми) и глазуро-

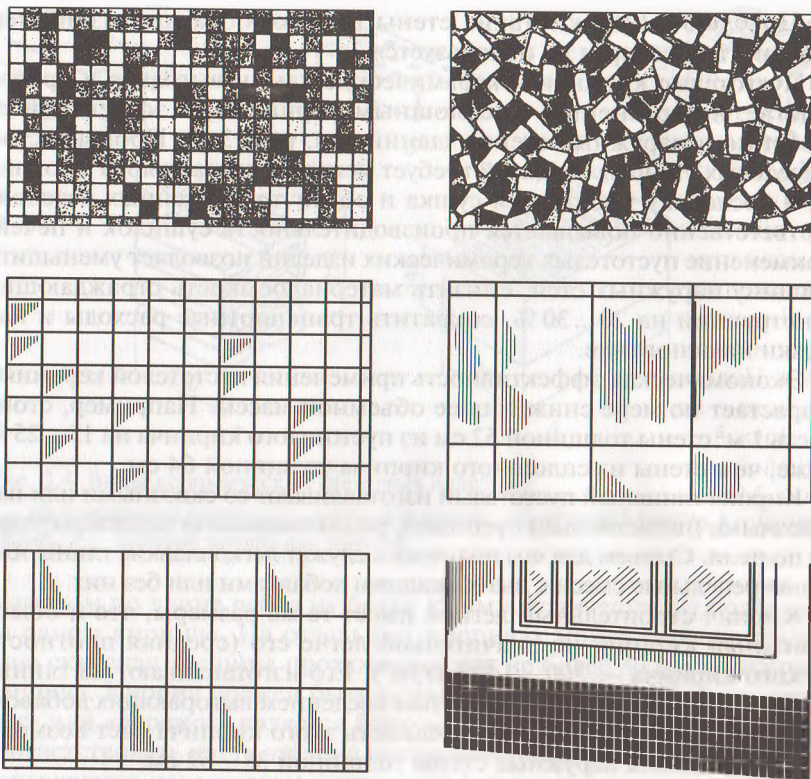


Рис. 3.5. Облицовка фасада керамической плиткой

ванные. Глазури могут быть глухими и прозрачными, белыми и окрашенными, блестящими и матовыми.

Плитки типа «кабанчик» изготавливают неглазурованными и глазурованными. Их используют для отделки панелей (наклеенными на бумажные ковры), а также для облицовки кирпичных стен.

Ковры типа «брекчия» применяют для облицовки фасадов и в виде акцентных вставок. Бой плиток в таком ковре должен составлять не более 60 % от общей его площади.

Для облицовки готовых кирпичных и бетонных стен применяют крупноразмерные и цокольные плитки.

Крупноразмерные плитки размером $250 \times 140 \times 10$ мм изготавливают неглазурованными и глазурованными. Действует полностью автоматизированная поточная линия для прессования, сушки, глазурования и обжига таких плиток.

Цокольные глазурованные плитки размером $150 \times 75 \times 7$ мм являются изделиями штучного применения, их используют для облицовки цоколей зданий и подземных переходов. Эти плитки имеют спекшийся черепок, их водопоглощение — не более 5 %.

Лицевые кирпич и керамические камни применяют для облицовки фасадов зданий, возводимых из штучных изделий (кирпича, камня).

Лицевой кирпич и камни из красножгущихся глин изготавливают по той же технологии, что и обычные стеновые кирпич и камни, соблюдая строгие требования к однородности сырья, ровности цвета обожженного изделия и правильности его формы.

Лицевой кирпич и камни светлых тонов изготавливают из светложгущихся тугоплавких глин с добавкой около 45 % шамота из тех же глин. Подбирая состав керамической массы и регулируя режим обжига, можно получить кирпич белого, кремового, коричневого цветов.

Двухслойный кирпич формуют из местных красных глин и лишь лицевой состав (3...5 мм) — из белых неокрашенных или окрашенных глин. Малый расход привозных светложгущихся глин (6...7 % объема кирпича) обуславливает экономичное производство лицевого кирпича из местного сырья.

Ангобированный кирпич имеет лицевую поверхность, покрытую ангобом. Ангоб изготавливают из белой глины (около 80 %), стеклянного боя (15...20 %) с добавкой минеральных красителей (5...7 %). Ангоб наносят на отформованные изделия в виде суспензии — шликера.

Глазурованный кирпич применяют для акцентных вставок, придающих фасаду зданий большую архитектурную выразительность. Разработан способ производства этого кирпича с однократным обжигом. По этому способу сырец после сушки поступает на глазуровочный конвейер, на нем осуществляются очистка лицевой поверхности от загрязнений, глазурирование пульверизацией под давлением и подсушка глазурного слоя. После этого кирпич поступает в туннельную печь для обжига. Керамические облицовки относятся к числу наиболее экономичных.

Плитки для внутренней облицовки стен. Для внутренней облицовки стен выпускают плитки разной формы: квадратные (150×150 мм), прямоугольные с прямыми кромками (150×100 и 150×75 мм).

Плитки, изготовленные методом литья, выпускают квадратными (50×50 мм и др.) и прямоугольными (25×100 мм и др.) толщиной 2...3 мм. Для производства плиток используют легкоплавкие или огнеупорные глины с добавкой кварцевого песка и плавней (фаянсовые плитки). При обжиге плитки получают пористыми, лицевая поверхность их покрывается глазурью. Слой глазури придает керамическим плиткам водонепроницаемость и стойкость к воздействию слабых растворов кислот и щелочей.

Выпускают плитки плоские, рельефные, орнаментированные, покрытые глазурями. Плитки могут иметь цветной рисунок, наноси-

мый методом шелкографии. Этот метод заключается в снятии копии рисунка тушью, изготовлении с нее негатива, а затем диапозитива, светокопировании диапозитивов на сетки-трафареты и перенесении рисунка на обожженные глазурованные плитки. Плитки с рисунком подсушивают и для закрепления красок обжигают в электрической печи при температуре 700...780 °С.

Глазурованные плитки применяют для облицовки стен кухонь и санитарных узлов жилых зданий, школ, детских садов, больниц и поликлиник, торговых предприятий, помещений с повышенной влажностью (бани, прачечные), а также для облицовки внутренних стен лабораторных помещений. Цветные и многоцветные глазурованные плитки используют для облицовки станций метрополитена.

Плитки для полов. Керамические плитки для полов изготавливают из тугоплавких и огнеупорных каолиновых глин с добавкой отошающих веществ, плавней и, если требуется, окрашивающих примесей. Отошителями служат тонкомолотый шамот и кварцевый песок. Производство плиток осуществляют полусухим, пластическим или шликерным способом. Обжигают плитки до спекания. Полы из керамических плиток практически водонепроницаемы, характеризуются малой истираемостью, не дают пыли, легко моются, стойки к действию кислот и щелочей.

Плитки изготавливают квадратными, прямоугольными, шестиугольными, восьмиугольными, треугольными с длиной грани 50...150 мм, толщиной 10...13 мм. Недостатком плиток является большая теплопроводность (полы холодные), ограничивающая их применение в жилых помещениях. Кроме того, устройство пола из плиток является трудоемкой работой. Трудоемкость устройства чистого пола уменьшается при применении мозаичной плитки (рис. 3.6).

Мозаичные плитки выпускают квадратной и прямоугольной формы, размером 23 и 48 мм при толщине 6...8 мм. Плитки на заводе наклеивают лицевой стороной на крафт-бумагу с раскладкой по определенному рисунку, получая «ковры» размером 398 × 598 мм. Толщина шва между плитками — 2 мм. На уложенную по основанию пола пластичную растворную смесь укладывают (плитками вниз) набранный «ковер». После затвердевания раствора бумагу размачивают водой и клей смывают.

Плитки применяют для полов в помещениях с влажным режимом и повышенной интенсивностью движения (бани, ваннные комнаты, кухни, вестибюли, коридоры, станции метрополитена, промышленные здания и т. п.). При изготовлении промышленных изделий в заводских условиях их используют для облицовки пола лестничных площадок и маршей.

Кровельные керамические изделия. Глиняная черепица является одним из старейших долговечных и огнестойких кровельных материалов. Однако черепица имеет недостатки — она неиндустриальна, трудоемка, поэтому ее производство не развивается. Выпускают

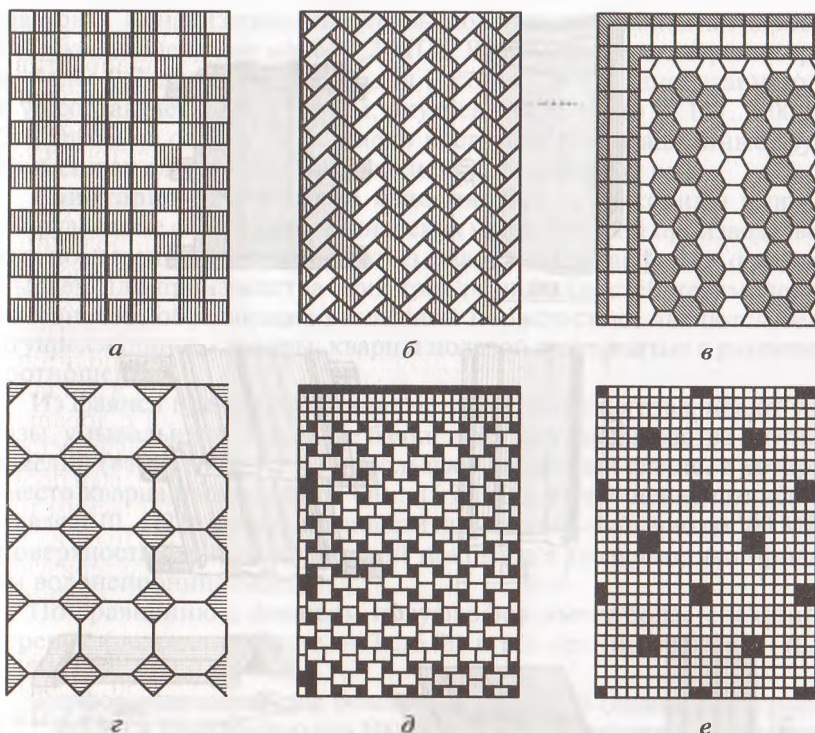


Рис. 3.6. Виды отделки пола керамической плиткой:

а — квадратной; *б* — прямоугольной; *в* — шестигранной; *г* — восьмигранной с вкладышами; *д, е* — ковровой мозаикой

черепицу пазовую ленточную, пазовую штампованную, плоскую ленточную, волнистую ленточную, S-образную ленточную и коньковую желобчатую (рис. 3.7). Обжигают черепицу при температуре 950... 1 000 °С. Черепица должна выдерживать разрушающую нагрузку 70... 1 000 Н (в зависимости от типа черепицы), иметь морозостойкость не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии.

Пустотелые керамические изделия для перекрытий включают в себя:

- 1) камни для армокерамических балок со средней плотностью не более 1 300 кг/м³;
- 2) камни для часторебристых перекрытий средней плотностью не более 1 000 кг/м³;
- 3) камни для накатов средней плотностью до 1 000 кг/м³.

Дренажные и канализационные трубы. Дренажные трубы изготавливают из кирпичных высокопластичных глин. Трубы малого диа-

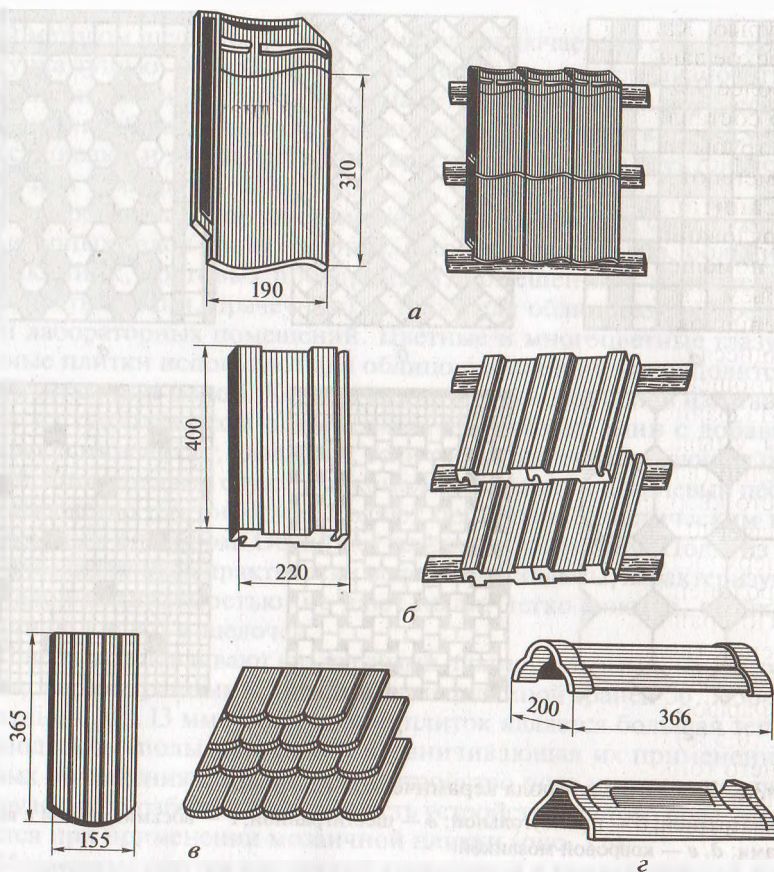


Рис. 3.7. Типы черепицы и примеры ее укладки на кровлю:

а — штампованная пазовая; *б* — ленточная пазовая; *в* — ленточная плоская; *г* — коньковая

метра формуют в горизонтальном ленточном прессе, а большого — в вертикальных прессах. После сушки трубы обжигают при температуре 950...1 000 °С.

Промышленность выпускает гладкие неглазурованные трубы без раструбов или глазурованные с раструбом и перфорацией на стенках. Водопоглощение черепка — не более 15 %, морозостойкость — не ниже 15 циклов. Применяют трубы при мелиоративных работах, а также при осушении грунтового основания под зданиями и сооружениями.

Канализационные трубы изготавливают из пластичных огнеупорных смесей, обжигают при температуре 1 250...1 300 °С до спекания. Поверхность труб снаружи и внутри покрывают кислотостойкой

глазурью. Канализационные трубы должны выдерживать гидростатическое давление не менее 0,2 МПа. Водопоглощение черепка труб: не более 9 % для I сорта; 11 % для II сорта. Длина канализационных труб составляет 800...1200 мм, внутренний диаметр — 150...600 мм. Эти трубы на одном конце имеют раструб. Канализационные трубы применяют для отвода сточных кислых и щелочных вод.

Санитарно-технические изделия. Ванны, раковины и другое оборудование санитарно-технических узлов жилых и производственных помещений изготавливают из фаянса, полуфарфора и фарфора. Сырьем для производства этих трех разновидностей керамических материалов, обладающих различной пористостью, являются беложгущиеся глины, каолины, кварц и полевой шпат, взятые в различных соотношениях.

Из фаянса преимущественно методом литья изготавливают унитазы, умывальники, смывные бачки и др. Для производства крупных изделий (ванн, моек и пр.) используют шамотный фаянс, в который вместо кварца вводят шамот (10...15 %). Водопоглощение фаянса составляет 10...12 %, предел прочности при сжатии — обычно до 100 МПа. Поверхность фаянсовых изделий покрывают глазурью, что придает им водонепроницаемость.

По сравнению с фаянсом полуфарфор имеет более спекшийся черепок (водопоглощение — 3...5 %) и его прочность выше ($R_{сж} = 150...200$ МПа).

Фарфор отличается еще большей плотностью (водопоглощение — 0,2...0,5 %) и прочностью (до 500 МПа), что позволяет изготавливать из него тонкостенные изделия.

Кислотоупорные керамические изделия. К кислотоупорным керамическим изделиям относятся:

1) кислотоупорный кирпич М50...250 кислотостойкостью не менее 92...96 %, водопоглощением не более 8...12 %, термостойкостью не менее двух теплосмен;

2) плитки кислотоупорные и термокислотоупорные М300 кислотостойкостью 96...98 %, водопоглощением не более 6...9 %, теплоустойкостью не менее двух — восьми теплосмен;

3) трубы и фасонные части к ним М300...400 кислотостойкостью не менее 97...98 %, водопоглощением не более 3...5 %.

Кислотоупорные изделия изготавливают из глин, не содержащих примесей, понижающих химическую стойкость (карбонаты, гипс, серный колчедан и т. п.) и спекающиеся при температуре около 1200 °С.

Кислотостойкость изделий характеризует их нерастворимость в кислотах и щелочах. Кислотоупорные кирпич и плитки служат для футеровки башен и резервуаров на химических заводах, а также печей для обжига серного колчедана, для устройства полов в цехах с агрессивными средами и т. д. Керамические кислотоупорные трубы применяют для перекачки неорганических и органических кислот и газов при разрежении или давлении до 0,3 МПа.

Дорожный кирпич. Дорожный (клинкерный) кирпич вырабатывают из тугоплавких глин, обжигая их до спекания. Дорожный кирпич марок М400, М600 и М1000 имеет размер $220 \times 110 \times 65$ или $220 \times 110 \times 75$ мм, водопоглощение 2...6 %, морозостойкость 30...100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Этот кирпич можно применять для мощения дорог и тротуаров, устройства полов промышленных зданий, кладки канализационных коллекторов.

Огнеупорные изделия. Огнеупорными называются изделия, применяемые для строительства промышленных печей, топок и аппаратов, работающих при высоких температурах. Огнеупорные изделия классифицируются по огнеупорности, пористости, химико-минеральному составу и способу изготовления. Изделия огнеупорные имеют огнеупорность 1580...1770 °С, высокоогнеупорные — 1770...2000 °С, высшей огнеупорности — более 2000 °С.

В зависимости от пористости огнеупорные изделия подразделяются на следующие группы: особо плотные — пористость менее 3 %; высокоплотные — 3...10 %; плотные — 10...20 %; обычные — 20...30 %; легковесные и теплоизоляционные 45...85 %.

Наибольшее распространение в строительстве и промышленности строительных материалов получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупорные изделия. Кремнеземистые огнеупоры применяются двух типов: кварцевое стекло и динасовые.

Кварцевое стекло изготавливают отливкой из расплавленного кварца, оно содержит SiO_2 не менее 99 %, обладает хорошими термостойкостью и кислотостойкостью, при 1100 °С расстекловывается и крошится. Кварцевая керамика используется для футеровки котлов большой мощности, при изготовлении штампов горячего прессования, труб для подачи расплавленного алюминия и других целей. Кварцевое стекло идет на производство химической аппаратуры.

Динасовые (тридимито-кристобалитовые) огнеупоры изготавливают обжигом (при температуре выше 870 °С) кварцевого сырья (измельченных кварцитов, песка, маршалита) на известковой или другой связке. Огнеупорность — 1600...1770 °С. Из динаса выполняется кладка сводов сталеплавильных, стекловаренных и коксовых печей.

Алюмосиликатные огнеупоры подразделяются на три группы: полукислые, шамотные и высокоглиноземистые.

Полукислые огнеупоры отличаются повышенным содержанием кремнезема (более 65 %) и содержанием глинозема менее 28 %. Изготавливают их обжигом кварцевых пород на глинистой или каолиновой связке или глин и каолинов с большим содержанием кварцевого песка. Огнеупорность их составляет 1380...1400 °С. Применяют полукислые огнеупоры для футеровки шахтных и туннельных печей, вагранок и т. д.

Шамотные огнеупоры изготавливают обжигом смеси шамота (порошка обожженной и размолотой огнеупорной глины) и огнеупорной глины или каолинов. Они содержат 30...45 % Al_2O_3 и от-

личаются термической стойкостью, шлакоустойчивостью, прочностью (М100 ... 125). Огнеупорность шамотных материалов — 1250 ... 1400 °С. Применяют их для кладки и футеровки печей в местах, где они непосредственно соприкасаются с расплавленным металлом, шлаком, стеклом, а также для футеровки вращающихся печей для обжига цементного клинкера, облицовки топок паровых котлов, дымоходов и пр.

Высокоглиноземистые огнеупоры получают из материалов (бокситов, корунда), содержащих более 45 % глинозема. Огнеупорность их зависит от содержания глинозема и технологии и составляет 1450 ... 1725 °С. Изделия, изготовленные из высокоглиноземистого сырья на глиняной или иной связке, обладают высокой термостойкостью при содержании Al_2O_3 45 ... 60 %. Применяют их в стекольной промышленности, для кладки доменных печей.

Легковесные огнеупоры имеют среднюю плотность 1,3 ... 0,4 г/см³ и общую пористость соответственно 45 ... 85 %. Они обладают высокой огнеупорностью, малой теплопроводностью и достаточной прочностью, позволяющими успешно применять их для футеровки промышленных печей разного назначения. При этом значительно (в 2—4 раза) сокращается продолжительность разогрева или холостого хода печей, в 2—3 раза уменьшается толщина ограждающих стен и на 20 ... 70 % снижаются удельные расходы топлива на термические процессы. В связи с этим производство легковесных огнеупоров непрерывно расширяется.

Для высокотемпературной теплоизоляции различных промышленных печей и тепловых агрегатов используют алюмосиликатные и другие волокна, обладающие высокой прочностью, термической стойкостью и малой теплопроводностью.

Контрольные вопросы

1. Назовите состав, структуру и свойства глин.
2. Перечислите способы производства керамических изделий.
3. В чем заключаются положительные и отрицательные показатели полусухого и пластичного способов изготовления керамических материалов?
4. Охарактеризуйте свойства керамических изделий.
5. Перечислите стеновые керамические изделия.
6. Какие керамические изделия применяют для облицовки фасадов зданий?
7. Какие керамические изделия применяют для внутренней облицовки стен?
8. Назовите керамические изделия специального назначения.

СТЕКЛО, СИТАЛЛЫ И ПЛАВЛЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

4.1. Общие сведения

Производство стекла началось еще в глубокой древности. Известно, например, что в Египте и Месопотамии делали стекло почти 6 000 лет назад. В России первый стекольный завод был построен в 1638 г. (близ г. Воскресенска). Большой вклад в технологию производства стекла внесли отечественные ученые М. В. Ломоносов, Д. И. Менделеев, К. Г. Лаксман, А. А. Лебедев и В. Е. Тищенко.

Стекла подразделяются:

- по химическому составу — на оксидные (силикатные, кварцевые, боратные, фосфатные) и бескислородные (галогенидные, нитратные);
- по назначению — на строительные и архитектурно-строительные, технические (кварцевые, оптические, закаленные, многолойные, светотехнические), стекловолокно, тарное стекло, пеностекло, стеклокриталлические материалы — ситаллы, литые каменные изделия.

Все эти разнообразные материалы объединяет то, что их получают из силикатных расплавов. Характерной особенностью силикатных расплавов является их способность при достаточно быстром охлаждении переходить в стеклообразное состояние. Признаками стеклообразного состояния вещества являются отсутствие четко выраженной точки плавления (вещество постепенно размягчается и отвердевает), гомогенность и изотропность.

4.2. Получение стекла

Для изготовления стекла основным сырьем служат кварцевый песок, известняк, сода или сульфат натрия. Варка строительного силикатного стекла производится в стекловаренных печах при температуре до 1 500 °С.

В процессе стекловарения при 800...900 °С протекает стадия силикатообразования. К концу следующей стадии стеклообразования

(1 150...1 200 °С) масса становится прозрачной, но в ней еще содержится много газовых пузырей. Дегазация заканчивается при 1 400...1 500 °С, к ее концу стекломасса освобождается от газовых включений, свилей и становится однородной. Для достижения нужной для формования рабочей вязкости температура массы снижается на 200...300 °С.

Вязкость стекломассы зависит от химического состава: окислы SiO_2 , Al_2O_3 , ZnO_2 повышают вязкость, а Na_2O , CaO , K_2O , наоборот, ее понижают.

Переход из жидкого состояния в стеклообразное является обратимым явлением.

Производство строительного стекла состоит из подготовки сырьевых материалов (дробление, помол, сушка, просеивание и др), приготовления шихты определенного химического состава, варки стекла, формования изделий и их отжига.

Формование стекла производится следующими способами: прессование, прокат, вытягивание на расплаве металла (флоат-способ). Последние два способа широко распространены в стекольной промышленности при производстве листового стекла.

При вертикальном вытягивании охлажденную стекломассу транспортируют снизу вверх с помощью валков машины (рис. 4.1). Лента выдавливается из стекломассы погруженным в нее специальным приспособлением (шамотной лодочкой). Ширина ленты стекла может достигать 4,5 м; скорость вытягивания — до 150 м/ч. Проходя между холодильниками от лодочки до первой пары валков, стекломасса охлаждается настолько, что становится твердой и валки не оставляют на ней отпечатков (1-я зона). На этом участке допустима высокая скорость охлаждения (250...350 °С в минуту). Далее стекло валками подается в шахту.

Высота ее обычно составляет около 7 м; стекло по ней проходит в среднем за 4 мин. В нижней половине шахты (2-я зона) в интервале температур от 530 до 400...450 °С происходит отжиг стекла. В верхней части шахты (3-я зона) скорость охлаждения вновь увеличивается и стекло выходит на обломочную площадку с температурой не более 150 °С. Охлажденное стекло нарезается на требуемые размеры и упаковывается в деревянные ящики.

Флоат-способ отличается максимальной производительностью и высоким качеством вырабатываемой продукции. Скорость формования ленты толщиной 5 мм достигает 500 м/ч, а толщиной 3 мм — 600...800 м/ч. Удельный объем стекломассы составляет 1,5...2,3 т/м варочной части печи в сутки.

Флоат-способом получают стекло с огненно-полированной поверхностью, не уступающее по качеству стеклу, обработанному механическим способом.

Особенность флоат-способа заключается в том, что формование происходит на поверхности расплавленного металла (олова) (рис. 4.2).

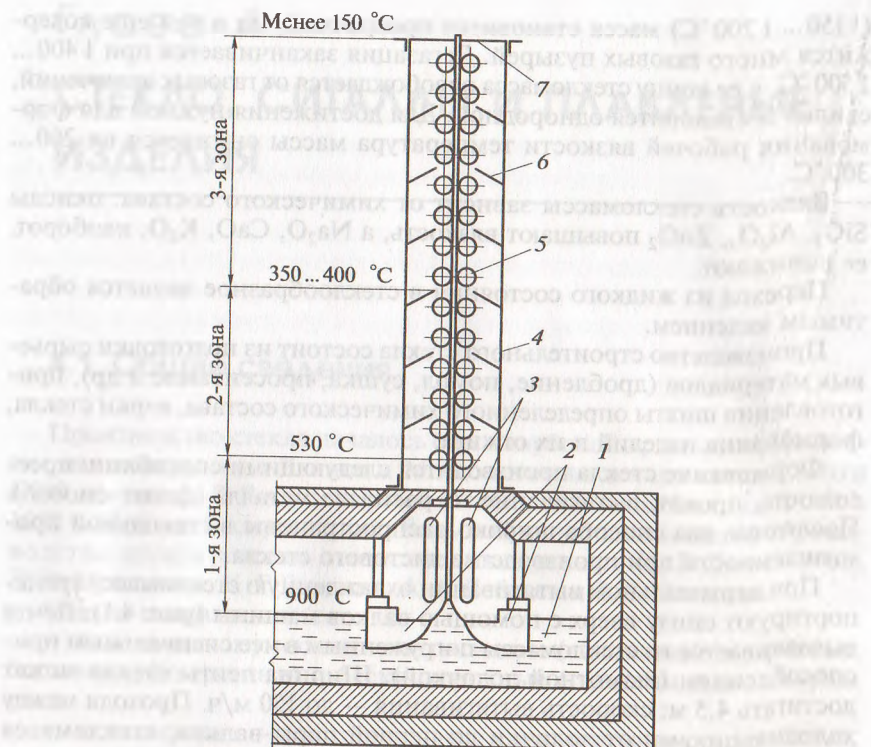


Рис. 4.1. Машина вертикального вытягивания стекла:

1 — стекломасса; 2 — лодочка; 3 — холодильники; 4 — шахта машины; 5 — валки; 6 — скаты для удаления боя; 7 — отломочная площадка

Лента стекла образуется вследствие растекания стекломассы под действием собственного веса. При этом организуются оконтуривание лужи стекла, передвижение в нужном направлении, охлаждение и передача в лер отжига.

Процессу растекания стекломассы противодействуют силы вязкости и поверхностного натяжения. Поэтому скорость процесса в зоне

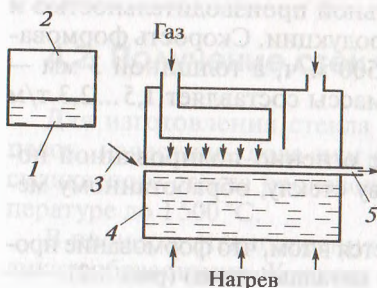


Рис. 4.2. Схема формирования листового стекла на расплаве металла:

1 — стекломасса; 2 — газовое пространство; 3 — слив; 4 — ванна с расплавом металла; 5 — лента стекла

растекания будет расти с повышением температуры и снижаться с уменьшением толщины ленты. Нижняя поверхность ленты получается ровной и гладкой за счет контакта с идеально ровной поверхностью расплавленного металла, а верхняя — под действием сил поверхностного натяжения самой стекломассы (огневая полировка).

Отжиг стекла представляет собой процесс охлаждения стеклоизделий, устраняющий остаточные напряжения в стекле. В результате снижаются полученные при формовании внутренние температурные напряжения, возникающие вследствие более высокой скорости остывания наружных слоев стекла по сравнению с внутренними. Наружные слои стремятся к сжатию, а внутренние, более нагретые, препятствуют этому.

Отделку лицевой поверхности стекла производят механическим, химическим способами и путем нанесения различных покрытий.

Механическая обработка включает в себя резку, шлифование, гравирование, пескоструйную и ультразвуковую обработку и др. При пескоструйной обработке на те места прозрачного гладкого стекла, которые должны остаться нетронутыми, наклеивают шаблон, например из плотной бумаги. Огневая полировка поверхности шероховатого стекла производится при высокой температуре.

Химическая обработка состоит из травления и матирования (обработки поверхности парами фтористого водорода, плавиковой кислотой, матирующими пастами и т. д.), химического полирования, выщелачивания (для повышения светопропускания и получения радужного эффекта), декорирования цветными протравами (диффузия) и др.

При обработке плавиковой кислотой на поверхность стекла с помощью трафарета наносят расплавленный парафин или воск. Кислота разрушает незащищенную поверхность стекла. Через определенное время кислоту смывают, а после подогрева стекла парафин или воск стирают ветошью.

Покрытия на поверхности стекол наносят в виде слоев керамических и других красок, эмалей, фактурных посыпок, силиконовых растворов, солей и оксидов металлов и др. В результате воздействия нагревом ниже температуры размягчения стекла происходит плавление поверхностного слоя с нанесенным покрытием.

4.3. Состав и свойства стекол

Строительное стекло содержит 75... 80 % SiO_2 , 10... 15 % CaO , около 15 % Na_2O .

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Более стойкими из силикатных стекол являются такие, в которых содержится мало щелочных окислов. При замене Na_2O на двух-, трех- и четырехвалентные окислы химическая стойкость стекла повышается.

Основными оптическими свойствами стекла являются: светопропускание (прозрачность), светопреломление, отражение, рассеивание и др. Обычные силикатные стекла хорошо пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

Изменяя химический состав стекла и его окраску, можно регулировать светопропускание стекла. Показатель преломления строительного стекла (1,46...1,53) определяет светопропускание при разных углах падения света. Так, при изменении угла падения света с 0 (перпендикулярно плоскости стекла) до 75° светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50 %.

Плотность обычного стекла составляет 2 500 кг/м³, наибольшую плотность имеют стекла с повышенным содержанием оксида свинца (тяжелые флнты) — до 6 000 кг/м³. Модуль упругости стекол изменяется от 48 000 до 83 000 МПа, для кварцевого стекла — 71 400 МПа. Стекло обладает высокой прочностью на сжатие (700...1 000 МПа) и малой прочностью при растяжении (35...85 МПа). Прочность закаленного стекла в 3—4 раза (иногда в 10—15 раз) больше, чем отожженного.

Твердость обычных силикатных стекол — 5...7 по шкале Мооса. Кварцевое стекло, а также боросиликатные малощелочные стекла обладают большой твердостью.

Стекло плохо сопротивляется удару, так как оно хрупкое: прочность при ударном изгибе составляет около 0,2 МПа. У закаленных образцов она в 5—7 раз выше, чем у отожженных. Присутствие в стекле борного ангидрида, оксида магния увеличивает сопротивление стекла удару.

Теплоемкость стекол определяется их химическим составом. При комнатной температуре значения теплоемкости находятся в пределах от 0,63 до 1,05 кДж/(кг·°C).

На термическое расширение стекол также влияет их химический состав. Наиболее низкий коэффициент температурного расширения у кварцевого стекла — $5,8 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, у обычных строительных стекол он составляет $(9 \cdot 10^{-6}) \dots (15 \cdot 10^{-6}) \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

Теплопроводность обычного стекла при температуре до 100 °C составляет 0,40...0,82 Вт/(м·°C). Наибольшую теплопроводность имеет кварцевое стекло — 1,34 Вт/(м·°C). Малой теплопроводностью обладают стекла, содержащие большое количество щелочных окислов. Боросиликатные стекла имеют высокую термостойкость, наиболее термостойко кварцевое стекло.

Стекло поддается механической обработке: его можно пилить циркулярными пилами с алмазной набивкой, обтачивать победитовыми резцами, резать алмазом, шлифовать, полировать. В пластичном состоянии, при температуре 800...1 000 °C, стекло поддается формованию. Его можно выдувать, вытягивать в листы, трубки, волокна, можно сваривать.

4.4. Стекланные материалы и изделия

Оконное стекло предназначено для остекления световых проемов жилых, промышленных и общественных зданий. Оно выпускается трех марок: полированное, неполированное улучшенное, неполированное (толщиной 2; 2,5; 3; 4,5; 6 мм). В зависимости от толщины размеры листов составляют от 400×500 до $1\,600 \times 2\,500$ мм. Стекло выпускают бесцветным, хотя возможен слабый зеленоватый или голубоватый оттенок, если при этом не снижается допустимая светопропускная способность стекла. Коэффициент светопрозрачности оконных стекол — 0,84...0,87.

Витринное стекло имеет высокую прочность (до 1 200 МПа) и выпускается двух марок: М-7 (полированное) и М-8 (неполированное). Листы имеют стандартные размеры (до $3\,000 \times 6\,000$ мм, толщиной 6,5...12,0 мм). Это стекло применяют для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий, а также для заполнения световых проемов ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения. Коэффициент светопрозрачности — 0,75...0,83.

Стекло листовое узорчатое имеет по всей поверхности на одной или обеих сторонах четкий рельефный узор, изготавливается способом проката. Узорчатое стекло может быть бесцветным и цветным, окрашенным в массу или посредством нанесения на его поверхность пленок оксидов различных металлов. Оно рассеивает падающий на него свет, поэтому его применяют в помещениях, где необходимо равномерное и мягкое освещение: для декоративного остекления оконных и дверных проемов, внутренних перегородок крытых веранд, мебели и т.д. Толщина — 3,5...7,0 мм; размеры в зависимости от толщины — 600×375 ... $2\,500 \times 1\,600$ мм. Коэффициент общего светопропускания бесцветного стекла, имеющего узор на одной стороне листа, — не менее 0,75; стекла, имеющего узор на обеих сторонах листа, — не менее 0,7.

Армированное листовое бесцветное и цветное стекло имеет в середине листа параллельно его поверхностям сварную или крученую сетку из стальной проволоки со светлой поверхностью. Изготавливается оно способом проката, применяется для остекления фонарей промышленных и общественных зданий, лестничных клеток, оконных и дверных проемов, устройства перегородок. Армирование увеличивает прочность стекла и не позволяет ему рассыпаться при ударах и пожаре. Армированное стекло может иметь одну или обе поверхности гладкие, рифленые или узорчатые. Коэффициент светопропускания бесцветного армированного стекла — 0,60...0,75. Размеры листов стекла: длина — от 800 до 2 000 мм; ширина — от 400 до 1 600 мм; толщина — 5,5...6,0 мм.

Теплопоглощающее стекло применяют для остекления выставочных залов и транспорта в целях уменьшения солнечно-тепловой радиации. При его изготовлении в стекломассу вводят оксиды ко-

бальта, железа или селена. Стекла выпускают обычно голубого, серого и бронзового оттенков. При остеклении необходимо предусматривать определенный зазор между рамой и стеклом, так как при изменениях температуры в стекле возникают большие температурные деформации.

Теплоотражающее стекло изготавливают нанесением на поверхность тонких (0,3 ... 1,0 мкм) пленок металлов или их оксидов, за счет чего отражается большая часть инфракрасных лучей, а само стекло нагревается незначительно. Стекла имеют голубой, золотистый, оранжевый и другие цвета, а их светопропускание составляет 30 ... 70 %.

Увioletовое стекло изготавливают из стекольной шихты с минимальным содержанием оксидов железа, титана и хрома. Оно пропускает 25 ... 75 % ультрафиолетовых лучей и используется для остекления лечебных, детских учреждений, оранжерей и т. п.

Закаленное стекло выпускают в виде стандартных листов. Оно применяется для устройства дверей, перегородок, потолков. При разрушении такое стекло распадается на мелкие осколки с тупыми, не режущими краями.

Многослойное стекло (армированное или неармированное) состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой. Наиболее распространенным является плоское стекло «триплекс», получаемое склеиванием двух листов стекла полимерной пленкой. При разрушении оно не дает осколков. Предназначено такое стекло для остекления транспорта, тракторов и других сельскохозяйственных машин.

Стекло, устойчивое к радиоактивным излучениям, выпускают с высоким содержанием свинца и бора. Например, тяжелое свинцовое стекло, содержащее 80 % оксида свинца, эквивалентно стали по защитной способности от радиоактивных излучений.

Блоки стеклянные пустотелые представляют собой закрытые полые стеклянные коробки с гладкими наружными и ребристыми внутренними поверхностями. Ребра или призмы на внутренней поверхности препятствуют прямой видимости через блок. Их применяют для устройства наружных и внутренних светопрозрачных ограждений в зданиях и сооружениях, где требуются большая освещенность и ограниченная видимость (лестничные шахты, санузел).

Ограждения из стеклоблоков обладают высокой огнестойкостью, тепло- и звукоизоляционной способностью, гигиеничны. Они имеют квадратную или прямоугольную форму, бывают неокрашенные и цветные. Коэффициент светопропускания — 0,33 ... 0,55; термостойкость (перепад температур) — 30 °C; прочность — более 1,5 МПа; сопротивление удару — более 0,8 Дж. Длина блоков — 194 ... 244 мм; ширина — 194 ... 244 мм; толщина — 75 ... 98 мм; масса 2,8 ... 4,3 кг.

Профильное стекло представляет собой длинномерные элементы, имеющие в сечении разнообразный профиль. Наибольшее применение

ние имеет стеклопрофилит швеллерного и коробчатого сечения (всего девять марок). При использовании профильного стекла в качестве стенового материала создается декоративный эффект, сокращаются стоимость строительства и расходы по текущему ремонту и уходу. Его применяют также при устройстве перегородок и прозрачных плоских кровель. Профильное стекло выпускается неармированным и армированным, бесцветным и цветным, с аэрозольным оксидно-металлическим покрытием.

Коэффициент светопропускания профильного стекла — 0,50... 0,65; теплопроводность менее 0,76 Вт/(м · К); $R_{\text{сж}} > 1 \dots 7$ кПа; термостойкость — 40 °С. Стена из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) стеклодеталей по акустическим свойствам не уступает межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича.

Стеклопакеты клееные представляют собой два (или более) листов стекла (оконного, витринного, армированного, узорчатого и др.), соединенных между собой по периметру так, что между ними образуется замкнутая прослойка, заполненная сухим воздухом или другим газом (рис. 4.3). Стеклопакеты применяют для остекления окон и дверей, они предотвращают промерзание и запотевание окон, обладают достаточной тепло- и звукоизолирующей способностью. По значению они подразделяются на обычные, светорассеивающие, упрочненные, безосколочные, солнцезащитные, звукоизоляционные и электрообогреваемые.

Стеклопакеты выпускают следующих типов: СПО — однокамерные без обрамляющей рамки; СПОР — однокамерные с обрамляющей

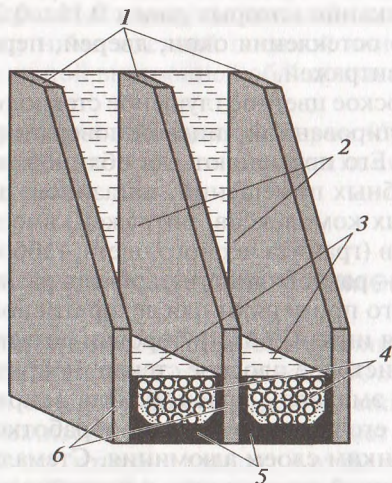


Рис. 4.3. Конструкция стеклопакета:

1 — стекло; 2 — воздушные камеры; 3 — дистанционная рамка; 4 — осушитель (молекулярное сито); 5 — полисульфидный герметик; 6 — бутиловый герметик

рамкой; СПД — двухкамерные без обрамляющей рамки. Толщина стеклопакетов — 12...42 мм, ширина и длина — от 1 000 × 1 400 до 2 950 × 2 950 мм (в зависимости от типа). Стеклопакеты должны быть герметичными. Точка росы внутри стеклопакета должна быть не выше -40 °С; для высшего сорта — не выше -50 °С. Для заполнения внутренней полости распорной рамки в стеклопакетах в качестве влагопоглотителей применяют силикагель, гранулированный цеолит.

Трубы стеклянные и фасонные части к ним предназначены для сооружения напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов, используемых для транспортирования агрессивных жидкостей и газов (за исключением плавиковой кислоты), пищевых продуктов, воды и других материалов при температуре от -50 до +120 °С. Стеклянные трубы выпускают диаметром условного прохода от 40 до 200 мм и длиной 1 500...3 000 мм. Эти трубы хорошо сопротивляются коррозии, значительно дешевле металлических, прозрачны, гигиеничны.

При монтаже трубопроводов стеклянные трубы соединяют с помощью специальных резиновых, пластмассовых или металлических муфт или склеивают специальными клеями. Их недостатками являются хрупкость и невысокая термостойкость (около 40 °С).

К светопрозрачным облицовочным материалам и изделиям из стекла относятся цветное листовое стекло, марблит, стемалит, стеклянные облицовочные плитки, эмалированные плитки, смальта, стеклокристаллит, стеклокремнезит и др.

Цветное листовое стекло изготавливают путем окраски электрохимическим способом поверхности обычного или термоупрочненного стекла. В основном выпускают листы бронзового цвета, коэффициент светопропускания которых равен 0,15...0,20. Их применяют для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, мебели, для изготовления витражей.

Марблит — плоское цветное глушеное стекло толщиной 5...25 мм в виде листов с полированной лицевой поверхностью и рифленой с тыльной стороны. Его применяют для облицовки наружных и внутренних стен лечебных помещений, магазинов, общественных зданий, мемориальных комплексов, витражей, вместо природных каменных материалов (гранита черного цвета, габбро и др.).

Стекломамор — разновидность марблита разных цветов, имитирующая мрамор. Его применяют для декоративной облицовки стен, полов, оформления интерьеров, футеровки резервуаров.

Стемалит — листовое плоское стекло, покрытое с одной стороны керамической эмалевой краской. Для закрепления краски и упрочнения стекла его подвергают термообработке. Покрытие может быть защищено тонким слоем алюминия. Стемалит применяют для наружной и внутренней отделки стен и перегородок. Он имеет высокую термостойкость, устойчивость к атмосферным воздействиям, сохраняет цвет (желтый, синий, красный, серый, черный и др.). Стемалитом облицованы в Москве гостиницы «Аэрофлота» и «Нацио-

наль»). Он выпускается 27 цветов толщиной 5,0...7,5 мм. Размеры стемалита — от 400×900 до 1500×1100 мм.

Стеклопанельная облицовочная плитка из неокрашенного или цветного глушеного стекла имеет размеры от 50×50 до 150×150 мм. Их толщина — 4...9 мм. Лицевая поверхность плиток гладкая или рельефная, тыльная сторона должна быть рифленой или шероховатой. Термостойкость — 40...45 °С.

Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них применяют для наружной и внутренней облицовки зданий, изготовления декоративно-художественных панно. Размеры плиток — $21 \times 21 \times 5$ и $46 \times 46 \times 5$ мм. Они выпускаются непрозрачными, разных цветов, с матовой или блестящей поверхностью, которая может быть гладкой или рифленой. Коврово-мозаичные плитки выпускают в виде ковров из одного (простой набор) или более (сложный набор) цветов. Плитки долговечны, гигиеничны и получили широкое применение.

Эмалированную плитку изготавливают из цветного оконного узорчатого стекла путем его резки, окрашивания с лицевой стороны непрозрачной эмалью и ее сплавления. Эти плитки применяют для внутренней облицовки. Их размеры — от 100×100 до 200×200 мм, толщина — 4...6 мм.

Смальта — мелкие (от 1 до 2 см²) кусочки цветного стекла, применяемые для создания различных мозаичных картин или панно. Смальту изготавливают литьем из стекломассы или прессованием стеклянного порошка. Смальты выпускают 200 цветов и оттенков. Мозаичные картины из смальты украшают здания и станции московского метро.

Декоративный триплекс представляет собой листы стекла с запрессованной между ними цветной пленкой или тканью. Его применяют для декоративной внутренней облицовки и устройства перегородок.

Пенодекор выпускают в виде плит размером 450×450 мм, толщиной до 40 мм. Лицевая сторона плит покрыта сплошной пленкой разнообразных цветов.

4.5. Ситаллы, шлакоситаллы и каменные изделия

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы. Степень кристаллизации стекла составляет до 90...95 %, размер кристаллических зерен ситаллов обычно менее 1 мкм. Именно тонкозернистость кристаллизованного стекла придает ему повышенные механические свойства, хотя она зависит и от фазового состава кристаллов и стеклофазы. Ситаллы можно получать как по керамической технологии (по порошковому методу), так и по технологии стекла, дополненной добавками кристаллизаторов, которые в процессе кристаллизации создают условия для распределения в массе стекла мно-

жества микроскопических центров кристаллизации. В качестве таких добавок используют металлы (Ag, Pt, Au и др.), оксиды (TiO_2 , P_2O_5 и др.), летучие катализаторы (хлор, фтор, сульфидная сера).

Средняя плотность ситаллов — $2,5 \dots 2,6 \text{ г/см}^3$; $R_{\text{сж}} \leq 600 \text{ МПа}$; $R_{\text{н}} \leq 130 \text{ МПа}$; температура размягчения — $1\,000 \dots 1\,350 \text{ }^\circ\text{C}$; твердость больше, чем у стекла, и приближается к твердости закаленной стали. Ситаллы обладают высокой стойкостью к кислотам и щелочам. Цвет ситаллов: серый, коричневый, кремовый, белый (глухой и прозрачный) и др. Их применяют в электронике, машиностроении, строительстве, быту, ракетостроении и др. В строительстве из ситалловых плит устраивают полы промышленных цехов, где имеются агрессивные среды, возможен разлив расплава металлов, большие нагрузки от движущегося тяжелого оборудования, а также для футеровки мельниц, лотков сыпучих материалов, в теплообменниках, для изготовления химической аппаратуры.

Ситаллопласты изготавливают на основе фторопластов и ситаллов. Они имеют высокую химическую стойкость и износостойкость по сравнению с ситаллами и фторопластами.

Стеклокристаллит — плиты размером 300×300 и $300 \times 150 \text{ мм}$, применяемые для облицовки стен и устройства полов. Их изготавливают сплавлением гранул из бесцветного или окрашенного стекла.

Стеклокремнезит выпускается в виде облицовочных плит. Его изготавливают спеканием массы из стеклянных гранул с наполнителем (песком, шамотом и др.).

Стеклоянное волокно получают из стекломассы разными способами: фильерным, дутьевым, центробежным, штабиковым. Сущность фильерного способа заключается в том, что из расплава стекла через отверстия (фильеры) в платиновой пластине вытягивают тонкие прочные нити, которые, охлаждаясь, затвердевают и наматываются на вращающийся барабан. При этом способе получают длинные нити, которые применяют для выработки стеклотканей, стеклопластиков и гидроизоляционных изделий.

При дутьевом и центробежном способах получают стекловолокно диаметром $5 \dots 15 \text{ мкм}$ небольшой длины ($5 \dots 50 \text{ см}$). Такое стекловолокно называется стекловатой. Оно отличается от минеральной ваты большей химической стойкостью; коэффициент теплопроводности у них примерно одинаков. Средняя плотность стекловаты в рыхлом состоянии — 130 кг/м^3 ; температуростойкость зависит от химического состава стекла. Из стекловаты изготавливают теплоизоляционные изделия: маты, полосы, плиты, скорлупы.

Пеностекло выпускают в виде блоков и гранул. Сырьем служит размолотое стекло, смешанное с газообразователем (известняком, древесным углем и другими материалами, выделяющими газ при размягчении стекла). При нагревании этой смеси происходит вспучивание размягченного стекла выделяющимися газами. Пеностекло хорошо подвергается механической обработке: пилится, гвоздится и

склеивается. Его теплопроводность — $0,04 \dots 0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $R_{\text{сж}}$ — $0,1 \dots 0,15 \text{ МПа}$; средняя плотность — $100 \dots 700 \text{ кг/м}^3$. Применяют его для тепло- и звукоизоляции в строительных конструкциях, холодильниках, промышленном оборудовании.

Шлакоситаллы получают путем катализационной кристаллизации стекла на основе шлаков. Они состоят из $60 \dots 70 \%$ кристаллической фазы и $30 \dots 40 \%$ стекловидной фазы. Степень кристаллизации регулируют введением катализаторов кристаллизации: TiO_2 , CaF_2 , P_2O_5 и режимом термообработки. Стекловидная фаза заполняет пространство между кристаллами и цементирует их между собой.

Производство шлакоситаллов состоит из трех этапов:

- 1) варка стекла из шихт, содержащих катализаторы кристаллизации;
- 2) формование изделий;
- 3) термическая обработка отформованных изделий в печах-кристаллизаторах для получения мелкокристаллической структуры.

Шлакоситаллы имеют высокую механическую прочность ($R_{\text{сж}} \leq 650 \text{ МПа}$), высокую плотность — до 2700 кг/м^3 , термическую стойкость до 750°C . Они химически стойки и износостойки. Шлакоситаллы применяют в качестве конструкционного материала для защиты оборудования от агрессивных и абразивных воздействий, для устройства полов, фасонных изделий (лотки, карнизы, подоконники, плинтусы и др.), труб, кухонных раковин, облицовки стен в гражданском и промышленном строительстве.

Все более широкое развитие получает производство пеношлакоситаллов со средней плотностью $300 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ и прочностью до 14 МПа , теплопроводностью $0,08 \dots 0,16 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$ и рабочей температурой до 750°C .

Каменные изделия литые (брусчатка для дорог, плиты, трубы, желоба и др.) получают путем расплавления предварительно подготовленной шихты из горных пород и соответствующих добавок к ним, отливки расплава в формы, кристаллизации изделий, их отжига и охлаждения. Сырьем для производства темноокрашенных изделий служат диабазы и базальты, а для светлоокрашенных изделий — доломит, мел, известняк, мрамор, кварцевый песок, отходы при разработке горных пород.

Масса плавится при температуре $1400 \dots 1500^\circ\text{C}$. Для понижения температуры плавления в шихту вводят флюсы (плавиковый шпат — 3%); для ускорения процессов кристаллизации и охлаждения расплава — тугоплавкие материалы (магнезит, хром и хромитовую руду), действующие как центры кристаллизации; для отбеливания расплава — оксид цинка в количестве $0,8 \%$. Перед загрузкой в печь сырьевые материалы измельчают, просеивают и дозируют в нужном соотношении.

Каменные изделия плавленные отличаются большой плотностью — $2900 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$. Они отличаются большой морозо- и химической

стойкостью. Их прочность при сжатии составляет 200...240 МПа; при растяжении — 20...30 МПа. Истираемость составляет 0,07 г/см².

Контрольные вопросы

1. Какое сырье применяют для производства стекла?
2. В чем заключается особенность флюат-способа?
3. Назовите состав и свойства стекла.
4. Какие существуют материалы и изделия из стекла?
5. Каковы особенности строения и свойств стеклопакетов?
6. Что такое ситаллы?
7. Какое сырье используют для производства шлакоситаллов?
8. В чем особенности свойств плавленных изделий?
9. Перечислите способы получения стеклянных волокон.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

5.1. Воздушные вяжущие вещества

Минеральными вяжущими веществами называются порошкообразные вещества, которые при затворении водой дают пластичное тесто, способное в результате физико-химических процессов с течением времени затвердевать, т.е. переходить в камневидное состояние.

Минеральные вяжущие подразделяются на воздушные, которые обладают способностью твердеть и длительно сохранять прочность только на воздухе, и гидравлические, которые твердеют и длительно сохраняют прочность не только на воздухе, но и в воде.

5.1.1. Воздушная известь

Воздушная известь — одно из вяжущих веществ, применявшихся для приготовления строительных растворов и бетонов еще за несколько тысяч лет до нашей эры. Воздушная известь является продуктом умеренного обжига кальциево-магниевых горных пород (мела, известняков, доломитизированных известняков и доломитов), содержащих не более 6 % глины.

Технологический процесс получения воздушной извести состоит из добычи известняка в карьерах, подготовки его к обжигу (дробление и сортировка) и обжига, который производят преимущественно в шахтных печах. На рис. 5.1 показана пересыпная шахтная печь непрерывного действия. Печь имеет шахту круглого сечения, стены которой выложены из красного кирпича и внутри футерованы огнеупорным кирпичом (шамотом).

Известняк и топливо загружаются сверху через специальное загрузочное устройство. Воздух для горения подается под давлением с помощью вентилятора в нижнюю часть печи, называемую зоной охлаждения. В этой зоне обожженная известь охлаждается воздухом, который, нагреваясь, поступает в среднюю часть печи — зону обжига, где происходит горение топлива. Максимальная температура в зоне обжига составляет 1 000 ... 1 200 °С.

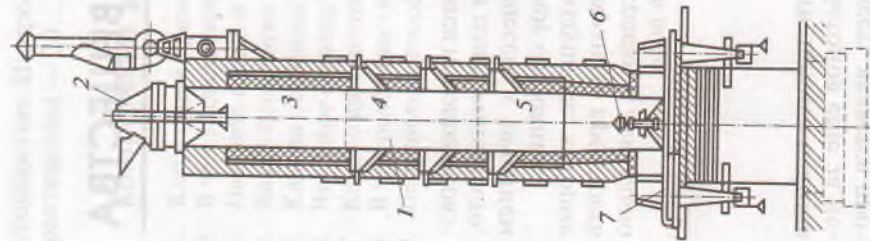


Рис. 5.1. Шахтная печь;

1 — шахта печи; 2 — загрузочный механизм; 3 — зона подогрева; 4 — зона обжига; 5 — зона охлаждения; 6 — гребень; 7 — разгрузочный механизм

Горячие дымовые газы, отсасываемые дымо-сосом, проходят верхнюю часть печи — зону подогрева, где отдают теплоту известняку и топливу, испаряя из них влагу и подогревая их. Здесь происходит термическая диссоциация CaCO_3 по уравнению



Обоженную известь выгружают в нижней части печи. Известь (CaO) представляет собой комья, которые необходимо подвергнуть гашению или помолу.

Гашение воздушной извести. При действии воды на комовую известь происходит гидратация оксида кальция по реакции



Этот процесс называется гашением извести и сопровождается выделением значительного количества теплоты — 15,5 ккал на 1 г-моль CaO . Различают гашение извести в пушонку и тесто. При гашении извести ограниченным количеством воды образуется сухой рыхлый порошок, состоящий преимущественно из гидрата оксида кальция и называемый гидратной известью, или пушонкой. Его объем в 2—3,5 раза превышает исходный объем комовой извести. Количество воды для гашения извести в пушонку берется примерно в 2 раза больше, чем это следует из приведенной ранее реакции, так как при гашении выделяется значительное количество теплоты и часть воды испаряется.

Известь с высоким содержанием CaO , получаемая обжигом чистых известняков, называется жирной, а известь с меньшим содержанием CaO , получаемая обжигом известняков, содержащих глинистые и другие примеси, — тошей. Жирная известь требует большего количества воды для гашения. На скорость гашения извести влияет температура: с ее повышением ускоряется процесс гашения. Особенно быстро гашение происходит под воздействием пара при повышенном давлении.

Гашение извести в гидратную известь производят в специальных машинах — гидрататорах, в которых выделяющаяся теплота и водяные

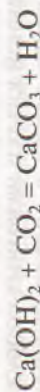
пары используются для превращения комовой извести в тончайший порошок с насыпной плотностью 400 ... 450 кг/м³.

На строительстве комовую известь чаще гасят в тесто. На крупных строительных, а также на специализированных растворных заводах комовую известь в тесто гасят в высокопроизводительных известегасильных машинах.

Известь молотая негашеная. Для изготовления штукатурных растворов и искусственных безобжиговых камней применяют воздушную известь в тонкоизмельченном состоянии без предварительного гашения. Этот способ обеспечивает полное гашение извести в процессе приготовления растворов. При приготовлении известковых растворов одной и той же удобоукладываемости растворы на молотой негашеной извести требуют меньше воды, чем на пушонке или известковом тесте, что обеспечивает их быстрое схватывание и твердение, а также большие плотность и прочность.

Применение молотой негашеной извести целесообразно как по экономическим соображениям (совершенно нет отходов при гашении извести), так и в связи с улучшением физико-механических свойств известковых растворов. Молотая негашеная известь быстро теряет свои вяжущие свойства вследствие гидратации за счет поглощения из воздуха паров воды, поэтому ее не следует долго хранить.

Твердение известковых растворов. Известь применяется на строительстве только в виде растворов, т. е. в смеси с песком или другими заполнителями, так как вследствие большой усадки известковое тесто при высыхании растрескивается. В известковом тесте содержится значительное количество воды, поэтому кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ разделены водными пленками. Высыхание известковых растворов вызывает постепенное сближение кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и их последующее срастание в кристаллический сросток. Процесс твердения продолжается длительное время. Кроме того, на поверхности раствора с распространением на небольшую глубину происходит процесс карбонизации по реакции



Образующийся при этом CaCO_3 срастается с кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что также упрочняет известковый раствор. Однако в сухой среде известь практически не карбонизируется, так как эта реакция происходит только в ионной форме.

При обычной температуре диоксид калия взаимодействует с гидроксидом кремния песка очень медленно, влага для этого процесса также необходима. При этом образуются гидросиликаты кальция. Этот процесс можно ускорить путем тепловлажностной обработки в автоклавах.

Виды и свойства воздушной извести. По содержанию оксида магния воздушная известь подразделяется на маломagneзную, или кальциевую (MgO не более 5 %); магнезиальную (MgO от 5 до

20 %); высокомагнезиальную, или доломитовую (MgO от 20 до 40 %).

Важнейшими показателями качества воздушной извести являются:

- активность — процентное содержание активных, т.е. способных к гашению, окислов $\text{CaO} + \text{MgO}$;
- содержание непогасившихся зерен, представляющих собой недожог (неразложившийся CaCO_3) и пережог (остеклованный трудногасящийся оксид кальция CaO);
- время гашения, в зависимости от которого различают известь быстрогасящуюся — время гашения не более 8 мин; среднегасящуюся — время гашения не более 25 мин; медленногасящуюся — время гашения не менее 25 мин.

Чем меньше глинистых примесей в исходной горной породе, чем выше качество обжига, выше активность извести, быстрее проходит ее гашение и больше выход известкового теста (отношение объема полученного известкового теста к исходному объему негашеной извести).

В зависимости от суммарного содержания оксида кальция и магния известь подразделяется на три сорта в зависимости от содержания оксидов и непогасившихся зерен:

- 1-й сорт с содержанием оксидов не менее 90 % и непогасившихся зерен не более 7 %;
- 2-й сорт — соответственно не менее 80 % и не более 11 %;
- 3-й сорт — соответственно не менее 70 % и не более 14 %.

Строительные растворы на воздушной извести вследствие высокой пористости характеризуются низкой прочностью. Например, образцы из растворной смеси (известковое тесто + песок) жесткой консистенции через 28 сут твердения имеют предел прочности при сжатии 0,5 ... 1,0 МПа; образцы, приготовленные на молотой негашеной извести, имеют более высокую прочность — 5 МПа.

Воздушную известь применяют при изготовлении строительных растворов для каменной кладки наземных сооружений и для штукатурки. Известь входит также в состав смешанных (цементно-известковых) растворов для кладки фундаментов и стен многоэтажных зданий.

Известь используют при изготовлении силикатного кирпича и других силикатных изделий при автоклавном твердении, а также в качестве связующего вещества для известковых красок.

При транспортировании навалом известь следует перевозить в закрытых, специально оборудованных вагонах или автомобилях. Транспортирование воздушной извести водным транспортом разрешается только в таре или контейнерах; в качестве тары применяют бумажные битуминизированные мешки или стальные барабаны. При транспортировании и хранении известь следует предохранять от увлажнения и загрязнения.

5.1.2. Магнезиальные вяжущие вещества

Сырьем для получения магнезиальных вяжущих веществ является горная порода магнезит, состоящая преимущественно из углекислой соли магния в кристаллическом или аморфном состоянии.

В результате обжига при температуре 700...800 °С происходит диссоциация кабоната магния и получается порошок — каустический магнезит:



Каустический магнезит затворяют растворами хлористого или сернокислого магния, иногда для затворения применяют хлористый цинк, сернокислое железо и т. п.

При использовании сырья в виде доломита, представляющего собой двойную углекислую соль магния и кальция, изготавливают каустический доломит.

Магнезиальные вяжущие отличаются высокой плотностью — 2,8...3,4 г/см³; их средняя насыпная плотность — 0,8...1,1 г/см³. Они относятся к быстротвердеющим вяжущим — прочность магнезиальных вяжущих в растворе может достигать 80...100 МПа.

Магнезиальные вяжущие в строительстве применяют для устройства теплых бесшовных (ксилолитовы) полов, основным заполнителем которых служат древесные опилки, а также для изготовления фибролита, теплоизоляционных материалов и т. п.

5.1.3. Жидкое стекло

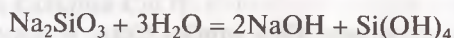
Жидкое стекло (растворимое стекло, растворимый силикат) — это воздушное вяжущее вещество. Оно имеет вид вязкой жидкости темно-желтого или коричневого цвета, представляющей собой коллоидный раствор кремневой кислоты в едкой натриевой или калиевой щелочи.

Жидкое стекло варят в стеклоплавильных печах как обычное стекло. Выпускаемый из печи расплав застывает. Получаемые твердые и прозрачные куски или глыбы (силикат-глыба) растворяют в воде чаще всего при повышенной температуре и давлении 0,6...0,7 МПа. Образуется вязкая жидкость — это и есть тот технический продукт, которым обычно пользуются на строительстве.

Основной составляющей частью жидкого стекла являются щелочные силикаты. Состав жидкого стекла выражается формулой $R_2O \cdot n\text{SiO}_2$, где R — это Na или K. Значение n называют модулем жидкого стекла. Чем меньше модуль, тем легче растворяется в воде силикат-глыба. Обычно на строительство натриевого жидкого стекла поступает с модулем от 2,5 до 3,0, а калиевое — с модулем от 3 до 4. Это жидкости, которые содержат 50...70 % воды и имеют плотность 1,3...1,5.

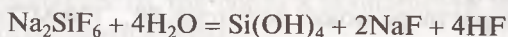
Чаще всего применяют натриевое жидкое стекло (уплотнение грунтов, приготовление жароупорных и огнеупорных бетонов, изготовление кислотостойких бетонов). Калиевое жидкое стекло стоит дороже, чем натриевое, и применяется преимущественно для изготовления силикатных красок.

Само по себе жидкое стекло твердеет медленно, его твердение надо ускорять. Силикаты натрия или калия, являющиеся основной частью жидкого стекла, в воде подвергаются гидролизу, например:

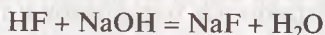


Поэтому водный раствор жидкого стекла частично гидролизован и дает щелочную реакцию. Выделяющийся при гидролизе гель кремневой кислоты в виде дигидрата кремнезема $\text{Si}(\text{OH})_4$ обладает вяжущими свойствами.

Чтобы жидкое стекло проявляло хорошие вяжущие свойства, надо ускорить его гидролиз. Для этого к жидкому стеклу добавляют вещества, ускоряющие выпадение геля кремневой кислоты. Таким веществом чаще всего служит кремнефтористый натрий, также гидролизующийся в воде:



Образующаяся фтористоводородная кислота реагирует с едким натром:



Фтористый натрий в воде плохо растворим, поэтому процесс расщепления жидкого стекла и выделения геля кремневой кислоты ускоряется.

Добавками кремнефтористого натрия обычно пользуются для ускорения твердения жидкого стекла, применяемого в качестве вяжущего вещества при изготовлении кислотостойких бетонов и растворов.

5.1.4. Кислотоупорный цемент

Кислотоупорным кварцевым кремнефтористым цементом называется порошкообразный материал, изготавливаемый путем совместного помола или тщательного смешивания отдельно измельченных кварцевого песка и кремнефтористого натрия. Название «цемент» для таких порошков имеет условный характер, так как они не обладают самостоятельными вяжущими свойствами. Их надо затворять водным раствором силиката натрия, т.е. жидкого стекла (последнее и является вяжущим веществом).

Кварцевый песок в кислотоупорном цементе может быть заменен порошком андезита или бештаунита. Кислотоупорный цемент ис-

пользуют для изготовления кислотостойких замазок, растворов и бетонов. При этом применяют мелкий и крупный заполнитель из кислотостойких пород (гранит, андезит, бештаунит).

5.1.5. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества получают путем обжига природной гипсовой породы, состоящей в основном из минерала гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). При температуре обжига $140 \dots 170^\circ\text{C}$ получают β -модификацию полугидрата сульфата кальция, а при обработке в автоклаве при температуре $105 \dots 110^\circ\text{C}$ получают высокопрочный гипс α -модификации. Реже гипсовые вяжущие вещества получают из другой осадочной породы — ангидрита (CaSO_4). В этом случае обжиг осуществляют при температуре $600 \dots 800^\circ\text{C}$ и получают ангидритовое вяжущее вещество.

Получение гипсовых вяжущих. Гипсовые вяжущие получают с применением варочных котлов, вращающихся печей и установок совмещенного помола и обжига. Наиболее распространено производство строительного гипса с применением варочных котлов. Гипсовый камень доставляют обычно с карьеров в кусках размером от 300 до 500 мм, дробят в щековых и молотковых дробилках, а затем размалывают с одновременной сушкой при температуре $100 \dots 500^\circ\text{C}$ в шахтных мельницах. Тонкомолотый гипс поступает для тепловой обработки в гипсоварочный котел (рис. 5.2). Широко распространено производство гипса в варочных котлах периодического действия большой емкости ($12 \dots 15 \text{ м}^3$). Гипсоварочный котел представляет собой цилиндр с вогнутым внутрь сферическим днищем, изготовленный из жароупорной стали и обмурованный кирпичной кладкой. Под котлом расположена топка, сводом которой служит днище котла. Внутри котла расположено перемешивающее устройство — вертикальный вал с прикрепленными к нему верхней и нижней мешалками. Продолжительность дегидратации гипсового камня в гипсоварочных котлах зависит от емкости котла, тонкости измельчения сырья и т.д. В среднем она колеблется от 50 мин до 2,5 ч. В первый период температура материала поднимается примерно до 120°C , а затем, несмотря на поступление теплоты, температура материала длительное время остается постоянной. Это соответствует периоду выделения из гипса кристаллизационной воды и превращения ее в пар — наблюдается бурное кипение материала, что требует значительных затрат теплоты.

Постепенное повышение температуры в конце варки свидетельствует о том, что в массе порошка становится все меньше частиц двуводного гипса и теплота начинает расходоваться не только на дегидратацию, но и на нагрев материала. Превышение температуры 120°C недопустимо, так как в этом случае начинают изменяться

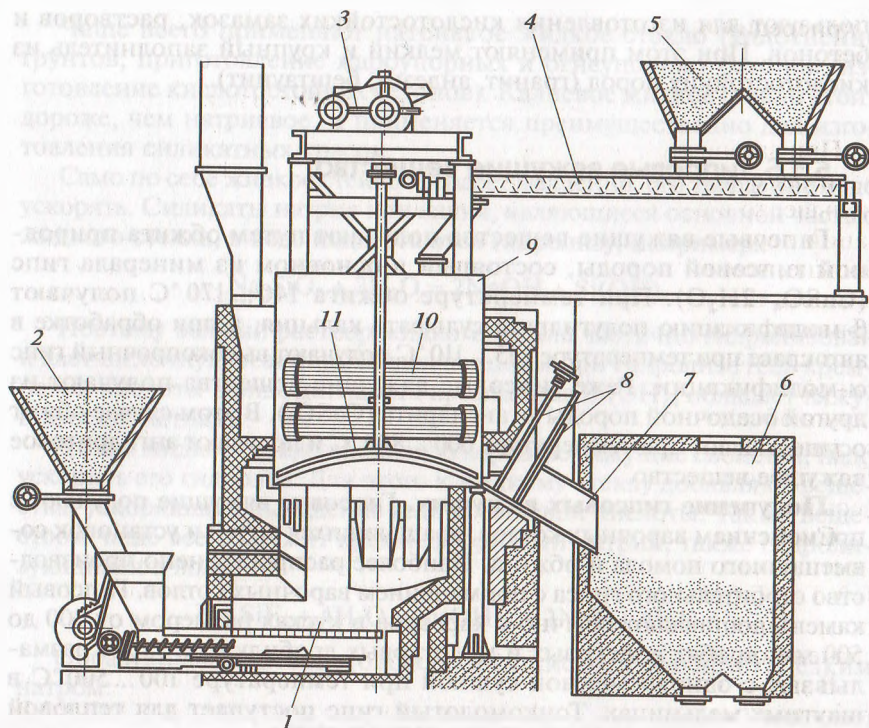


Рис. 5.2. Гипсоварочный котел емкостью 12 м³:

1 — топка с механической загрузкой топлива; 2 — бункер топлива; 3 — привод мешалки; 4 — загрузочный шнек; 5 — бункер для порошка гипсового камня; 6 — бункер для обожженного гипса; 7 — разгрузочная печка котла; 8 — шиберы; 9 — котел; 10 — жаровые трубы котла; 11 — мешалка

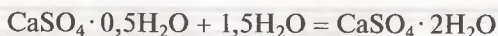
свойства гипсового вяжущего за счет развития процесса дегидратации, а это может привести ко второму кипению.

По окончании варки материал выгружают в бункер выдерживания для постепенного охлаждения и выравнивания состава, где он находится 20...30 мин. Выравнивание состава продукта снижает его водопотребность и обеспечивает более высокие прочностные свойства. Тепловая обработка в котлах происходит при атмосферном давлении, вода удаляется в виде пара и сильно разрыхляет структуру, поэтому продукт состоит в основном из тонкодисперсной β -модификации полуводного гипса.

Из гипсоварочного котла материал выходит достаточно дисперсным, однако для улучшения его качества иногда используют его домол в шаровых мельницах.

Твердение гипсовых вяжущих. Основная реакция, происходящая при твердении строительного и высокопрочного гипса, заключается

в присоединении воды и образовании двуводного силиката кальция:



При затворении полугидрата водой происходит растворение его, начиная с поверхности. Так как растворимость двуводного гипса меньше, то в растворе (жидкой фазе) возникают центры кристаллизации двуводного гипса. Скорость возникновения зародышей тем больше, чем выше степень пересыщения жидкой фазы, т.е. растворимость полугидрата. Затем происходит рост кристаллов, который приводит к образованию кристаллизационного сростка, образованного срастанием отдельных кристаллов. Прочность кристаллизационной структуры определяется ее плотностью, т.е. степенью заполнения объема твердеющего гипсового камня кристаллами двуводного гипса, и прочностью контактов срастания кристаллов. Процесс этот продолжается до тех пор, пока существует жидкая фаза и пока весь полугидрат не перейдет в двуводный гипс.

Свойства гипсовых вяжущих. В зависимости от предела прочности на сжатие различают следующие марки гипсовых вяжущих: Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. Минимальный предел прочности каждой марки вяжущего должен соответствовать значениям, приведенным в табл. 5.1.

В зависимости от сроков схватывания и степени помола гипсовые вяжущие подразделяются на виды, приведенные соответственно в табл. 5.2 и 5.3.

Многокомпонентные гипсовые вяжущие. Отрицательным свойством гипсовых вяжущих является их низкая водостойкость. Профессором А. В. Волженским были предложены гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, которые получают, смешивая (% по массе) полуводный гипс (50 ... 75 %), портландцемент (15 ... 25 %) и активную минеральную (пуццолановую) добавку (10 ... 25 %), например трепел, диатомит.

Введение активной минеральной добавки понижает концентрацию гидроксида кальция путем связывания свободной извести твердеющего цемента, образуя гидросиликаты кальция. Это способствует образованию низкосульфатного гидросульфоалюминатного кальция без заметного увеличения объема, уплотняющего и упрочняющего структуру гипсового камня и обеспечивающего стабильность затвердевшего вяжущего. На гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ) можно получать бетоны марок М150 ... М200.

Профессором В. Ф. Коровяковым разработано композиционное гипсовое вяжущее, в которое наряду с гипсом включены небольшие добавки портландцемента, активного минерального компонента, суперпластификатора, микрокремнезема и некоторые другие добавки, подвергнутые механохимической активации. Это вяжущее в 1,2 — 1,5 раза прочнее ГЦПВ и еще более водостойко.

Таблица 5.1. Минимальный предел прочности каждой марки гипсового вяжущего

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размером 40 × 40 × 160-мм в возрасте 2 ч, МПа (кгс/см ²), не менее	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2,0 (20)	1,2 (12)
Г-3	3,0 (30)	1,8 (18)
Г-4	4,0 (40)	2,0 (20)
Г-5	5,0 (50)	2,5 (25)
Г-6	6,0 (60)	3,0 (30)
Г-7	7,0 (70)	3,5 (35)
Г-10	10,0 (100)	4,5 (45)
Г-13	13,0 (130)	5,5 (55)
Г-16	16,0 (160)	6,0 (60)
Г-19	19,0 (190)	6,5 (65)
Г-22	22,0 (220)	7,0 (70)
Г-25	25,0 (250)	8,0 (80)

Гипсовые вяжущие применяют при производстве штукатурки, перегородочных стеновых плит и панелей, вентиляционных блоков, работающих при относительной влажности воздуха менее 65 %. Гипсовые изделия обладают невысокой плотностью, негорючестью и

Таблица 5.2. Виды гипсовых вяжущих в зависимости от сроков схватывания

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	Не нормируется

Таблица 5.3. Виды гипсовых вяжущих в зависимости от тонкости помола

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм, %, не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

рядом других ценных свойств. Большие объемы гипса используются для изготовления штукатурных и кладочных растворов. Особенно перспективно использование сухой гипсовой штукатурки. ГЦПВ вследствие его повышенной водостойкости применяют для изготовления санитарно-технических кабин, ванных комнат, вентиляционных каналов.

Фирма КНАУФ выпускает гипсокартонные листы, состоящие из двух слоев специальной строительной бумаги и сердечника, выполненного из твердого гипсового теста с наполнителями. Именно эти компоненты обуславливают особую плотность, высокую износостойчивость и прочность гипсокартона. Гипсокартонные листы используются для облицовки стен, межкомнатных перегородок и создания многоуровневых подвесных потолков. Ангидритовое вяжущее используют для изготовления бесшовных полов, в качестве подстилающего слоя под линолеум, а также для получения легких бетонов, искусственного мрамора, для проведения декоративно-отделочных работ. Высокообжиговый гипс применяют для настила тепло- и звукоизолирующих полов, изготовления подстилающего слоя под линолеум, а также для кладочных и штукатурных растворов и для искусственного мрамора.

5.2. Гидравлические вяжущие

5.2.1. Портландцемент

Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество, в составе которого преобладают силикаты кальция (70...80 %). Портландцемент — основное вяжущее в современном строительстве — является продуктом тонкого измельчения клинкера с добавкой гипса (3...5 %).

Сырьевая смесь для производства портландцемента состоит из известняка (75 %) и глины (25 %). В качестве сырья можно использо-

вать мел, мергель, глинистые сланцы и отходы различных производств (доменные шлаки, нефелиновый шлак и т. п.). Для обеспечения нужного химического состава сырьевой смеси применяют корректирующие добавки: железосодержащие (Fe_2O_3 не менее 40 %), пиритные (колчеданные) огарки; колошниковую пыль; железную руду и отходы ее обогащения; глиноземистые добавки (содержание Al_2O_3 не менее 30 %); каолин; бокситы; богатые глиноземом глины; кремнеземистые добавки (содержащие SiO_2 не менее 70 %); кварцевые пески; опоку; трепел.

Для производства портландцемента используют также побочные продукты промышленности. Например, доменные шлаки, содержащие необходимые для получения клинкера оксиды (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3).

Нефелиновый шлак, образующийся при производстве глинозема, содержит 25...30 % SiO_2 и 50...55 % CaO , поэтому для получения сырьевой смеси необходимого состава к нему добавляют 10...20 % известняка. Использование нефелинового шлака повышает производительность печей примерно на 20 % и снижает расход топлива на 20...25 %. В качестве топлива используют природный газ, мазут и уголь. Наиболее эффективным видом топлива является природный газ.

Производство портландцемента — сложный технологический и энергоемкий процесс, включающий в себя:

- а) добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов, известняка и глины;
- б) приготовление сырьевой смеси;
- в) обжиг сырьевой смеси для получения клинкера;
- г) помол клинкера с добавкой гипса;
- д) магазинирование готового продукта.

Приготовление сырьевой смеси состоит в тонком измельчении и смешении взятых в установленном соотношении компонентов, что обеспечивает полноту прохождения химических реакций между ними и однородность клинкера. В зависимости от методов приготовления сырьевой смеси различают комбинированный, сухой и мокрый способы производства цемента.

Комбинированный способ предусматривает обезвоживание приготовленного шлама до поступления в печь на специальных установках. Такой способ позволяет снизить расход топлива на 20...30 % по сравнению с мокрым, но при этом возрастает расход электроэнергии.

Сухой способ заключается в измельчении и тесном смешении сухих (или предварительно высушенных) сырьевых материалов. Такая смесь получается в виде тонкодисперсного порошка, называемого сырьевой мукой, которую затем направляют в силосы, где происходит корректировка состава. В силосах создается также запас сырья, необходимый для бесперебойной работы печей. Такой способ выгоден

при использовании однородных по составу известняка и глины с невысокой карьерной влажностью (10...15 %).

Мокрый способ применяют, когда используются мягкие породы мела и глины. Тонкое измельчение и смешение исходных материалов осуществляют в водной среде, поэтому сырьевая смесь получается в виде жидкотекучей массы-шлама с большим содержанием воды (35...45 %). В этом случае используется способность мягких горных пород (глины и мела) легко распадаться в воде на мелкие частицы. Глину перерабатывают в водную суспензию в глиноболтушках. Известняк после дробления направляется на совместный помол вместе с глиняным шламом в шаровую мельницу через весовые дозаторы. Совместное измельчение известняка, глины и корректирующих добавок обеспечивает получение однородной сырьевой смеси. Помол сырья производят до остатка на сите № 008 не более 8...10 %. Таким образом, более 90 % частиц смеси имеет размер менее 80 мкм.

Из мельниц глиняно-известняковый шлам перекачивают насосами в вертикальные и горизонтальные резервуары (шлам-бассейны), в которых производится окончательная корректировка и усреднение состава шлама.

Вращающаяся печь (рис. 5.3), в которой осуществляется обжиг сырьевой смеси, представляет собой сварной стальной барабан длиной 95/185/230 м, диаметром 5...7 м, футерованный изнутри огнеупорными материалами. Барабан уложен на роликах под углом 3...4° к горизонту и медленно вращается вокруг своей оси (1...2 об./мин). Благодаря этому сырьевая смесь, загруженная в верхнюю часть печи, постепенно перемещается к нижнему концу, куда дуют топливо, продукты горения которого направляются навстречу сырьевой смеси и обжигают ее.

Характер процессов, протекающих при обжиге сырьевой смеси, приготовленной сухим и мокрым способами, по существу одинаков и определяется температурой нагревания материала в печи. Длина печи зависит от способа производства. Так, печи, работающие по сухому способу, имеют длину 95 м. При этом производительность такой печи диаметром 7 м составляет 3 000 т/сут. На предприятиях, работающих по мокрому способу, применяют печи размером 7 × 230 м, производительностью 3 000 т/сут.

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Сырье (в виде порошка (сухой способ) или шлама (мокрый способ)) подается в печь со стороны ее верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца дувается топливо, сгорающее в виде 20...30-метрового факела. Сырье, занимая лишь часть поперечного сечения печи, при ее вращении медленно движется навстречу горячим газам к нижнему концу, проходя различные температурные зоны.

В зоне испарения, начиная с поступления смеси в печь, происходит высушивание сырьевой смеси при постепенном повышении температуры с 70 до 200 °С (в конце этой зоны), поэтому первую зону

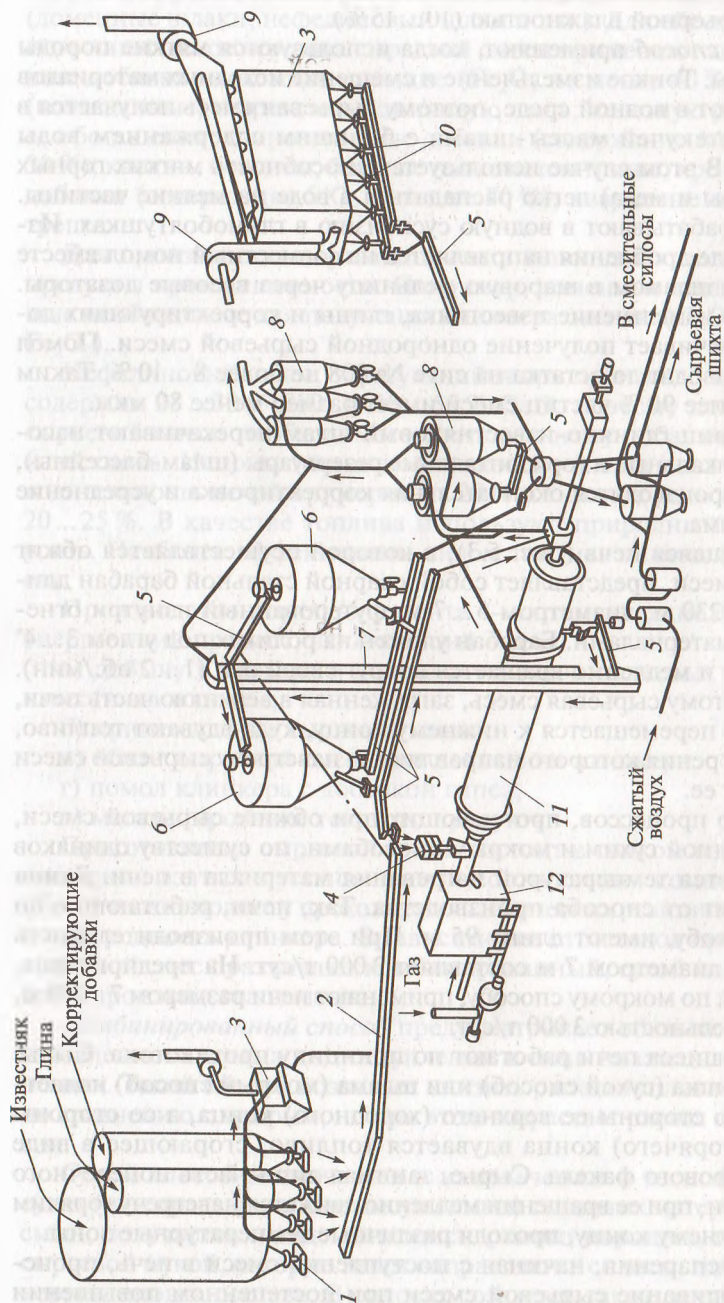


Рис. 5.3. Технологическая схема сушки и помола материалов (сухой способ) в мельницах с сепараторами:

1 — дозаторы; 2 — ленточный конвейер; 3 — рукавные фильтры; 4 — шлюзовой затвор; 5 — аэрожелоб; 6 — сепараторы; 7 — элеваторы; 8 — циклоны; 9 — вентиляторы; 10 — шнеки; 11 — мельница; 12 — топка

называют еще зоной сушки. Подсушенный материал комкуется, а при вращении печи комья распадаются на более мелкие гранулы.

В зоне подогрева при постепенном повышении температуры от 200 до 700 °С сгорают находящиеся в сырьевой смеси органические примеси, удаляется кристаллохимическая вода (при 450...500 °С) и образуется безводный каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Зоны испарения и нагрева при мокром способе занимают 50...60 % длины печи (считая от холодного конца); при сухом способе подготовка сырья сокращается за счет зоны испарения.

В зоне декарбонизации (ее протяженность — 20...23 % длины печи) температура обжигаемого материала поднимается с 700 до 1100 °С. Здесь завершается процесс диссоциации карбонатных солей кальция и магния и появляется значительное количество свободного оксида кальция. Термическая диссоциация CaCO_3 на $\text{CaO} + \text{CO}_2$ — это эндотермический процесс, протекающий с большим поглощением теплоты (1780 кДж на 1 кг CaCO_3). В этой же зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , которые вступают в химическое взаимодействие с CaO . В результате этих реакций, происходящих в твердом состоянии, образуются минералы $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и частично $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$.

В зоне экзотермических реакций (1100...1250 °С) проходят твердофазовые реакции образования $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ и белита C_2S . Эти экзотермические реакции на коротком участке печи (5...7 % ее длины) сопровождаются выделением большого количества теплоты и повышением температуры материала на 150...200 °С.

В зоне спекания (1300...1450...1300 °С) температура обжигаемого материала достигает наивысшего значения (1450 °С), необходимого для частичного плавления материала и образования главного минерала клинкера — алита. В начальный период спекания, начиная с 1300 °С, образуется расплав в количестве 20...30 % объема обжигаемой массы из относительно легкоплавких материалов $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, а также MgO и легкоплавких примесей. При повышении температуры до 1450 °С на зернах клинкера появляется жидкая фаза, в которой растворяются $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и CaO . В этом расплаве происходит насыщение двухкальциевого силиката оксидом кальция с образованием алита $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Алит плохо растворяется в расплаве и вследствие этого выделяется из него в виде мелких кристаллов, что приводит к дальнейшему растворению в расплаве $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и CaO .

Процесс образования алита заканчивается за 15...20 мин пребывания материала в зоне спекания (ее протяженность — 10...15 % длины печи). Поскольку при вращении печи частично расплавленный материал непрерывно перекачивается, мелкие частички слипаются в гранулы. Понижение температуры с 1450 до 1300 °С вызывает кристаллизацию из расплава C_3A , C_4AF и MgO (в виде периклаза), которая заканчивается в зоне охлаждения, следующей за спеканием.

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

Цементный клинкер при выходе из вращающейся печи в виде камнеподобных зерен — гранул темно-серого или зеленовато-серого цвета — интенсивно охлаждается с 1000 до 100...200 °С в колосниковых, рекуператорных и других холодильниках воздухом, идущим навстречу клинкеру. После этого клинкер выдерживают на складе в течение одной-двух недель.

После выдержки на складе клинкер превращают в цемент путем помола его с природным двуводным гипсом в тонкий порошок в шаровых или трубных мельницах. На рис. 5.4 представлена вращающаяся печь.

Основными минералами клинкера являются алит, белит, трехкальцевый алюминат и алюмоферрит кальция.

Алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (или C_3S) — минерал, определяющий быстроту твердения, прочность и другие свойства портландцемента; он содержится в клинкере в количестве 45...60 %. Алит представляет собой твердый раствор трехкальцевого силиката и небольшого количества (2...4 %) MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 и других примесей, которые могут существенно влиять на его структуру и свойства.

Белит $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (или C_2S) — второй по содержанию (20...30 %) силикатный минерал клинкера. Он медленно твердеет, но достигает высокой прочности в дальнейшем.

Содержание минералов-силикатов в клинкере портландцемента в сумме составляет около 75 %, поэтому гидратация алита и белита в основном определяет технические свойства портландцемента. Остальные 25 % составляет промежуточное вещество, заполняющее объем между кристаллами алита и белита. Промежуточное вещество состоит из кристаллов трехкальцевого алюмината (C_3A) и алюмоферрита кальция (C_4AF).

Трехкальцевый алюминат в клинкере содержится в количестве 4...12 % и при благоприятных условиях обжига получается в виде кубических кристаллов размером до 10...15 мкм; образует твердые растворы сложного состава. Он очень быстро гидратируется и твердеет, но имеет небольшую прочность; является причиной сульфатной коррозии бетона, поэтому в сульфатостойком портландцементе его содержание ограничено 5 %.

Четырехкальцевый алюмоферрит в клинкере содержится в количестве 10...20 %. Алюмоферритная фаза промежуточного вещества клинкера представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция разного состава. По скорости гидратации минерал занимает промежуточное положение между алитом и белитом, поэтому он не оказывает определяющего влияния на скорость твердения и тепловыделение портландцемента.

Твердение портландцемента. Процесс твердения вяжущих состоит в их растворении, коллоидации и кристаллизации. Сразу после

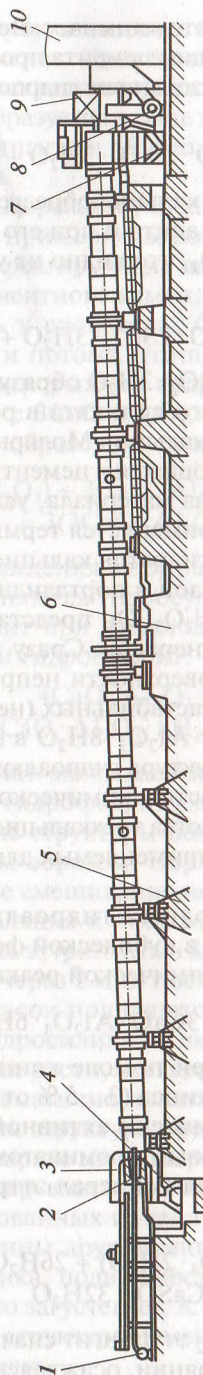


Рис. 5.4. Вращающаяся печь размером 3,5 × 150 м:

1 — лутевой вентилятор; 2 — форсунка; 3 — рекуператоры для охлаждения клинкера; 4 — транспортеры для клинкера; 5 — опора; 6 — привоз; 7 — холодильная камера; 8 — дымоход; 9 — питатель шлама; 10 — дымовая труба

затворения цемента водой начинаются химические реакции. Уже в начальной стадии процесса гидратации цемента происходит быстрое взаимодействие алита с водой с образованием гидросиликата кальция и гидроксида:



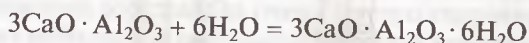
После затворения гидрат оксида кальция образуется из алита, так как белит гидратируется медленнее алита и при его взаимодействии с водой выделяется меньше $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что видно из уравнения химической реакции



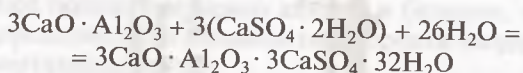
Гидросиликат кальция $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ образуется при полной гидратации чистого трехкальциевого силиката в равновесии с насыщенным раствором гидрооксида кальция. Молярное соотношение CaO/SiO_2 в гидросиликатах, образующихся в цементном тесте, может изменяться в зависимости от состава материала, условий твердения и других обстоятельств. Поэтому применяется термин CSH для всех полукристаллических и аморфных гидратов кальциевых силикатов.

Основной алюмосодержащей фазой в портландцементе является трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Он представляет самую активную фазу среди клинкерных минералов. Сразу после соприкосновения $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ с водой на поверхности непрореагировавших частиц образуется рыхлый слой метастабильных (неустойчивых) гидратов $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 19\text{H}_2\text{O}$ и $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в виде тонких гексагональных пластинок. Рыхлая структура гидроалюминатов ухудшает морозостойкость, а также стойкость к химической коррозии. Это одна из причин ограничения количества трехкальциевого алюмината в специальных портландцементов, применяемых для морозостойких бетонов.

Стабильная форма — шестиводный гидроалюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, кристаллизующийся в кубической форме, образуется в результате быстро протекающей химической реакции:



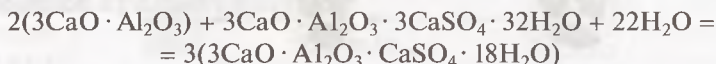
Для замедления схватывания при помоле клинкера добавляют небольшое количество природного гипса (3...5 % от массы цемента). Сульфат кальция играет роль химически активной составляющей цемента, реагирующей с трехкальциевым алюминатом и связывающей его в гидросульфоалюминат кальция (минерал эттрингит) в начале гидратации портландцемента:



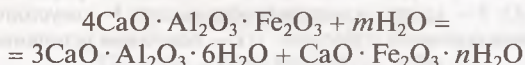
В насыщенном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ эттрингит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности

частиц $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, замедляет их гидратацию и оттягивает начало схватывания цемента. Кристаллизация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе, и эттрингит уже образуется в виде длинных иглоподобных кристаллов. Кристаллы эттрингита и обуславливают раннюю прочность затвердевшего цемента.

Эттрингит, содержащий 31...32 молекулы кристаллизационной воды, занимает примерно вдвое больший объем по сравнению с суммой объемов реагирующих веществ (C_3A и сульфат кальция). Заполняя поры цементного камня, эттрингит повышает его механическую прочность и стойкость. Структура затвердевшего цемента улучшается еще и потому, что предотвращается образование в нем слабых мест в виде рыхлых гидроалюминатов кальция. Эттрингит взаимодействует с $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, оставшимся после израсходования добавки гипса, с образованием моносulfата кальция:



В результате введения в портландцемент sulfата гидроалюмината кальция заменяются гидросульфoалюминатом. Четырехкальциевый алюмоферрит при взаимодействии с водой расщепляется на гидроалюминат и гидроферрит:



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

Формирование структуры цементного теста и прочности происходит следующим образом. Первыми элементами структуры, образующимися после смешивания цемента с водой, являются эттрингит, гидрат оксида кальция и иглы геля CSH , растущие из частиц клинкера. Присутствие эттрингита в виде коротких гексагональных призм обнаружено уже через 2 мин после затворения цемента водой, а спустя несколько часов появляются зародыши кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Частицы геля гидросиликата, имеющие первоначально игольчатую форму, продолжая расти, ветвятся, становятся древовидными.

На рис. 5.5 схематично показано развитие структуры цементного камня. Первичная структура представляет собой малопрочный пространственный каркас из дисперсных частиц продуктов гидратации, связанных ван-дер-ваальсовыми силами; переплетение гидратных оболочек, образованных на частицах адсорбированной водой, тоже удерживает частицы друг около друга. Хотя прочность первичной структуры невелика, подвижность твердых частиц все же снижается и цементное тесто загустевает. К концу периода схватывания формируется основная структура цементного теста, которое превращается в цементный камень.

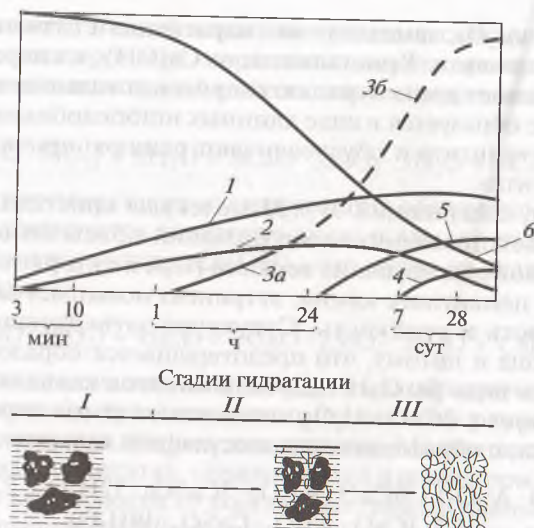


Рис. 5.5. Процесс гидратации цемента и развитие структуры цементного теста во времени:

1 — Ca(OH)_2 ; 2 — эттрингит; 3а — гидросиликаты кальция, длинные волокна; 3б — гидросиликаты кальция, короткие волокна; 4 — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$; 5 — кривая изменения объема пор; 6 — кривая изменения объема; I — неустойчивая структура; II — формирование основной структуры; III — получение устойчивой структуры

Структура цементного камня в значительной степени определяется механизмом его гидратации. В результате взаимодействия цемента с водой образуются внутренние продукты гидратации в пространстве, первоначально занятом цементными зернами, и внешние продукты гидратации, заполняющие пространство, первоначально занятое водой.

Количество внутреннего гидросиликата кальция намного больше, чем внешнего CSH. Внутренний гидросиликат получается в результате топомхимической гидратации алита и белита, т.е. путем непосредственного присоединения воды к твердой фазе. Внутренний гидросиликат имеет тонкую и плотную структуру. Внешние продукты гидратации образуются через растворение вне зерен цемента и состоят из небольшого количества внешнего гидросиликата, крупных кристаллов Ca(OH)_2 и эттрингита.

Частицы геля гидросиликата (кристаллиты) представляют собой субмикрористаллические тонкие пластинки («фольгу») из двух-трех структурных слоев.

Цементный камень включает в себя:

1) продукты гидратации цемента: а) гель гидросиликата кальция и другие новообразования, обладающие свойствами коллоидов; б) относительно крупные кристаллы Ca(OH)_2 , эттрингита;

2) непрореагировавшие зерна клинкера, содержание которых уменьшается по мере гидратации цемента;

3) поры: а) поры геля, относящиеся к микропорам (менее 10^{-4} мкм); б) капиллярные поры, являющиеся макропорами (до 10 мкм), расположенные между агрегатами частиц геля; в) воздушные поры и пустоты (от 50 мкм до 2 мм), заполненные воздухом: вовлеченным в цементное тесто вследствие вакуума, вызванного контракцией; вовлеченным в тесто при изготовлении или укладке, а также при добавлении специальных воздухововлекающих добавок.

Качество новообразований в цементном камне определяется их составом и дисперсностью. Количество новообразований прямо пропорционально степени гидратации цемента α , численно равной отношению прореагировавшей с водой части цемента к общей массе цемента. Степень гидратации может определяться количественным рентгеновским методом или по содержанию связанной воды ω , не испаряемой при высушивании:

$$\alpha = \omega / \omega_{\max}.$$

Установлено, что для цементного камня $\alpha_{\max} = 2V/C$.

Общая пористость цементного камня P_o складывается из пор геля P_r , капиллярных пор P_k и воздушных пор P_v , которые рассчитываются по следующим формулам:

$$P_r = 0,29\alpha C / (C/\rho_c + V);$$

$$P_k = (V - 0,5\alpha C) / (C/\rho_c + V);$$

$$P_o = (V - 0,21\alpha C) / ((C/\rho_c + V) + P_v),$$

где ρ_c — плотность цемента.

Реакции гидратации цементных минералов являются экзотермическими, и взаимодействие цемента с водой сопровождается выделением теплоты. Тепловыделение при твердении цементов имеет большое практическое значение. По интенсивности тепловыделения время начального твердения цементного теста можно подразделить на четыре периода. К *первому периоду* взаимодействия цемента с водой можно отнести первый промежуток в 30...40 мин, когда наблюдается сильное выделение теплоты в тесте (особенно в первые 5...8 мин) с последующим его уменьшением до малых значений.

Второй период замедленной гидратации принято называть скрытым, или индукционным, периодом гидратации цемента при малом тепловыделении. Наличие индукционного периода с малым тепловыделением объясняется образованием на клинкерных частичках гелевых оболочек из гидратных соединений, которые почти прекращают доступ воды к непрореагировавшим внутренним зонам зерен вяжущего. Но наличие насыщенного раствора $Ca(OH)_2$ и других соединений в образовавшемся геле и у непрореагировавшей поверхности цементных частичек создает условия для диффузионного при-

тока воды из межзернового пространства с пониженной концентрацией раствора.

Вследствие этого в гелевых оболочках постепенно нарастает осмотическое давление, приводящее при определенных значениях к их разрыву. При этом возникает возможность прямого доступа воды к обнажившимся свежим поверхностям и ее реакции с цементом. Это свидетельствует о наступлении третьего периода.

Третий период характеризует конец периода формирования структуры. Это необратимый переход от пластично-вязкой структуры бетонной смеси к затвердевшему бетону.

Продолжительность периода формирования структуры зависит от вида вяжущего, содержания гипса и химических добавок. Жесткие и малоподвижные бетонные смеси, изготавливаемые с небольшим водоцементным отношением, после уплотнения имеют короткий период формирования структуры. Применение быстротвердеющих цементов и добавок — ускорителей схватывания — также ускоряет формирование структуры. Это имеет важное значение для технологии, в частности при формировании изделий с немедленным снятием бортовой опалубки, при бетонировании конструкций в скользящей опалубке, для быстрой стабилизации ячеистой структуры газо- и пенобетона.

При необходимости период формирования структуры можно продлить путем введения в бетонную смесь при ее изготовлении замедлителей схватывания. Они помогают сохранить удобоукладываемость бетонных смесей в случае перевозки на дальние расстояния и в жаркую погоду. Наряду с химическими добавками широко используют температурный фактор.

Третий период характеризуется началом кристаллизации гидроксида кальция из раствора. Этот процесс происходит очень интенсивно с увеличением тепловыделения, достигающим максимума через 6...10 ч.

Четвертый период наступает после максимального значения тепловыделения и его снижения до температуры окружающей среды. Образовавшаяся к концу периода формирования структура в дальнейшем уплотняется за счет образования новых гидратных фаз. Объем пор и их размеры уменьшаются, возрастает количество контактов между новообразованиями, утолщаются и уплотняются гелевые оболочки на зернах цемента, срастающихся в сплошной цементный камень с включением непрореагировавших центров зерен цемента.

Строительно-технические свойства портландцемента. Тонкость помола цемента оценивается путем просеивания предварительно высушенной пробы цемента через сито с сеткой № 008. Тонкость помола должна быть такой, чтобы через указанное сито проходило не менее 85 % массы просеиваемой пробы; при этом его удельная поверхность составляет обычно 2 500...3 000 см²/г.

Плотность портландцемента (без минеральных добавок) составляет $3,05 \dots 3,15 \text{ г/см}^3$. Средняя насыпная плотность рыхлого цемента составляет 1100 кг/м^3 , у сильно уплотненного — до 1600 кг/м^3 , в среднем — 1300 кг/м^3 .

Стандартная консистенция цемента определяется количеством воды (в процентах от массы цемента), необходимой для получения цементного теста нормальной густоты. Нормальной густотой цементного теста считают такую его подвижность, при которой цилиндр — пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на $5 \dots 7 \text{ мм}$ до пластинки, на которой установлено кольцо.

Стандартная консистенция портландцемента может находиться в пределах от 22 до 28 %. При введении активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) водопотребность цемента повышается и может достигнуть $32 \dots 37 \%$.

На рис. 5.6 приведен график зависимости средней плотности цементного теста от водоцементного отношения. С увеличением количества воды затворения цементное тесто становится подвижнее. Однако до значения $V/C_{\min}$ цементное тесто имеет жесткую консистенцию. Начиная со значения $V/C_{\min}$ тесто приобретает вязкопластичные свойства и может уже самостоятельно формоваться. Состояние $V/C_{\min}$ соответствует составу, когда воды достаточно для смачивания частиц и заполнения пустот между зернами цемента. Значение $V/C_{\min}$ определяется через нормальную густоту: $V/C_{\min} = 0,876 K_{н.г.}$, где $K_{н.г.}$ — коэффициент, равный отношению V/C цементного теста нормальной густоты.

С увеличением воды затворения устанавливают и максимальное отношение V/C ($V/C_{\max}$), характеризующее водоудерживающую способность цемента, которая определяется выражением $V/C_{\max} = 1,65 K_{н.г.}$.

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяют в тесте нормальной густоты. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты. *Началом схватывания* считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на $1 \dots 2 \text{ мм}$. *Концом схватывания* считают время от начала

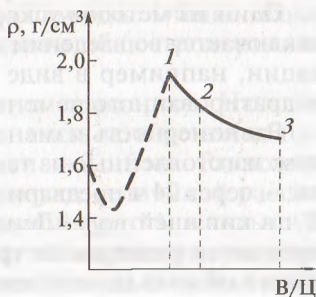


Рис. 5.6. График зависимости средней плотности цементного теста от водоцементного отношения (V/C):

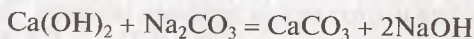
1 — $V/C_{\min}$; 2 — $V/C = \text{НГ}$; 3 — $V/C_{\max}$

затворения до того момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1 мм. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее, чем через 45 мин, а конец схватывания — не позднее, чем через 10 ч от начала затворения.

Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера на цементном заводе вводят добавку двуводного гипса в количестве 3...5 %. Замедление схватывания объясняется отложением на зернах цемента тонких пленок гидросульфоалюмината кальция, образовавшегося при взаимодействии введенного сульфата кальция с трехкальциевым алюминатом. Эти пленки замедляют диффузию воды к цементным зернам, и скорость их гидратации уменьшается.

Замедлителями схватывания служат также фосфаты, нитраты калия, натрия и аммония, сахар. Сахар образует с гидроксидом кальция легко растворимый сахарат кальция, наличие которого увеличивает концентрацию ионов кальция. Поэтому процесс гидролиза трехкальцевого силиката подавляется, а схватывание происходит медленнее. При большой добавке сахара бетон не твердеет.

Ускорителями схватывания портландцемента являются карбонаты щелочных металлов и хлориды. Они образуют при взаимодействии с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе трехкальцевого силиката, труднорастворимые соединения. Так действует, например, карбонат натрия:



В результате химической реакции образуется малорастворимый карбонат кальция, гидроксид кальция выводится из сферы реакции и процесс гидролиза трехкальцевого силиката ускоряется.

Влияние хлористого кальция на сроки схватывания портландцемента зависит от дозировки. При введении в бетонную смесь в обычной дозировке 1...2 % от массы цемента хлористый кальций мало влияет на сроки схватывания, но существенно повышает начальную прочность бетона, т.е. действует как ускоритель твердения. При использовании в качестве противоморозной добавки хлористый кальций может вводиться в больших количествах. Тогда он ускоряет схватывание и бетонную смесь рекомендуется затворять на холоде, чтобы избежать преждевременного загустевания.

Один из методов ускорения процессов схватывания и твердения заключается во введении добавок, являющихся центрами кристаллизации, например в виде заранее приготовленного измельченного гидратированного цемента.

Равномерность изменения объема определяют следующим образом: изготовленные из теста нормальной густоты образцы — лепешки — через 24 ч предварительного твердения выдерживают в течение 3 ч в кипящей воде. Лепешки не должны деформироваться, не допускаются радиальные трещины. Причиной неравномерного изменения объема цементного камня являются местные деформации,

вызываемые расширением свободной CaO и периклаза MgO вследствие их гидратации.

Активность и марку цемента определяют испытанием стандартных образцов-призм размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементно-песчаной растворной смеси состава 1 : 3 (по массе). Для испытаний применяется стандартный монофракционный песок. Раствор готовят с количеством воды, обеспечивающим распыл стандартного конуса на встряхивающем столике, равном диаметру 106...115 мм. Уплотнение растворной смеси производят на стандартной виброплощадке.

Через 28 сут твердения (первые сутки образцы твердеют в формах во влажном воздухе, а затем 27 сут — в воде комнатной температуры) образцы-призмы сначала испытывают на изгиб, затем получившиеся половинки призм — на сжатие.

Активностью называется предел прочности при осевом сжатии половинок балочек, испытанных в возрасте 28 сут. В зависимости от активности с учетом предела прочности при изгибе портландцементы подразделяются на марки: М400, М500, М550 и М600. У быстротвердеющих портландцементов нормируется не только 28-суточная прочность, но и начальная, трехсуточная.

Особенности определения стандартных характеристик цемента по межгосударственному стандарту. В разных странах применяют существенно различающиеся методы определения основных физико-механических свойств цементов: прочности, водопотребности, сроков схватывания, равномерности изменения объема, которые дают различные результаты при испытаниях одних и тех же цементов. В настоящее время Европейским комитетом по стандартизации приняты европейские стандарты серии EN 196, регламентирующие единые для стран ЕС методы испытаний физико-механических свойств цементов в пластичных растворах с использованием полифракционного песка и специального оборудования. В странах СНГ вся нормативная база строительства основана на характеристиках цемента, получаемых при испытании образцов, изготовленных из более жестких растворов с использованием монофракционного песка.

В настоящее время в нашей стране кроме ГОСТ 310.1 — 1984... ГОСТ 310.4 — 1984 принят межгосударственный стандарт ГОСТ 30744 — 2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка», ГОСТ 30515 — 97 «Цементы. Общие технические условия», ГОСТ 31108 — 2003 «Цементы общестроительные. Технические условия».

Далее приведены основные отличия этих стандартов. Началом схватывания считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 3...5 мм. Равномерность изменения объема цемента характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце Ле Шателье при кипячении. Активность цементов определяют на стандартных образцах размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементно-

песчаной растворной смеси состава 1 : 3 (по массе) с использованием стандартного полифракционного песка с фиксированным значением отношения В/Ц, равным 0,5. Уплотнение растворной смеси производят на встряхивающем столе.

В соответствии с ГОСТ 31108—2003 по прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяются на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий). Требования к физико-химическим свойствам цементов приведены в табл. 5.4.

Далее приведены примеры условных обозначений цементов.

1. Портландцемент класса 42,5 быстротвердеющий: «Портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108—2003».

2. Портландцемент со шлаком (Ш) от 21 до 35 %, класса по прочности 32,5, нормальнотвердеющий: «Портландцемент ЦЕМ II/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108—2003».

3. Портландцемент с известняком (И) от 6 до 20 %, класса по прочности 32,5, нормальнотвердеющий: «Портландцемент ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108—2003».

4. Композиционный портландцемент с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы-уноса (З) и известняка (И) от 6 до 20 %, класса по прочности 32,5, быстротвердеющий: «Композиционный портландцемент ЦЕМ II/А-К(Ш-З-И) 32,5Б ГОСТ 31108—2003».

Таблица 5.4. Требования к физико-химическим свойствам цементов

Класс прочно-сти цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватывания, не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут			
			не менее	не более		
22,5Н	—	11	22,5	42,5	75	10
32,5Н	—	16	32,5	52,5		
32,5Б	10	—				
42,5Н	10	—	42,5	62,5	60	
42,5Б	20	—				
52,5Н	20	—	52,5	—	45	
52,5Б	30	—				

5. Шлакопортландцемент с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65 %, класса по прочности 32,5, нормально-твердеющий: «Шлакопортландцемент ЦЕМ III/A 32,5Н ГОСТ 31108 — 2003».

6. Пуццолановый цемент с суммарным содержанием пуццоланы (П), золы-уноса (З) и микрокремнезема (МК) от 21 до 35 %, класса по прочности 32,5, нормально-твердеющий: «Пуццолановый цемент ЦЕМ IV/A (П-З-МК) 32,5Н ГОСТ 31108 — 2003».

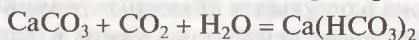
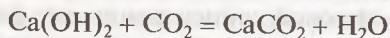
7. Композиционный цемент с содержанием доменного гранулированного шлака (Ш) от 11 до 30 % и золы-уноса (З) от 11 до 30 %, класса по прочности 32,5, нормально-твердеющий: «ЦЕМ V/A (Ш-З) 32,5Н ГОСТ 31108 — 2003».

Коррозия портландцемента. Коррозия портландцементного камня происходит под действием агрессивной среды, создаваемой различными жидкостями и газами. Различают три основных вида коррозии.

К *первому виду коррозии* относятся процессы, возникающие при действии пресных (мягких) вод. В мягких водах соли кальция и магния присутствуют в незначительном количестве, поэтому мягкие воды способны растворять $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Содержание гидроксидов кальция в цементном камне через 3 мес твердения составляют 10... 15 %. После его вымывания начинается разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Выщелачивание гидроксида кальция в количестве 15... 30 % общего содержания в цементном камне вызывает понижение его прочности на 40... 50 %.

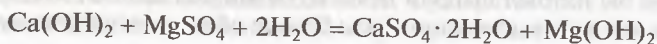
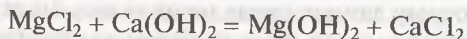
Второй вид коррозии связан с образованием легкорастворимых солей в результате взаимодействия составляющих цементного камня с веществами, находящимися в окружающей среде. Коррозия второго вида может происходить в различных формах.

При наличии в природных водах агрессивной углекислоты, способной реагировать с CaCO_3 , гидрат оксида кальция также растворяется (выщелачивается) по реакциям:



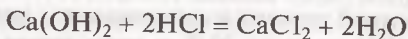
Образовавшийся бикарбонат кальция хорошо растворяется в воде, причем растворяющее действие воды тем больше, чем выше содержание в ней агрессивной углекислоты и тем меньше временная жесткость воды.

Магнезиальная коррозия. Воды с содержанием катионов Mg^{2+} свыше 5 000 мг/л агрессивны по отношению к цементному камню. Соли магния, проникая в бетон, взаимодействуют с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по реакции



При этом труднорастворимый гидрат оксида магния осаждается в порах бетона, а CaCl_2 и $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ вымываются, что приводит к разрушению цементного камня.

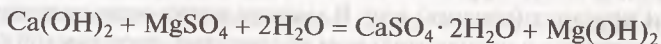
Коррозия водами, содержащими свободные кислоты. При наличии в воде любых кислот, имеющих значение $\text{pH} < 7$, растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ значительно ускоряется, так как кроме физического растворения при этом происходит и химическое взаимодействие:



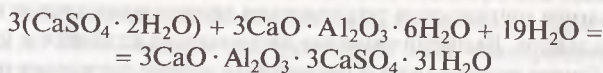
Происходит также вымывание растворов этих солей. Кроме того, кислоты могут разрушать силикаты кальция.

Третий вид коррозии возникает при действии на цементный камень растворов сульфатов. Разрушение бетонов на портландцементе водами, содержащими сульфаты, вызывается следующими причинами:

- гидрат оксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вступает с сульфатами в обменную реакцию:



- образующийся гипс реагирует с гидроалюминатом кальция, находящимся в цементном камне, по уравнению



Образование нового соединения — гидросульфалоюмината кальция (этtringита) — сопровождается значительным увеличением объема твердой фазы цементного камня, что приводит к возникновению в нем внутренних напряжений и в дальнейшем к разрушению бетона. При наличии в воде значительного количества хлоридов гидросульфалоюминат кальция не образуется, поэтому агрессивность воды определяется по содержанию в ней ионов SO_4^{2-} с учетом количества ионов хлора.

При достаточно высокой концентрации сульфатов в агрессивных водах в порах бетона в результате обменных реакций образуется гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Разрушение цементного камня в этом случае вызывается кристаллизационным давлением растущих кристаллов двуводного гипса.

Основными мерами защиты цементного камня от коррозии являются выбор цемента, изготовление особо плотного бетона, применение специальных добавок при получении бетона и использование защитных покрытий.

Для изготовления бетона, подверженного воздействию агрессивной среды, следует выбирать по возможности такой цемент, по отношению к которому данная среда не являлась бы агрессивной.

Какой бы ни был выбран цемент, бетон должен быть особо плотным, так как при высокопористом бетоне облегчается проникновение

агрессивных жидкостей и газов в тело бетона. Повышение плотности бетона возможно осуществить путем пропитки его полимеризующимися составами.

Что касается специальных добавок, вводимых в бетон для повышения его коррозионной стойкости, то эти добавки могут быть различными. Так, часто применяют некоторые пластифицирующие поверхностно-активные вещества, повышающие плотность и однородность бетона. Отдельные гидрофобизирующие вещества, например кремнийорганические жидкости, улучшают структуру бетона, частично гидрофобизуя его, и тем самым в известной мере препятствуют диффузии агрессивных веществ в глубь бетона. Кроме того, применяют различные защитные покрытия и облицовки, практически исключая воздействие агрессивной среды на бетон (покрытия из полимеров, битумная изоляция, облицовка кислотоупорным кирпичом или диабазовыми плитками и пр.).

5.2.2. Разные виды портландцемента

Для получения портландцемента с заданными специальными свойствами используют следующие основные пути:

1) регулирование минерального состава и структуры цементного клинкера, оказывающее решающее влияние на все строительно-технические свойства цемента;

2) введение минеральных и органических добавок, позволяющих направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне;

3) регулирование тонкости помола и зернового состава цемента, влияющих на скорость твердения, активность, тепловыделение и другие свойства цемента.

Быстротвердеющий портландцемент. Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) — портландцемент с минеральными добавками, отличающийся повышенной прочностью через 3 сут твердения. Количество трехкальциевого силиката и трехкальциевого алюмината в клинкере — обычно не менее 60...65 %. Помол БТЦ производится более тонко до удельной поверхности 350...400 м²/кг (вместо 280...300 м²/кг для обычного портландцемента). Это ускоряет твердение цемента. БТЦ выпускают марок М400 и М500.

Применяется БТЦ при производстве сборных железобетонных конструкций, а также при проведении зимних бетонных работ. Следует иметь в виду повышенное тепловыделение БТЦ, которое исключает его применение для массивных конструкций. БТЦ с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината непригоден для бетона, подвергающегося сульфатоалюминатной коррозии.

Сульфатостойкий портландцемент. Сульфатостойкие цементы изготавливают на основе клинкера нормированного минерального

состава (с пониженным содержанием C_3S — не более 50 %, и C_3A — не более 5 %) и применяют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, обладающих коррозионной стойкостью при воздействии сред, агрессивных по содержанию в них сульфатов. Эти цементы по вещественному составу подразделяются на следующие виды: сульфатостойкий портландцемент М400, сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками М400 и М500, сульфатостойкий шлакопортландцемент М300 и М400, пуццолановый портландцемент М300 и М400.

Портландцементы с органическими добавками. В современной технологии бетона широко применяют поверхностно-активные вещества, вводимые в малых дозах (0,05...0,30 % от массы цемента) в бетонные и растворные смеси при их изготовлении и добавляемые в цемент при помоле клинкера.

Поверхностно-активные добавки пластифицируют бетонные и растворные смеси, что позволяет улучшать их удобоукладываемость, либо снижают количество воды затворения (сохраняя удобоукладываемость) и расход цемента на 10...20 %. Оставляя же количество цемента неизменным, достигают снижения пористости бетона, повышения его морозостойкости и водонепроницаемости.

Типичные поверхностно-активные добавки можно подразделить на четыре группы: гидрофилизующие, гидрофобизующие, воздухововлекающие и комплексные.

К *гидрофилизующим* добавкам относятся лигносульфонаты технические (ЛСТ), получаемые при производстве целлюлозы. При адсорбции цементом лигносульфонат кальция гидрофилизует частицы цемента, т.е. улучшает их смачивание водой. Одновременно ослабляются силы взаимного сцепления между частицами вяжущего. В результате этого добавка ЛСТ повышает пластичность цементного теста и подвижность бетонных смесей.

К *гидрофобизующим* добавкам относятся мылонафт, асидол, асидол-мылонафт, синтетические жирные кислоты и их соли и кремнийорганические жидкости (ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94). Мылонафт представляет собой натриевое мыло нафтеновых кислот. Общая формула нафтеновых кислот $C_nH_{2n-1}COOH$, где n изменяется от 8 до 13. Источником получения нафтеновых кислот служат щелочные отходы, образующиеся при очистке продуктов перегонки нефти (бензина и др.) щелочью. Из них получают технические нафтеновые кислоты, известные под названиями «асидол» и «асидол-мылонафт». Синтетические жирные кислоты изготавливают путем окисления парафина. В качестве добавки можно применять как синтетические жирные кислоты, так и кубовые остатки, полученные при производстве этих кислот.

Молекулы нафтеновых кислот и их солей состоят из полярной группы ($COOH$ или $COONa$) и углеводородного радикала. Эти молекулы адсорбируются на частицах цемента так, что их углеводородные

радикалы обращены наружу. Они не смачиваются водой и придают цементу гидрофобные свойства.

Жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11 представляют собой водно-спиртовые растворы метил- и этилсиликоната натрия, способные смешиваться с водой в любых соотношениях. Кремнийорганическая жидкость ГКЖ-94 — продукт гидролиза этилдихлорсилана; ГКЖ-94 обычно применяют в виде водной эмульсии.

Микропенообразователи образуют при перемешивании бетонной смеси пену, вовлекая воздух, т.е. действуют как *воздухововлекающие* добавки. Из добавок микропенообразователей наиболее известны абиеат натрия и омыленный древесный пек. Абиеат натрия получают путем омыления канифоли едким натром, поэтому его называют смолой нейтрализованной, воздухововлекающей (сокращенно СНВ). Омыленный древесный пек представляет собой нейтрализованные щелочью смоляные кислоты древесного пека хвойных пород.

Комплексные добавки, получившие широкое распространение, обычно состоят из гидрофилизующих и гидрофобизующих поверхностно-активных веществ. Они сочетают высокий пластифицирующий эффект с гидрофобизующим действием на цементы и бетоны.

Пластифицированный портландцемент изготавливают путем введения при помеле клинкера около 0,25 % лигносульфаната технического (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 и повышения плотности, морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Если же сохранить водоцементное отношение, то можно снизить расход цемента (примерно на 10... 15 %) без ухудшения качества бетона.

Гидрофобный портландцемент получают, вводя при помеле клинкера 0,1... 0,2 % мылонафта, асидола, синтетических жирных кислот, их кубовых остатков 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.

Портландцементы с минеральными добавками. *Активными минеральными добавками* называются природные или искусственные вещества, которые при смешивании в тонкоизмельченном виде с воздушной известью и затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой.

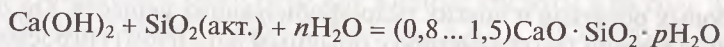
Активные минеральные добавки, или гидравлические добавки, содержат диоксид кремния в аморфном, а следовательно, в химически активном состоянии, и поэтому они способны взаимодействовать с гидратом оксида кальция, образуя гидросиликаты кальция.

Активные минеральные добавки могут быть природными (естественными) и искусственными. В качестве природных активных добавок широко используют горные породы (диатомит, трепел, опоку, горелые глинистые породы — глиежи), а также породы вулканического происхождения (вулканический пепел, туф, пемзу, витрофир, трасс). Искусственные активные минеральные добавки представляют собой побочные продукты и отходы промышленности: быстроохлажденные (гранулированные) доменные шлаки; белитовый (нефелиновый) шлак — отход глиноземного производства, содержащий в своем составе до 80 % минерала белита (двукальциевого силиката); золунос — отход, получившийся при сжигании твердого топлива в пылевидном состоянии и улавливаемый электрофильтрами и другими устройствами.

Активная минеральная добавка химически связывает растворимый в воде гидрат оксида кальция, выделяющийся при твердении портландцемента; при этом повышается плотность цементного камня, возрастает его сопротивление коррозии. Поэтому активные минеральные добавки применяют для повышения плотности, водостойкости и солестойкости бетонов и растворов.

Портландцемент с минеральной добавкой содержит активную минеральную добавку в количестве 10...20 % (от массы цемента), имеет те же марки, что и портландцемент, и близок к нему по другим свойствам.

Пуццолановый портландцемент изготавливают путем совместного помола клинкера и активной минеральной добавки с необходимым количеством гипса. Добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) должно быть не менее 20 и не более 30 %, а вулканических добавок (пемзы, туфа), а также глиежа или топливной золы — не менее 25 и не более 40 %. Активная минеральная добавка сначала адсорбирует, а затем химически связывает гидрат оксида кальция, образующийся при взаимодействии алита с водой:



В результате этого процесса, происходящего во влажных условиях и при положительной температуре, растворимый гидрат оксида кальция связывается в практически нерастворимый гидросиликат кальция. Вследствие этого значительно возрастает стойкость бетона в отношении выщелачивания Ca(OH)_2 .

Пуццолановый портландцемент следует применять для бетонов, постоянно находящихся во влажных условиях (подводные и подземные части сооружений). На воздухе бетон на пуццолановом портландцементе дает большую усадку и в сухих условиях частично теряет прочность, что объясняется выветриванием воды из гидратных соединений. Кроме того, бетоны на этом цементе имеют низкую морозостойкость и не пригодны для сооружений, подвергающихся замораживанию и оттаиванию. Пуццолановый портландцемент твердеет в

нормальных условиях медленнее, чем портландцемент, поэтому его не следует применять при проведении зимних бетонных работ.

Пуццолановый портландцемент обладает небольшим тепловыделением и часто применяется для бетонов внутренних частей массивных сооружений (плотин, шлюзов и т. п.).

Шлакопортландцемент. Шлакопортландцемент представляет собой гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе.

Он получается путем совместного тонкого помола клинкера и гранулированного доменного (или электротермофосфорного) шлака с необходимым количеством гипса. Допускается раздельный помол компонентов и их последующее смешение. Количество доменного шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21 и не более 60 % (от массы цемента). Допускается замена до 10 % шлака трепелом или другой активной минеральной добавкой.

Доменные шлаки по своему химическому составу напоминают цементный клинкер. В них преобладают окислы: 30...50 % CaO ; 28...30 % SiO_2 ; 8...24 % Al_2O_3 ; 1...3 % MnO ; 1...18 % MgO , общее содержание которых достигает 90...95 %. Гидравлическая активность шлаков характеризуется модулями основности (M_o) и активности (M_a).

Модуль основности представляет собой отношение содержащихся в шлаке основных окислов ($\% \text{CaO} + \% \text{MgO}$) к сумме кислотных окислов ($\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3$).

В зависимости от модуля основности различают основные шлаки, у которых $M_o > 1$, и кислые, у которых $M_o < 1$. Более активными являются основные шлаки. Гидравлическая активность доменных шлаков возрастает при увеличении модуля активности.

Шлак, применяемый в качестве добавки к цементу, обязательно подвергается быстрому охлаждению водой или паром. Эта операция называется *грануляцией*, так как в процессе быстрого охлаждения шлаковый расплав распадается на отдельные зерна (гранулы). Быстрое охлаждение препятствует кристаллизации шлака, и он получается в стеклообразном и тонкозернистом химически активном состоянии. Поэтому гранулированный шлак является активным компонентом шлакопортландцемента, он взаимодействует с гидратом оксида кальция с образованием низкоосновных гидросиликата и гидроалюмината кальция.

Процесс твердения шлакопортландцемента значительно ускоряется при тепловлажностной обработке, поэтому его эффективно применять в сборных изделиях, изготавливаемых с пропариванием.

Незначительное содержание в цементном камне $\text{Ca}(\text{OH})_2$ повышает стойкость шлакопортландцемента в мягких и сульфатных водах по сравнению с портландцементом. Тепловыделение при твердении шлакопортландцемента в 2—2,5 раза меньше, чем у портландцемен-

та, поэтому он является самым подходящим цементом для бетона массивных конструкций. Шлакопортландцемент выгодно отличается от пуццоланового портландцемента умеренной водопотребностью, более высокими воздухоустойчивостью и морозостойкостью. Он успешно применяется как для надземных, так и для подземных и подводных частей сооружений. Стоимость его на 15... 20 % ниже стоимости портландцемента.

Жаростойкость шлакопортландцемента значительно выше, чем портландцемента, поэтому он широко используется для изготовления жаростойких бетонов. Однако шлакопортландцементу присущ тот же недостаток, что и пуццолановому портландцементу — он медленно набирает прочность в первое время твердения, особенно при пониженных температурах.

Этот недостаток устраняется в быстротвердеющем шлакопортландцементе, который обладает более интенсивным нарастанием прочности, чем обычный шлакопортландцемент. Обычный шлакопортландцемент имеет марки М300, М400 и М500.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент М400 за 3 сут твердения должен приобрести прочность при сжатии не менее 20 МПа; при изгибе — не менее 3,5 МПа. Этот вид цемента эффективно применять при производстве бетонных и железобетонных изделий, изготавливаемых с применением тепловлажностной обработки.

Белый и цветные портландцементы. Клинкер белого цемента изготавливают из чистых известняков и белых глин, почти не содержащих окислов железа и марганца, которые придают обычному портландцементу зеленовато-серый цвет. Обжигают сырьевую смесь на беззольном (газовом) топливе. При помоле клинкера предохраняют цемент 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 абсолютной шкалы, должна быть для белого портландцемента 1-го сорта — не ниже 80 %; 2-го сорта — 75 %; 3-го сорта — 68 %. Цемент выпускают марок М400 и М500.

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

Тампонажный портландцемент. Тампонажный портландцемент изготавливают измельчением клинкера, гипса и добавок. Он предназначен для цементирования нефтяных и газовых скважин. Цемент для холодных скважин испытывают при температуре $(22 \pm 2)^\circ\text{C}$; для горячих скважин — при температуре $(75 \pm 3)^\circ\text{C}$.

Основная прочностная характеристика цемента — предел прочности при изгибе образцов-балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементного теста с $B/C = 0,5$. Предусмотрен выпуск специальных разновидностей тампонажного портландцемента: утяжеленного, песчанистого, солестойкого, низкогигроскопичного.

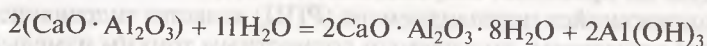
5.2.3. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент — быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция. Однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ определяет быстрое твердение и другие свойства глиноземистого цемента. В 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 ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$). Силикаты кальция представлены небольшим количеством белита.

Для получения клинкера глиноземистого цемента в качестве главных компонентов сырьевой смеси берут известняк CaCO_3 и породы, содержащие глинозем, например бокситы. Сырьевую смесь подвергают спеканию (при температуре около 1300°C) или плавлению (при температуре 1400°C). При этом в результате химических реакций, проходящих между составными частями сырьевой смеси, получают глиноземистый клинкер.

Этот клинкер размалывается труднее, чем клинкер портландцемента: на операцию помола затрачивается больше электроэнергии, мелющих тел и т.д. Кроме того, сами бокситы представляют собой ценное сырье, используемое для производства алюминия. Эти и другие обстоятельства повышают стоимость глиноземистого цемента, ограничивают его выпуск. Сырьевая база для выпуска глиноземистого цемента может быть расширена путем использования некоторых отходов промышленности, содержащих в своем составе глинозем. Разработан способ производства глиноземистого цемента путем плавки в доменной печи бокситовой железной руды с добавкой известняка и железного лома. При этом доменная печь одновременно выдает чугун и шлак, представляющий собой клинкер глиноземистого цемента.

Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах, не выше 25°C . Поэтому глиноземистый цемент нельзя применять для бетонирования массивных конструкций из-за разогрева бетона, а также подвергать тепловлажностной обработке. При обычных температурах (до 25°C) в процессе твердения глиноземистого цемента образуется высокопрочное вещество — двухкальциевый гидроалюминат:



Двухкальциевый гидроалюминат выделяется в виде пластинчатых гексагональных кристаллов, а гидроксид алюминия представляет собой желевидную массу.

Если же температура бетона превысит $25 \dots 30^\circ\text{C}$, то будет наблюдаться переход двухкальцевого гидроалюмината в кубический трехкальциевый гидроалюминат ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), который сопрово-

ждается возникновением внутренних напряжений в цементном камне и понижением прочности бетона почти в два раза.

Марки глиноземистого цемента, определяемые по результатам испытания образцов трехсуточного возраста: М400, М500 и М600. Как известно, портландцемент приобретает такую прочность только через 28 сут нормального твердения. При быстром твердении глиноземистый цемент обладает нормальными сроками схватывания, почти такими же, как и портландцемент. Начало схватывания глиноземистого цемента должно наступать не ранее, чем через 30 мин (у портландцемента — не ранее, чем через 45 мин), а конец — не позднее, чем через 12 ч от начала затворения.

Тепловыделение глиноземистого цемента при твердении примерно в 1,5 раза больше, чем портландцемента.

5.2.4. Расширяющиеся и безусадочные цементы

Расширяющиеся цементы относятся к числу смешанных, иногда многокомпонентных, цементах. Изучались различные расширяющиеся компоненты, однако наиболее эффективным оказался трехсульфатный гидросульфоалюминат кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$). Состав цемента дает возможность регулировать количество и скорость образования кристаллов гидросульфоалюмината кальция и избежать появления вредных напряжений, вызывающих растрескивание затвердевшего цементного камня.

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

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, получаемое совместным тонким измельчением высокоглиноземистых клинкера или шлака и природного двуводного гипса или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно. 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 тонким измельчением следующих компонентов (в процентах по массе): 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 способ-

ностью расширяться в водных условиях и на воздухе при постоянном увлажнении в течение первых 3 сут.

Напрягающий цемент, затворенный водой, 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, для цементно-бетонных покрытий аэродромов, в спортивных и подземных сооружениях.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификации минеральных вяжущих веществ.
2. Назовите принципы получения воздушной извести.
3. Назовите принципы производства строительного гипса.
4. В чем заключается твердение извести и гипса?
5. Перечислите положительные и отрицательные свойства воздушных вяжущих веществ и области их рационального применения.
6. Какие вы знаете гидравлические вяжущие вещества? Назовите способы их производства.
7. Назовите способы производства портландцемента.
8. Назовите основные минералы клинкера портландцемента. Каков вещественный состав портландцемента?
9. Охарактеризуйте процесс твердения портландцемента.
10. Как определяются стандартные свойства портландцемента?
11. Назовите принципы получения разновидностей портландцемента.
12. Каковы особенности глиноземистого, расширяющегося и безусадочного цемента?

Глава 6

БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ

6.1. Общие сведения

Бетон представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате формования и твердения бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок.

Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

По виду вяжущего различают бетоны:

- 1) цементные;
- 2) силикатные (на известково-кремнеземистом вяжущем);
- 3) на гипсовом вяжущем;
- 4) на смешанных вяжущих (цементно-известковых, известково-шлаковых и т. п.);
- 5) на специальных вяжущих (неорганических и органических), применяемые при наличии особых требований (жаростойкости, химической стойкости и др.).

По виду заполнителя различают бетоны:

- 1) на плотных заполнителях;
- 2) на пористых заполнителях;
- 3) на специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (защита от излучений, жаростойкость, химическая стойкость и т. п.).

По плотности бетоны подразделяются на особо тяжелые — плотностью более 2500 кг/м^3 ; тяжелые — плотностью $1800 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$; легкие — плотностью $600 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$; особо легкие — плотностью менее 600 кг/м^3 .

Строительный раствор — это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства смеси и растворов. Для изготовления строительных растворов чаще используют неорганические вяжущие вещества (цементы, воздушную известь и строительный гипс). Стро-

ительные растворы классифицируются в зависимости от вида вяжущего вещества, средней плотности и назначения.

По виду вяжущего различают растворы цементные, известковые, гипсовые и смешанные (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

6.2. Материалы для бетона

Для приготовления бетонов применяются цементы, мелкий и крупный заполнитель, вода и добавки.

6.2.1. Выбор вида цемента

Выбор вида цемента производится в зависимости от условий работы конструкций и требований к бетону по прочности. Рекомен-

Таблица 6.1. Область применения различных цемента

Условия работы бетона в конструкции	Портландцемент (ПЦ)	Портландцемент с минеральными добавками (ПЦМД)	Шлакопортландцемент (ШПЦ)	Сульфатостойкий портландцемент (ССПЦ)	Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками (ССМД)	Сульфатостойкий шлакопортландцемент (ССШ)	Пуццолановый портландцемент (ППЦ)
Внутри зданий с относительной влажностью воздуха:							
до 60 %	Р	Р	Р	Д	Д	Д	Н
более 60 %	Р	Р	Р	Д	Д	Д	Д
На открытом воздухе (при воздействии атмосферных условий)	Р	Р	Р	Д	Д	Д	Н
В зоне переменного действия воды и мороза (бетоны повышенной морозостойкости)	Д	Д	Н	Р	Д	Н	Н

Условия работы бетона в конструкции	Виды цемента						
	Портландцемент (ПЦ)	Портландцемент с минеральными добавками (ПЦМД)	Шлакопортландцемент (ШПЦ)	Сульфатостойкий портландцемент (ССПЦ)	Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками (ССМД)	Сульфатостойкий шлакопортландцемент (ССШ)	Пуццолановый портландцемент (ППЦ)
При воздействии сред, агрессивных по содержанию сульфатов	Н	Н	Н	Р	Р	Р	Р
В подземных и подводных сооружениях	Д	Д	Р	Д	Д	Д	Р

Примечание: Р — применение рекомендуется; Д — применение допускается при достаточном технико-экономическом обосновании; Н — применение не допускается.

двумя и допустимые области применения различных цемента приведены в табл. 6.1.

6.2.2. Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя в тяжелом бетоне применяют песок, состоящий из зерен размером 0,14...5,0 мм. Для приготовления тяжелых бетонов применяют природные пески, образовавшиеся в результате естественного разрушения горных пород, а также искусственные пески, полученные путем дробления твердых горных пород и из отсеков.

Зерновой состав песка определяют просеиванием высушенной средней пробы (1 000 г) через стандартный набор сит с размерами отверстий 2,5 мм и с сетками, имеющими квадратные ячейки размером 1,25; 0,63; 0,315; 0,14 мм. Сначала вычисляют частный остаток на каждом сите a_i , %, как отношение массы остатка m_i к массе просеиваемой пробы m :

$$a_i = 100m_i/m.$$



Рис. 6.1. График зернового состава песка

Затем определяют полный остаток A_i , %, на каждом сите как сумму частных остатков на данном сите и на всех ситах крупнее данного:

$$A_i = a_{2,5} + \dots + a_i.$$

Зерновой состав песка удобно представить графически, если по горизонтали отложить размеры отверстий сит, а по вертикали — полные остатки на ситах. На рис. 6.1 заштрихованная область — это допустимые пределы колебаний зернового состава песков для бетона.

Для оценки крупности песка применяют безразмерный показатель — модуль крупности M_k , который вычисляют как отношение суммы полных остатков на ситах, начиная с сита с отверстиями 2,5 мм и кончая ситом 0,14 ко всей пробе, принятой за 100:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14})/100.$$

В зависимости от зернового состава песок подразделяется на крупный, средний, мелкий и очень мелкий (табл. 6.2). Содержание в песке

Таблица 6.2. Классификация песков по крупности

Группа песка	Полный остаток на сите 0,63, % по массе	Модуль крупности M_k
Крупный	Более 45	Более 2,5
Средний	30 ... 45	2,5 ... 2,0
Мелкий	10 ... 30	2,0 ... 1,5
Очень мелкий	Менее 10	1,5 ... 1,0

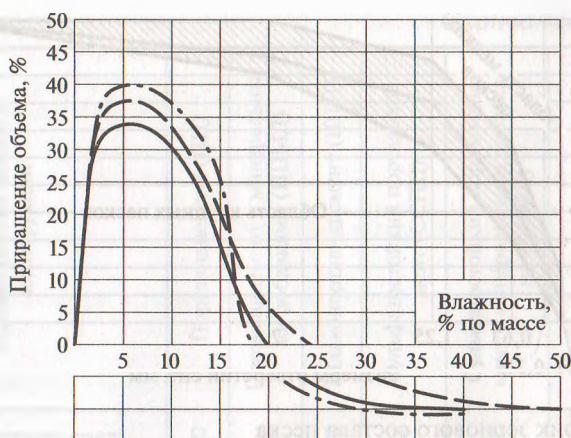


Рис. 6.2. График изменения объема песка при увлажнении (кривые относятся к пекам различного зернового состава)

зерен, проходящих через сито 0,14, должно быть не более 10 % по массе; при этом количество пылевидных, илистых и глинистых частиц, определяемых отмучиванием, не должно превышать 3 % в природном песке и 4 % в дробленном песке (глин — не более 0,1 ... 0,5 %).

Песок отличается от крупного заполнителя способностью сильно изменять насыпную плотность и объем при изменении влажности (рис. 6.2) от 0 до 25 %. Сухой песок занимает наименьший объем, а влажный при укладке сбивается в комки и не укладывается так плотно, как сухой. Наибольший объем занимает песок при влажности 5 ... 7 % (см. рис. 6.2).

6.2.3. Крупный заполнитель

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

Зерна гравия имеют скатанную форму и гладкую поверхность. Щебень получают дроблением изверженных, метаморфических, плотных и водостойких осадочных горных пород (плотных 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 (М500 и выше) обычно применяют щебень, а не гравий.

Для определения прочности крупного заполнителя осуществляют его раздавливание в цилиндре. Показатель дробимости D_p , %, вычисляют с погрешностью до 1 % по формуле

$$D_p = 100(m_1 - m_2)/m_1,$$

где m_1 — испытываемая проба щебня (гравия), кг; m_2 — остаток на контрольном сите после просеивания раздробленной в цилиндре пробы щебня (гравия), кг.

В зависимости от дробимости при сжатии в цилиндре щебень подразделяется на следующие марки по прочности: M1400, M1200, M1000, M800, M600, M400, M300 и M200. Щебень марок M1400 и M1200 может содержать зерна слабых пород в количестве не более 5 %; щебень марок M1000, M800, M600, M400 — не более 10 %; щебень марок M300 и M200 — не более 15 % (по массе). Содержание в гравии и щебне из гравия зерен слабых пород не должно превышать 10 % по массе.

Морозостойкость щебня и гравия должна обеспечивать получение проектной марки бетона по морозостойкости. Установлены следующие марки щебня и гравия по морозостойкости: F15, F25, F50, F100, F150, F200 и F300. Марка обозначает число циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором потеря в массе пробы крупного заполнителя не превышает 5 % (для марок 15, 25 и 50 циклов допускается потеря массы до 10 %).

Относительный объем пустот (пустотность) крупного заполнителя ($V_{\text{пуст}}$) определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \rho_n/\rho,$$

где ρ_n — насыпная плотность крупного заполнителя; ρ — плотность.

Для уменьшения пустотности необходимо увеличение насыпной плотности путем правильного подбора зернового состава.

Зерновой состав крупного заполнителя устанавливают с учетом наибольшего D_{max} и наименьшего D_{min} размеров зерен щебня или гравия. Наименьшая крупность соответствует размеру отверстия самого мелкого из сит, через которое проходит не более 5 % просеиваемой пробы; обычно наименьшая крупность равна 5 (3) мм.

В зависимости от крупности зерен щебень, гравий и щебень из гравия подразделяется на четыре фракции: 5...10 мм; 10...20 мм; 20...40 мм и 40...70 мм. Щебень, гравий и щебень из гравия могут поступать в виде смеси двух или большего числа фракций. Зерновой состав каждой фракции или смеси фракций должен находиться в пределах, представленных в табл. 6.3 и на рис. 6.3.

Содержание глинистых частиц в щебне допускается не более 0,25 %; содержание пылевидных и илистых частиц — не более 3 %.

Водопоглощение является важной технологической характеристикой заполнителя, учитывающей его влияние на формирование струк-

Таблица 6.3. **Зерновой состав крупного заполнителя**

Размер контрольных сит	Полный остаток на ситах, % по массе
$D_{\min}$:	
5 (3) мм	95 ... 100
10 мм	90 ... 100
$0,5(D_{\min} + D_{\max})$:	
для одной фракции	40 ... 80
для смеси	50 ... 70
$D_{\max}$	0 ... 10
$1,25D_{\max}$	0

туры и свойств бетонов. Определение водопотребности заполнителя в бетонной смеси производят исходя из принципа равноподвижных смесей.

1. На стандартном встряхивающем столике устанавливают распыл цементного теста при $(В/Ц)_т$, соответствующем его нормальной густоте. Для этого 900 г цемента перемешивают с водой в течение 5 мин, а затем определяют распыл конуса, равный (170 ± 1) мм, на встряхивающем столике по стандартной методике.

2. Подбирают $(В/Ц)_р$, при котором раствор состава 1 : 2 на исследуемом песке имеет такой же распыл конуса. Для этого 300 г цемента и 600 г песка перемешивают в течение 1 мин всухую и 5 мин с



Рис. 6.3. График зернового состава щебня (гравия)

водой, а затем по стандартной методике определяют распыл конуса на встряхивающем столике.

3. Устанавливают осадку конуса раствора состава 1 : 2 при $(В/Ц)_p$, определенном ранее на встряхивающем столике. Для этого отвешивают 5 кг цемента и 10 кг песка и перемешивают их сначала 1 мин всухую, а затем 5 мин с водой, количество которой устанавливают в соответствии с $(В/Ц)_p$. После этого определяют осадку конуса раствора стандартными способами.

4. Подбирают $(В/Ц)_6$, при котором достигается та же осадка конуса бетонной смеси состава 1 : 2 : 3,5, т.е. получают равноподвижную бетонную смесь. Для этого отвешивают 2,5 кг цемента, 5 кг песка, и 8,75 кг щебня (гравий), перемешивают их 1 мин всухую и 5 мин с водой, а затем определяют подвижность бетонной смеси стандартными способами.

Водопотребность, %, песка ($В_п$) и щебня ($В_{щ}$) вычисляют по следующим формулам:

$$В_п = \frac{(В/Ц)_p - (В/Ц)_ц}{2} 100;$$

$$В_{щ} = \frac{(В/Ц)_6 - (В/Ц)_п}{3,5} 100,$$

где в знаменателе указано количество частей песка (щебня), приходящегося на одну часть цемента.

Таким образом, *водопотребность заполнителя* — это то количество воды, которое нужно ввести в растворную или бетонную смесь, чтобы они имели ту же подвижность, что и цементное тесто.

Вода, применяемая для затворения бетонной смеси и поливки бетона, не должна содержать вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества. Для затворения бетонной смеси применяют водопроводную питьевую воду. Не допускается применять болотные, а также сточные бытовые и промышленные воды без их очистки.

6.2.4. Добавки к бетонам

Для регулирования свойств бетона, бетонной смеси и экономии цемента применяют различные добавки. Их подразделяют на два вида: химические добавки, вводимые в бетон в небольшом количестве (0,1 ... 2,0 % от массы цемента) и изменяющие в нужном направлении свойства бетонной смеси и бетона, и тонкомолотые добавки (5 ... 20 % от массы цемента и более), используемые в целях экономии цемента, а также для получения плотного бетона при малых расходах цемента и повышения прочности и стойкости бетона.

Химические добавки подразделяются по основному эффекту действия:

1) на добавки, регулирующие свойства бетонных смесей: пластифицирующие, увеличивающие подвижность бетонной смеси; стабилизирующие, предупреждающие расслоение бетонной смеси; вододерживающие, уменьшающие водоотделение;

2) добавки, регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетона: ускоряющие или замедляющие схватывание; ускоряющие твердение; обеспечивающие твердение при отрицательных температурах (противоморозные);

3) добавки, регулирующие плотность и пористость бетонной смеси и бетона: воздухововлекающие, газообразующие, пенообразующие и уплотняющие (воздухоудаляющие и кольматирующие поры бетона);

4) добавки — регуляторы деформаций бетона, расширяющие добавки;

5) добавки, повышающие защитные свойства бетона к стали, ингибиторы коррозии стали;

6) добавки — стабилизаторы, повышающие стойкость бетонных смесей к расслоению, снижающие раство- и водоотделение;

7) добавки, придающие бетону специальные свойства: гидрофобизирующие, уменьшающие смачивание бетона; антикоррозионные, повышающие стойкость в агрессивных средах; красящие, повышающие бактерицидные и инсектицидные свойства; электроизоляционные; электропроводящие и противорадиационные.

Некоторые добавки обладают полифункциональным действием (например, пластифицирующие и воздухововлекающие, газообразующие и пластифицирующие и др.). В этом случае добавку классифицируют по наиболее выраженному эффекту действия.

Классификация пластификаторов представлена в табл. 6.4.

В качестве ускорителей твердения применяют хлорид кальция (ХК), сульфат натрия (СН), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК)

Таблица 6.4. Классификация пластификаторов

Группа	Наименование	Эффективность действия	
		Изменение осадки конуса, см	Уменьшение воды затворения, %
1	Суперпластификатор	От 2 до 20	Не менее 20
2	Сильный пластификатор	От 2 до 14	Не менее 10
3	Средний пластификатор	От 2 до 8	Не менее 5
4	Слабый пластификатор	От 2 до 6	Менее 5

и др. В качестве противоморозных добавок применяют поташ (П), хлорид натрия (ХН), хлорид кальция (ХК) и др. Эти добавки понижают точку замерзания воды и способствуют твердению бетона при отрицательной температуре. Чем ниже температура твердения, тем выше дозировка добавки.

Для получения эффекта полифункционального действия применяют комплексные добавки, включающие в себя несколько компонентов, например добавки, одновременно пластифицирующие бетонную смесь и ускоряющие твердение бетона, и др.

Для активного управления структурой и свойствами бетонной смеси и бетона наряду с химическими добавками применяют минеральные добавки (МД). Эти материалы представляют собой порошки различной минеральной природы, получаемые из природного или техногенного сырья (золы, молотые шлаки и горные породы, микрокремнезем и др.). Минеральные добавки подразделяются на активные и инертные. Активные МД способны в присутствии воды взаимодействовать с диоксидом кальция при обычной температуре, образуя соединения, обладающие вяжущими свойствами. При введении в бетон они взаимодействуют с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющимся при гидратации портландцемента. Некоторые активные МД, например молотые доменные шлаки, способны к самостоятельному твердению, которое активизируется при добавке извести.

Инертные добавки (например, молотый кварцевый песок) при обычной температуре не вступают в реакцию с компонентами цемента, однако при определенных условиях эти добавки могут проявлять реакционную способность (например, при автоклавной обработке). В большинстве случаев инертные добавки используют для регулирования зернового состава и пустотности заполнителя.

6.3. Бетонная смесь

Бетонной смесью называется рационально составленная и тщательно премешанная смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения. Бетонные смеси обладают реологическими характеристиками: предельным напряжением сдвига, вязкостью и тиксотропией. Под *тиксотропией* понимают способность бетонной смеси изменять свои реологические свойства под влиянием вибрационных воздействий. Для ее определения применяют специальные вискозиметры.

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

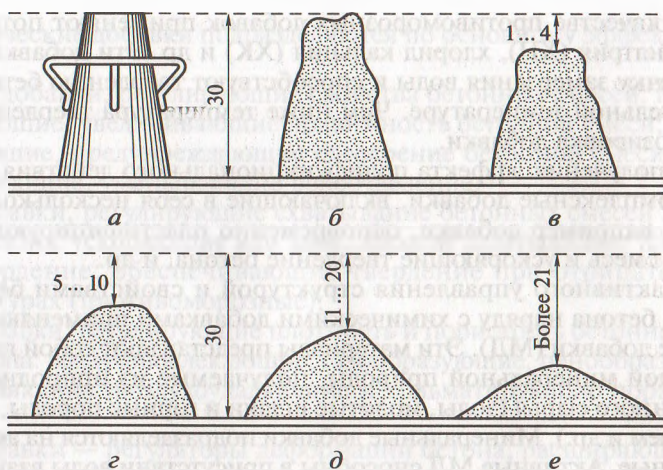


Рис. 6.4. Определение подвижности бетонной смеси с помощью конуса:

а — общий вид; *б* — жесткая смесь; *в* — малоподвижная смесь; *г* — подвижная смесь; *д* — очень подвижная смесь; *е* — литая смесь (размеры указаны в см)

Подвижность бетонной смеси определяют по осадке стандартного конуса в сантиметрах (рис. 6.4). В табл. 6.5 представлены размеры стандартных конусов. Конус № 1 применяют для бетонных смесей с наибольшей крупностью зерен заполнителя — до 40 мм включительно; конус № 2 применяют для смесей с заполнителем наибольшей крупности — 70 мм.

Подвижность бетонной смеси вычисляют как среднее из двух значений, определенных из одной пробы смеси. Если осадка конуса равна нулю, то удобоукладываемость бетонной смеси характеризуется жесткостью.

Жесткость бетонных смесей характеризуется временем (в секундах) вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения

Таблица 6.5. Размеры конуса для определения подвижности бетонной смеси

Размеры конуса, мм	Конус № 1	Конус № 2
Диаметр основания:		
верхнего	100	150
нижнего	200	300
Высота	300	450

предварительно отформованного конуса бетонной смеси. Для оценки свойств бетонных смесей используют стандартный вискозиметр, с помощью которого определяют растекаемость бетонной смеси при вибрировании. Прибор состоит из цилиндрического сосуда высотой 200 мм с внутренним диаметром 240 мм, на котором закреплено устройство для измерения осадки бетонной смеси в виде направляющего штатива, штанги и металлического диска толщиной 4 мм с шестью отверстиями (рис. 6.5).

Прибор устанавливают на виброплощадку и плотно прикрепляют к ней. Затем в сосуд помещают металлическую форму-конус с насадкой для наполнения ее бетонной смесью. Размеры формы-конуса такие же, как при определении подвижности бетонной смеси.

Форму-конус с помощью специального кольца-держателя закрепляют в приборе и заполняют тремя слоями бетонной смеси, уплотняя ее штыкованием (25 раз каждый слой). Затем снимают форму-конус, поворачивают штатив, устанавливают на поверхности бетонной смеси диск и включают виброплощадку. Вибрирование при амплитуде 0,5 мм продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух отверстий диска. Полученное время вибрирования является показателем жесткости бетонной смеси.

Связность бетонной смеси обуславливает однородность строения и свойств бетона. Очень важно сохранить однородность бетонной смеси при перевозке, укладке в форму и уплотнении. При уплотнении

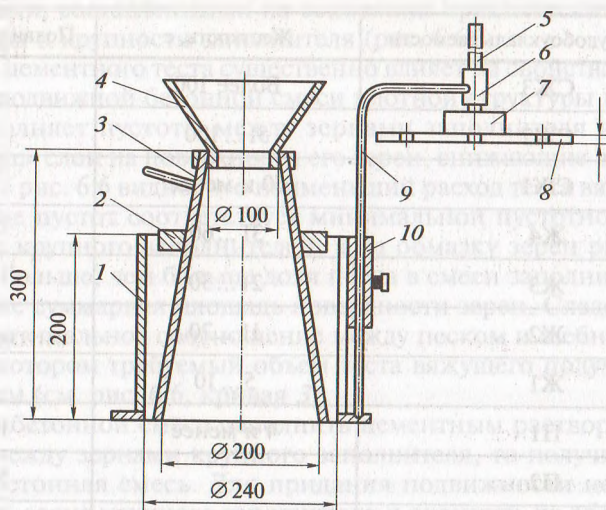


Рис. 6.5. Прибор для определения жесткости бетонной смеси:

1 — форма; 2 — упоры для крепления конуса; 3 — корпус; 4 — воронка; 5 — штанга; 6 — направляющая втулка; 7 — втулка для крепления диска; 8 — диск с шестью отверстиями; 9 — штатив; 10 — зажим штатива

подвижных бетонных смесей происходит сближение составляющих ее зерен, при этом часть воды отжимается вверх. Вода оттекает зерна заполнителя и стержни арматуры, образуя капиллярные ходы, повышающие водопроницаемость и понижающие морозостойкость бетона. Избыточная вода скапливается под зернами крупного заполнителя, образуя полости, ухудшающие строение и свойства бетона.

Большое значение для предотвращения расслоения имеет правильное определение количества мелкого заполнителя — песка, который заполняет крупные пустоты, имеющиеся между зернами щебня, а также повышает вязкость цементного теста.

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.

При производстве бетонных и железобетонных изделий и конструкций в зависимости от вида изделия, характера его армирования и принятой технологии изготовления применяют бетонные смеси различной подвижности. Для удобства пользования близкие по свойствам бетонные смеси объединены в группы, представленные марками по удобоукладываемости (табл. 6.6).

Таблица 6.6. Классификация бетонных смесей

Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см
СЖЗ	Более 100	0
СЖ2	51 ... 100	0
СЖ1	50 и менее	0
Ж4	31 ... 60	0
Ж3	21 ... 30	0
Ж2	11 ... 20	0
Ж1	5 ... 10	0
П1	4 и менее	1 ... 4
П2	—	5 ... 9
П3	—	10 ... 15
П4	—	16 ... 20
П5	—	21 и более

Рассмотрим факторы, определяющие удобоукладываемость бетонных смесей.

Подвижность, или жесткость, бетонных смесей зависит от количества воды и цемента, а также от свойств исходных материалов. Количество воды затворения является основным фактором, определяющим удобоукладываемость бетонной смеси. Вода затворения распределяется между цементным тестом и заполнителем. При определении состава бетона учитывают, что количество воды в 1 кг на 1 м³ бетона, необходимое для получения из данных материалов бетонной смеси требуемой подвижности, является более или менее постоянной величиной, если расход цемента находится в пределах от 200 до 400 кг/м³.

Эта закономерность, получившая название «правило постоянства водопотребности» и позволяющая в расчетах использовать упрощенную зависимость подвижности бетонной смеси только от расхода воды, объясняется следующим образом. Увеличение содержания цемента в бетонной смеси повышает толщину обмазки зерен заполнителя цементным тестом. Однако при этом уменьшается отношение В/Ц (при постоянном расходе воды), т. е. влияние этих факторов, один из которых увеличивает, а второй уменьшает консистенцию бетонной смеси, суммируется таким образом, что изменение расхода цемента в указанных пределах не влияет на подвижность бетонной смеси. Поэтому количество воды затворения определяют исходя из требуемых показателей удобоукладываемости, пользуясь таблицами и графиками, составленными на основании практических данных с учетом вида и крупности заполнителя (рис. 6.6).

Объем цементного теста существенно влияет на свойства бетонной смеси. В подвижной бетонной смеси плотной структуры цементное тесто заполняет пустоты между зернами заполнителя и образует «смазочные» слои на поверхности его зерен, снижающие внутреннее трение. Из рис. 6.6 видно, что наименьший расход теста вяжущего на заполнение пустот соответствует минимальной пустотности смеси мелкого и крупного заполнителей, а на обмазку зерен расходуется теста тем больше, чем больше доля песка в смеси заполнителей, т. е. чем больше суммарная площадь поверхности зерен. Следовательно, имеется оптимальное соотношение между песком и щебнем (гравием), при котором требуемый объем теста вяжущего получается минимальным (см. рис. 6.6, кривая 3).

Если в бетонной смеси заполнить цементным раствором только пустоты между зернами крупного заполнителя, то получится очень жесткая бетонная смесь. Для придания подвижности необходимо раздвинуть зерна крупного заполнителя и окружить их оболочкой из растворной смеси, которая играет роль смазки, скрепляющей после отвердевания зерна камневидной составляющей бетона. Следовательно, объем растворной части бетона следует принимать равным объему пустот в крупном заполнителе, умноженному на коэффициент

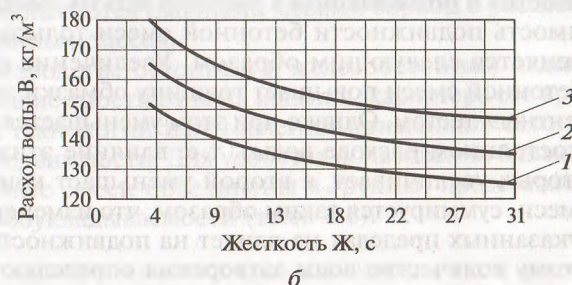


Рис. 6.6. Водопотребность бетонной смеси, приготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности и гравия наибольшей крупности: *а* — подвижные смеси; *б* — жесткие смеси; 1 — 70 мм; 2 — 40 мм; 3 — 20 мм; 4 — 10 мм

раздвижки (он равен 1,05 ... 1,15 — для жестких смесей; 1,2 ... 1,5 — для подвижных смесей).

Влияют на подвижность бетонной смеси и свойства цемента. Применение цемента с более высокой нормальной плотностью понижает подвижность бетонной смеси (при постоянном расходе воды). Бетонные смеси, содержащие пуццолановый портландцемент с активной кремнеземистой добавкой, особенно осадочного происхождения (трепелы, диатомиты), при одном и том же расходе воды имеют значительно меньшую осадку конуса, чем смеси с обычным портландцементом.

С повышением содержания воды подвижность бетонной смеси увеличивается, но если расход цемента остается постоянным, то прочность бетона понижается. Однако каждая бетонная смесь обладает определенной водоудерживающей способностью; при большем содержании воды часть ее отделяется от бетонной смеси, что недопустимо. Изменение содержания воды является главным регулятором, с помощью которого регулируют консистенцию бетонной смеси.

Подвижность бетонной смеси существенно зависит от крупности зерен заполнителя. С увеличением крупности зерен суммарная площадь их поверхности уменьшается, снижается их влияние на цементное тесто, в результате подвижность бетонной смеси возрастает. Пыль, глинистые и другие загрязняющие примеси снижают подвижность бетонной смеси, так как повышают водопотребность заполнителей.

Эффективным регулятором подвижности бетонной смеси являются добавки пластификаторов и суперпластификаторов. Введение добавок позволяет существенно повысить подвижность бетонной смеси или уменьшить ее водопотребность, тем самым позволяя приготавливать бетонные смеси равной подвижности при меньшем расходе воды и цемента.

В качестве пластификаторов используют: гидрофилизующие (ЛСТ), гидрофобизующие (мылонафт, асидол и др.), микропенообразующие (омыленный древесный пек и т. п.) и комплексные добавки.

Суперпластификаторы в большинстве случаев представляют собой синтетические полимеры: производные меламиновой смолы или нафталинсульфокислоты; другие добавки (СПД, ОП-7 и т. д.) получены на основе вторичных продуктов химического синтеза. Суперпластификаторы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,15... 1,20 % от массы цемента, разжижают бетонную смесь в большой степени, чем обычные пластификаторы. Они редуцируют до 25... 30 % воды затворения.

Пластифицирующий эффект сохраняется в течение 1,0... 1,5 ч после введения добавки, а через 2... 3 ч он уже незначителен. В щелочной среде эти добавки переходят в другие вещества, безвредные для бетона, не снижающие его прочности.

Суперпластификаторы позволяют применять литевой способ изготовления железобетонных изделий и бетонирования конструкций с использованием бетононасосов и трубного транспорта бетонной смеси.

Эти добавки дают возможность существенно снизить водоцементное отношение, сохраняя подвижность смеси, и изготавливать высокопрочные бетоны.

Гиперпластификатор представляет собой высокоэффективный комплексный химический модификатор, который состоит из основы, представляющей собой полимерную цепь поликарбоксилатов, образованную α - и β -ненасыщенными карбоновыми кислотами (кислотные группы COO^-), и боковых цепей (зубьев) — полиэфирных групп. Гиперпластификатор может редуцировать до 40 % воды затворения.

В жестких бетонных смесях эффективность действия пластификаторов уменьшается, так как количество воды оказывается недостаточным для обеспечения их действия.

6.4. Формирование структуры бетона

Введенный в цементное тесто заполнитель существенно влияет на свойства бетонных смесей и на период формирования их структуры при постоянном расходе воды. Влияние заполнителя тем сильнее, чем более развита его удельная поверхность. Распределение воды в бетонной смеси происходит следующим образом. Заполнитель (песок, щебень) делит цементное тесто на ячейки, размер которых зависит от состава, т.е. расхода, компонентов.

На рис. 6.7 показана элементарная ячейка бетона, состоящая из зерен заполнителя, контактной зоны, образованной водой смачивания и налипшим раствором, ослабленной структурой под заполнителем вследствие седиментации, вызванной водоотделением цементного теста, воздушных пузырьков, возникших из-за недоуплотнения.

Количество воды смачивания составляет, как правило, 1...2 % от массы заполнителя. Между зернами заполнителя находится цементное тесто с водоцементным отношением затворения, которое, как правило, всегда выше водоудерживающей способности цемента. В состоянии покоя (например, после перемешивания) происходит внутреннее водоотделение (седиментация): сначала оседают в ячейках крупные зерна цемента, затем более мелкие, и отслоившаяся вода (равная водопотребности заполнителя) скапливается под зернами заполнителя.

Так как введенный заполнитель «отвлекает» часть воды затворения и матрица бетона формируется при другом водоцементном отношении, вводятся понятия о вновь сформировавшихся элементах структуры бетонной смеси: истинном водоцементном отношении W и объемной концентрации цементного теста C . Под *истинным* понимают такое водоцементное отношение, при котором бетонная смесь будет иметь ту же подвижность (или тот же период формирования структуры), что и цементное тесто.

Истинное водоцементное отношение определяют, зная водопотребность песка и щебня:

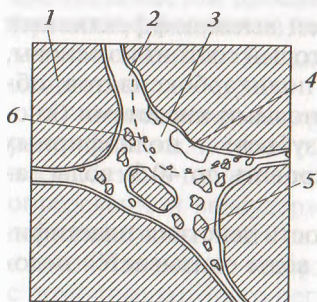


Рис. 6.7. Элементарная ячейка структуры бетона:

1 — зерна заполнителя; 2 — контактная зона; 3 — зона ослабленной структуры; 4 — воздушные пузырьки; 5 — зона уплотненной структуры; 6 — крупные водяные поры

$$W = (B - B_{\text{п.П}} - B_{\text{щ.Щ}}) / \text{Ц.}$$

Объемная концентрация цементного теста в бетонной смеси C выражается в долях от единицы объема смеси:

$$C = (1/\rho_{\text{ц}} + W) \text{Ц} / 1000,$$

где Ц — расход цемента, кг/м^3 ; $\rho_{\text{ц}}$ — плотность цемента, г/см^3 .

Объемная концентрация цементного теста может изменяться в бетонной смеси от 0 до 1, а истинное водоцементное отношение теста в бетонной смеси W — от $0,876K_{\text{н.г}}$ до $1,65K_{\text{н.г}}$.

Использование структурных характеристик C и W позволяет получить уточненные зависимости «удобоукладываемость — состав бетонной смеси — свойства материалов» при значительных колебаниях состава смесей и свойств исходных материалов. На рис. 6.8 приведены результаты определения жесткости бетонной смеси на гранитном щебне и керамзите, показывающие, что имеются четкие зависимости жесткости ($Ж$) смеси от C и W , в то время как зависимость жесткости от расхода воды и цемента имеет значительно больший разброс результатов и, следовательно, меньшую точность.

В бетоне различают макро- и микроструктуру. *Макроструктура* определяет структуру бетона как искусственного конгломерата, состоящего из крупного и мелкого заполнителя, цементного камня.

Под *микроструктурой* понимают строение цементного камня, заполнителей, контактной зоны между цементным камнем и заполнителем и порового пространства. Цементный камень содержит участки с различной структурой, он сложен из различных минералов.

Контакт между зернами заполнителя и цементным камнем влияет на совместную работу камневидной составляющей и минераль-

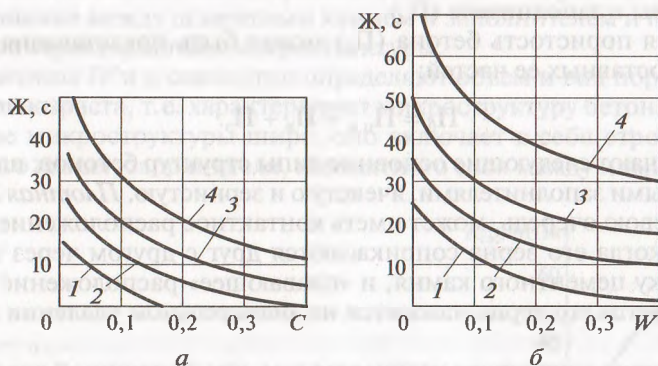


Рис. 6.8. Графики зависимостей удобоукладываемости (жесткости) бетонной смеси на гранитном щебне (а) и керамзите (б) от объемной концентрации цементного теста C и истинного водоцементного отношения W :

1 — $W = 0,2$; 2 — $W = 0,25$; 3 — $W = 0,3$; 4 — $W = 0,35$

ного клея под нагрузкой, а также на монолитность и стойкость бетона. Ширина контактной зоны цементного камня колеблется от 30 до 60 мкм. По своему составу и свойствам контактная зона отличается от остального цементного камня. Сращивание зерна заполнителя с цементным камнем связано с миграцией гидрата оксида кальция, получающегося при гидролизе трехкальциевого силиката, к поверхности зерна. В результате на поверхности заполнителя образуются кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 .

Возможно химическое взаимодействие некоторых видов заполнителя с продуктами гидратации цемента даже при нормальных условиях твердения, усиливающееся при тепловой обработке. Например, установлено, что на поверхности зерен карбонатного щебня (из известняка) образуются соединения типа карбоалюминатов, которые упрочняют сцепление. Некоторые природные и искусственные пористые заполнители (пемза, керамзит) содержат свободный аморфный диоксид кремния, реагирующий с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидросиликатов. В условиях автоклавной обработки даже зерна кварцевого песка вступают во взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Прочность сцепления между заполнителем и цементным камнем зависит от природы заполнителя, его пористости, шероховатости и чистоты поверхности зерен, а также от вида и активности цемента, водоцементного отношения и условий твердения бетона. У бетонов на плотных заполнителях она меньше прочности цементного камня на растяжение.

Поры бетона по местоположению подразделяются на следующие виды:

1) поры в цементном камне ($\Pi_{ц.к.}$), подразделяемые на поры геля (Π_r), капиллярные (Π_k) и образованные вовлеченным воздухом (Π_v);

2) поры в заполнителе (Π_z).

Общая пористость бетона ($\Pi_б$) может быть представлена в виде суммы составных ее частей:

$$\Pi_б = \Pi_{ц.к.} + \Pi_v + \Pi_z.$$

Различают следующие основные типы структур бетонов: плотную, с пористыми заполнителями, ячеистую и зернистую. *Плотная структура*, в свою очередь, может иметь контактное расположение заполнителя, когда его зерна соприкасаются друг с другом через тонкую прослойку цементного камня, и «плавающее» расположение заполнителя, когда его зерна находятся на значительном удалении друг от друга.

Ячеистая структура отличается тем, что в сплошной среде твердого материала расположены поры различных размеров в виде отдельных условно-замкнутых ячеек.

Зернистая структура представляет собой совокупность склеенных между собой зерен твердого материала. Пористость зерни-

стой структуры непрерывна и аналогична структуре сыпучего материала.

Наибольшей прочностью обладают материалы с плотной структурой, наименьшей — с зернистой. Плотные материалы менее проницаемы, чем ячеистые, а те, в свою очередь, менее проницаемые, чем материалы зернистой структуры. Последние обладают наибольшим водопоглощением.

Все свойства бетона зависят от его макро- и микроструктуры. Общей количественной характеристикой строения бетона является критерий L , который представляет собой отношение объемной концентрации цементного камня в бетоне к суммарной пористости бетона (P_6), которая складывается из пористости цементного камня (P_k), пористости заполнителя (P_z) и пористости, образованной вовлеченным воздухом (P_v):

$$L = C/P_6 = (C/\rho_{ц} + WC)/(P_k + P_z + P_v).$$

Особенностью данного критерия является то, что объемная концентрация цементного камня определяется на основе истинного водоцементного отношения W . Тем самым учитывается влияние на структуру и свойства бетона заполнителя (через его водопотребность) и процесса формирования структуры (твердения цемента). Твердение цемента после его схватывания происходит в рамках первоначально сложившейся структуры, от которой будут зависеть все свойства бетона.

Использование обобщенного критерия позволяет получить единую зависимость прочности $R_6 = f(L)$, которая может быть использована при проектировании составов различных бетонов по единой методике (рис. 6.9).

Для бетона из данных материалов величина C выражает объемное соотношение между цементным камнем и заполнителем и принята в качестве характеристики макроструктуры.

Величины W и α совместно определяют объем и вид пор в бетоне данного возраста, т. е. характеризуют микроструктуру бетона; однако понятие микроструктуры шире, оно включает в себя строение цементного камня, заполнителя, контактного слоя между ними. Поэто-

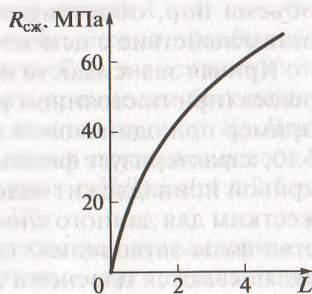


Рис. 6.9. График зависимости прочности бетона на тяжелых и легких заполнителях от критерия L

му в полной мере сохраняется необходимость правильного выбора исходных материалов для бетона и выполнение всех технологических требований.

Величины C и W характеризуют не только структуру, но и состав бетона, поскольку объемную концентрацию заполнителя S и расход цемента C можно найти при помощи следующих формул:

$$S = 1 - C; \quad C = C/(V_{\text{ц}} + W),$$

где $V_{\text{ц}}$ — удельный объем цемента.

6.5. Свойства бетона

6.5.1. Плотность и средняя плотность бетона

Плотности составных частей бетона близки (г/см^3): гидратированного цемента — 2,6; кварцевого песка — 2,65; гранитного щебня — около 2,7; керамзитового гравия — 2,6, поэтому плотность бетона в среднем составляет 2,6...2,7 г/см^3 (исключение составляет особо тяжелый бетон).

Главным регулятором средней плотности бетона является заполнитель; воздух, находящийся в макропорах ячеистого бетона, можно рассматривать как своеобразный сверхлегкий заполнитель. Применяя различные виды заполнителя, можно получать среднюю плотность бетона в соответствии с требованиями в пределах от 250 до 5 000 кг/м^3 и более.

6.5.2. Прочность бетона

Закон прочности бетона устанавливает зависимость прочности от качества применяемых материалов и пористости бетона. Прочность вяжущего характеризуется его маркой ($R_{\text{ц}}$), качество заполнителя — коэффициентом A , а пористость косвенно определяется величиной водоцементного отношения. Зависимость прочности от водоцементного отношения является в сущности зависимостью прочности от объема пор, образованных водой, не вступающей в химическое взаимодействие с цементом.

Кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (при постоянном расходе цемента и способе уплотнения, например при одинаковом времени уплотнения), приведенная на рис. 6.10, характеризует физический смысл закона прочности. Левая ветвь кривой принадлежит недоуплотненным бетонным смесям, слишком жестким для данного способа уплотнения. При возрастании количества воды затворения, т.е. водоцементного отношения, эти смеси укладываются плотнее и прочность бетона повышается.

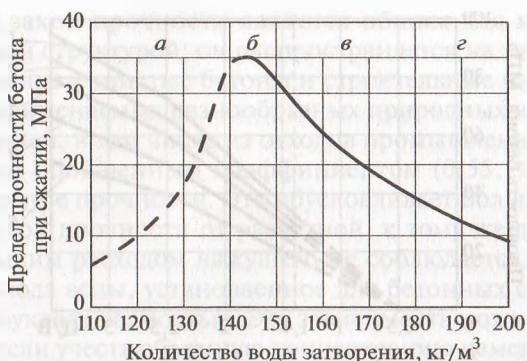


Рис. 6.10. Общая кривая зависимости прочности от количества воды затворения при одинаковом способе уплотнения:

а — область недоуплотненных бетонных смесей; *б* — область наибольшей плотности и прочности бетона; *в* — область подвижных бетонных смесей; *г* — область литых смесей

При оптимальном (для данного способа уплотнения) количестве воды бетон имеет наибольшие плотность и прочность, что соответствует максимуму на кривой прочности. Дальнейшее увеличение количества воды разжижает бетонную смесь, повышает ее подвижность. Однако добавляемая вода лишь частично связывается вяжущим и поэтому образует в бетоне водяные полости: объем пор в бетоне возрастает, а прочность бетона понижается соответственно правой ветви кривой. Таким образом, для каждой смеси имеется оптимальное значение количества воды, которое позволяет получить при данном способе уплотнения бетон слитного строения с минимальной пористостью, а следовательно, с наибольшей прочностью.

Правая ветвь кривой (см. рис. 6.10) представляет собой гиперболу, имеющую вид

$$R_6 = R_{ц} / (k(B/Ц)^n),$$

где R_6 — прочность бетона при сжатии; $R_{ц}$ — активность цемента; k , n — параметры, зависящие от вида и качества заполнителей (для тяжелого бетона $n = 1,5$ при щебне $k = 3,5$, при гравии $k = 4$).

Гиперболическую формулу прочности бетона можно преобразовать в более простую формулу, если выразить R_6 в зависимости от цементно-водного отношения. Зависимость прочности бетона от величины Ц/В в общем виде выражается сложной кривой R_6 . Для практических целей эту кривую заменяют двумя прямыми и соответственно получают две формулы: для бетона с Ц/В = 1,4...2,5 и высокопрочных бетонов с Ц/В > 2,5 (рис. 6.11).

Формулой прочности бетона можно пользоваться только применительно к плотно уложенным бетонам, которые изготавливают из

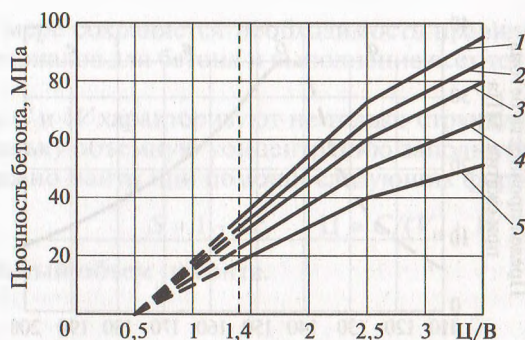


Рис. 6.11. Графики зависимостей прочности тяжелого бетона от цементно-водного отношения (Ц/В) при прочности цемента:

1 — $R_{\text{ц}} = 60$; 2 — $R_{\text{ц}} = 55$; 3 — $R_{\text{ц}} = 50$; 4 — $R_{\text{ц}} = 40$; 5 — $R_{\text{ц}} = 30$

портландцемента, воды и заполнителей, удовлетворяющих требованиям стандартов.

Для обычных бетонов с $\text{Ц/В} = 1,4 \dots 2,5$ формула прочности принимает вид

$$R_6 = AR_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5).$$

При высококачественных заполнителях (щебень из плотных изверженных горных пород, крупный песок с минимальным содержанием вредных примесей) $A = 0,65$; для рядовых заполнителей $A = 0,6$; при применении заполнителей пониженного качества $A = 0,55$.

Для высокопрочных бетонов, изготавливаемых с $\text{Ц/В} > 2,5$, применяется формула

$$R_6 = A_1 R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} + 0,5).$$

В этой формуле для высококачественных заполнителей $A_1 = 0,43$; для рядовых заполнителей $A_1 = 0,4$.

Можно получить график прочности бетона применительно к тому цементу и тем заполнителям, которые используются для приготовления бетона. Для этого нужно провести несложный опыт. Поскольку зависимость марки бетона от Ц/В (в пределах $\text{Ц/В} = 1,4 \dots 2,5$) изображена отрезком прямой, для получения графика требуется иметь две точки, а для этого нужно приготовить и испытать два состава бетона (например, с $\text{Ц/В} = 1,4$ и $\text{Ц/В} = 2,5$). Полученный график дает возможность определить величину Ц/В , необходимую для любой заданной марки бетона; при этом определение Ц/В производится более точно, чем по формуле, особенно когда применяются методы ускорения твердения бетона (пропаривание и др.).

Формулы и графики используют в расчете состава бетона, который проверяют и уточняют с помощью пробного замеса.

Основной закон прочности является общим для материалов с конгломератной структурой; он распространяется на тяжелые и легкие бетоны, мелкозернистые бетоны и строительные растворы.

Качество применяемых разнообразных природных и искусственных заполнителей, в том числе из отходов промышленности, трудно оценить одним обобщенным коэффициентом ($0,55 \dots 0,60 \dots 0,65$) в линейной формуле прочности. Это обуславливает большие отклонения фактической прочности от расчетной, к тому же для бетонных смесей с большим расходом вяжущего не соблюдается правило постоянства расхода воды, установленное для бетонных смесей с одинаковой удобоукладываемостью. Эту зависимость можно существенно уточнить, если учесть объемную концентрацию цементного камня в бетоне (C). В действительности, как видно из графика, представленного на рис. 6.12, имеет место не одна кривая, выражающая зависимость прочности бетона от V/C , а некоторая область, объединяющая опытные данные с учетом колебания бетона вследствие указанных причин.

В рабочих чертежах конструкций или в стандартах на изделия обычно указывают требования к прочности бетона, его класс или марку. При проектировании конструкций прочность бетона на сжатие характеризуется классами. Класс бетона определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95. Бетоны подразделяются на следующие классы: B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B25; B30; B35; B40; B50; B55; B60.

На производстве контролируют среднюю прочность. Класс бетона и его средняя прочность связаны зависимостью

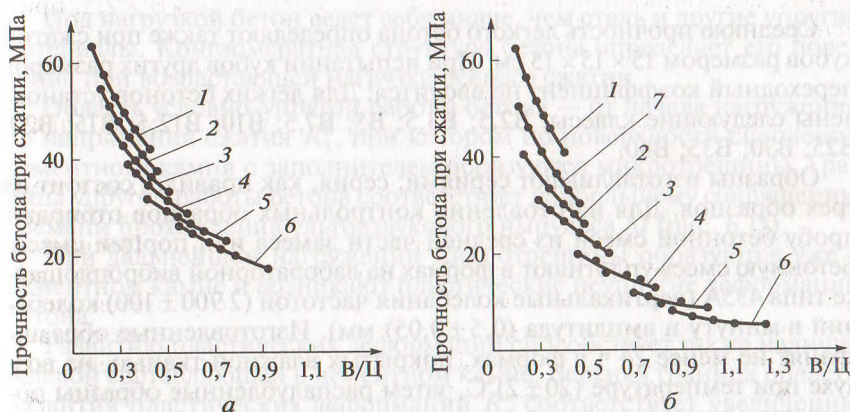


Рис. 6.12. Обобщенные графики изменения прочности бетонов:

a — тяжелый бетон; $б$ — легкий керамзитобетон; 1 — $C = 1$; 2 — $C = 0,7$; 3 — $C = 0,5$; 4 — $C = 0,3$; 5 — $C = 0,2$; 6 — $C = 0,15$; 7 — $C = 0,8$ (C — объемная концентрация цементного камня в бетоне)

$$B = R_{cp}(1 - tv),$$

где B — класс бетона по прочности, МПа; R_{cp} — средняя прочность, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа; t — коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона; v — коэффициент вариации прочности бетона.

Для перехода от класса бетона B к средней прочности бетона, контролируемой на производстве для образцов размером $15 \times 15 \times 15$ см (при нормативном коэффициенте вариации 13,5 % и $t = 0,95$) следует применять формулу $R_{cp} = B/0,778$. Например, для класса В5 получим среднюю прочность $R_{cp} = 6,43$ МПа, а для класса В40 $R_{cp} = 51,4$ МПа.

Предел прочности бетона определяется при сжатии стандартных образцов размером $15 \times 15 \times 15$ см, изготовленных из рабочей бетонной смеси в металлических формах и испытанных в возрасте 28 сут после твердения в нормальных условиях (при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности окружающего воздуха 90... 100 %).

Кубы размером $15 \times 15 \times 15$ см применяют в том случае, когда наибольшая крупность зерен заполнителя составляет 40 мм. При другой крупности заполнителя можно использовать кубы иных размеров, однако размер ребра контрольного бетонного образца должен быть примерно в три раза больше максимальной крупности зерен заполнителя.

Для определения прочности бетона на кубах с другими размерами вводят следующие переходные коэффициенты, на которые умножают полученную в опытах прочность бетона:

Размер куба, см.....	$7 \times 7 \times 7$	$10 \times 10 \times 10$	$15 \times 15 \times 15$
Коэффициент	0,85	0,85	1,00

Среднюю прочность легкого бетона определяют также при сжатии кубов размером $15 \times 15 \times 15$ см. При испытании кубов других размеров переходный коэффициент не вводится. Для легких бетонов установлены следующие классы: В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40.

Образцы изготавливают сериями; серия, как правило, состоит из трех образцов. Для изготовления контрольных образцов отбирают пробу бетонной смеси из средней части замеса или порции смеси. Бетонную смесь уплотняют в формах на лабораторной виброплощадке типа 435А (вертикальные колебания частотой $(2\,900 \pm 100)$ колебаний в минуту и амплитуда $(0,5 \pm 0,05)$ мм). Изготовленные образцы хранят не менее 24 ч в формах, покрытых влажной тканью, на воздухе при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, затем распалубленные образцы помещают в камеру «нормального твердения», в которой поддерживается относительная влажность воздуха не ниже 95 % и температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Прочность бетона вычисляют для каждого образца по следующим формулам:

- на сжатие —

$$R = k_m P k_w / F;$$

- на осевое растяжение —

$$R_p = k_m P k_w / F;$$

- на растяжение при раскалывании —

$$R_{p.p} = k_m 2 P k_w / \pi F;$$

- на растяжение при изгибе —

$$R_u = k_m P l / a b^2,$$

где R — прочность бетона на сжатие; R_p — прочность бетона на осевое растяжение; $R_{p.p}$ — прочность бетона на растяжение при раскалывании; R_u — прочность бетона на растяжение при изгибе; k_m — масштабный коэффициент прочности бетона; P — разрушающая нагрузка; k_w — поправочный коэффициент, учитывающий влажность бетона образца (для всех видов бетона, кроме ячеистого, $k_w = 1$; для ячеистого бетона k_w принимают в зависимости от влажности); F — средняя площадь рабочего сечения образца; a , b , l — соответственно ширина и высота призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе.

6.5.3. 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 R_T^0 , при котором по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем образуются микротрещины. Граница упругой работы бетона соответствует наибольшему сокращению времени прохождения ультразвукового импульса Δt (рис. 6.13).

При дальнейшем нагружении микротрещины образуются уже в цементном камне и возникают пластические неупругие деформации бетона.

Развитию пластических деформаций способствует также наличие гелевой составляющей в цементном камне. Верхняя граница области развития пластических деформаций R_T^y соответствует увеличению коэффициента поперечной деформации до 0,5, т. е. до максимального значения, теоретически возможного для сплошного тела. При этом время прохождения ультразвукового импульса приближается к первоначальному значению для ненагруженного бетона, принятому за условный ноль.

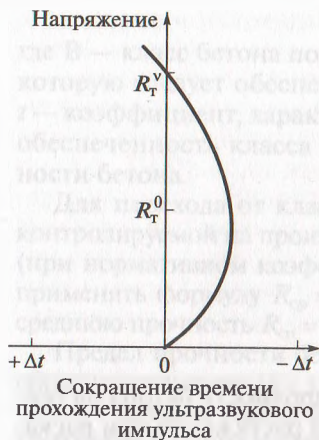


Рис. 6.13. Параметрические точки (границы) областей напряженного состояния бетона:

R_T^0 — граница условно-упругой работы бетона;
 R_T^y — верхняя граница области развития пластических деформаций

При небольших напряжениях и кратковременном нагружении для бетона характерна упругая деформация, подобная деформации пружины. Если напряжение превосходит 0,2 от предела прочности, то наблюдается заметная остаточная (пластическая) деформация (рис. 6.14) и полную деформацию бетона можно представить как сумму упругой $\epsilon_{\text{упр}}$ и пластической $\epsilon_{\text{пл}}$ деформаций. Поэтому диаграмма деформирования (зависимость напряжения от относительной деформации) непрямолинейна, для каждого напряжения существует свой модуль упругости. Условились за начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении принимать отношение нормального напряжения к относительной деформации при величине напряжения не более 0,2 от предела прочности.

Коэффициент упругой поперечной деформации (коэффициент Пуассона) бетона изменяется в довольно узких пределах — 0,13... 0,22 и в среднем равен 0,167.

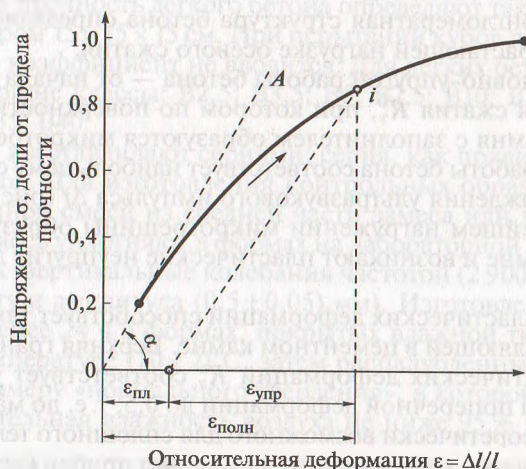


Рис. 6.14. Кривая «напряжение — деформация» бетона

Между модулями упругости продольной деформации бетона E_6 и деформации сдвига G существует связь:

$$G = E_6 / (2(1 + \mu));$$

принимают $G = 0,4E_6$.

Предельная относительная деформация бетонной балки связана с модулем деформации E_6 и пределом прочности R при растяжении (сжатии) соотношением $\varepsilon_{\text{пред}} = R/E_6$.

Модуль деформаций конструкционных легких бетонов на пористых заполнителях примерно вдвое меньше, чем у равнопрочных тяжелых бетонов, поэтому предельная сжимаемость легкого бетона примерно в 1,5—2 раза, а растяжимость в 2—4 раза выше по сравнению с тяжелым бетоном. Повышение предельной деформации бетона увеличивает его трещиностойкость.

Ползучестью называется явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной статической нагрузки (рис. 6.15). Таким образом, полная относительная деформация бетона при длительном действии нагрузки складывается из его начальной (мгновенной) упругой деформации и пластической деформации ползучести.

Мерой ползучести служит величина $c = \varepsilon_{\text{п}}/\sigma$, т.е. относительная деформация ползучести, отнесенная к единице напряжения.

В области упругой работы бетона ползучесть $\varepsilon_{\text{п}}$ приблизительно линейно зависит от упругой деформации ε_0 и, следовательно, характеристика ползучести $\Phi = \varepsilon_{\text{п}}/\varepsilon_0$, т.е. равна отношению деформации ползучести к начальной упругой деформации.

Ползучесть проявляется при всех видах деформации. По сравнению с ползучестью при сжатии ползучесть при растяжении выше в среднем в 1,5 раза, а при сдвиге — в 2—2,5 раза.

Ползучесть бетона объясняется пластическими свойствами влажного цементного геля, а также возникновением и развитием микротрещин при напряжениях, превосходящих упругую деформацию. Кроме того, при высоких напряжениях проявляется пластическая деформация кристаллической структуры.

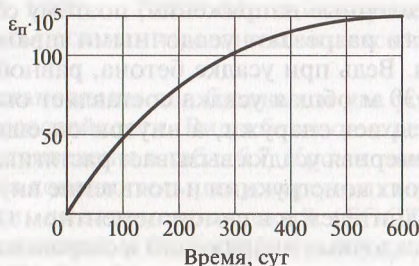


Рис. 6.15. График развития деформаций ползучести бетона во времени

Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, условий твердения и влажности. Меньшая ползучесть наблюдается при применении высокомарочных цементов и плотного заполнителя — щебня из изверженных горных пород. Пористый заполнитель усиливает ползучесть, поэтому легкие бетоны имеют большую ползучесть по сравнению с тяжелыми. С увеличением водоцементного отношения ползучесть бетона при прочих равных условиях возрастает, так как цементный гель становится менее вязким, а бетон — более пористым. При одинаковом водоцементном отношении большая ползучесть наблюдается у бетона с более высоким содержанием цемента. В бетоне, нагруженном в раннем возрасте, проявляется гораздо большая ползучесть, чем в бетоне, нагруженном в позднем возрасте.

На ползучести сказывается климат — ползучесть усиливается в теплом и сухом воздухе. Преждевременное высыхание бетона ухудшает структуру и увеличивает его ползучесть. Однако насыщение водой затвердевшего бетона может также вызвать рост ползучести.

6.5.4. Усадка и набухание бетона

При твердении на воздухе происходит усадка бетона, т.е. бетон сжимается и линейные размеры бетонных элементов сокращаются. Усадка складывается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. Испарение воды из цементного геля сопровождается сближением его частиц и является причиной влажностной усадки. Карбонизация содержащегося в цементном камне гидрата оксида кальция с переходом его в углекислый кальций также вызывает усадку, особенно заметную в ячеистых бетонах. Обычные измерения дают общую величину усадки бетона, складывающуюся из влажностной и карбонизационной составляющих. Контракционная составляющая усадки, вызванная уменьшением абсолютного объема системы «цемент — вода», невелика и составляет всего около 10 % от влажностной усадки.

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, равной 0,3 мм/м, в сооружении длиной 30 м общая усадка составляет около 10 мм. Массивный бетон 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 коли-

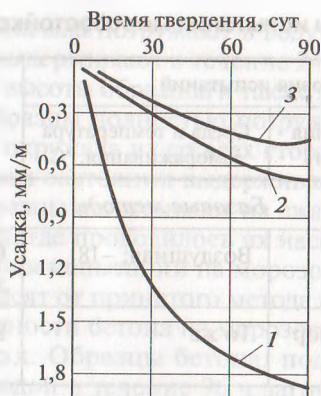


Рис. 6.16. Графики зависимостей деформаций усадки от времени:

1 — цементного камня; 2 — раствора; 3 — бетона

чество вяжущего в единице объема материала; при этом образуется своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке. Поэтому усадка цементного раствора и бетона меньше, чем усадка цементного камня (рис. 6.16).

6.5.5. Морозостойкость бетона

Морозостойкость бетона — способность бетона сохранять физико-механические свойства при многократном попеременном замораживании и оттаивании. Морозостойкость бетона характеризуется маркой по морозостойкости. Марка бетона по морозостойкости (F) — установленное нормами максимальное число циклов замораживания и оттаивания образцов, бетона, проводимых по базовым методам, при котором сохраняются первоначальные физико-механические свойства в утвержденных стандартом пределах. Стандартом установлены следующие марки бетонов по морозостойкости: F25, F35, F50, F75, F100, ..., F1000. Методика проведения испытаний на морозостойкость регламентирована комплексом стандартов ГОСТ 1006(0...4)—95.

Стандартом установлены два базовых и два ускоренных метода определения морозостойкости. Виды бетонов и режимы испытаний по этим методам приведены в табл. 6.7. Кроме того, стандарт предусматривает еще два дополнительных ускоренных метода определения морозостойкости: дилатометрический (ГОСТ 10060.3—95) и структурно-механический (ГОСТ 10060.4—95).

Морозостойкость бетона определяют в проектном возрасте при достижении им прочности на сжатие, соответствующей его классу.

Таблица 6.7. Методы испытания морозостойкости бетонов

Номер метода	Условия испытаний		Виды бетонов
	Среда насыщения и оттаивания	Среда и температура замораживания, °С	
Базовые методы			
1	Вода	Воздушная; −18	Все виды, кроме дорожных
2	5%-ный раствор NaCl	То же	Бетоны дорожные
Ускоренные методы			
2	5%-ный раствор NaCl	Воздушная; −18	Все виды, кроме дорожных, легких
3	То же	5%-ный раствор NaCl; −50	Все виды бетонов, кроме легкого

Образцы изготавливаются в стандартных формах-кубах. Образцы подразделяют на контрольные, предназначенные для определения прочности бетона на сжатие перед началом испытаний, и основные, предназначенные для испытаний. Количество и размер образцов бетона в зависимости от метода определения морозостойкости принимают по табл. 6.8.

Образцы должны быть без внешних дефектов. Средняя плотность образцов бетона в серии не должна отличаться более чем на 50 кг/м³. Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,1 %. Все образцы, в том числе и контрольные, перед испытанием насыщают водой (по первому методу) или 5%-ным водным раствором хлорида натрия (по второму и третьему методам) при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Таблица 6.8. Размеры и количество образцов для испытания бетона на морозостойкость

Метод определения морозостойкости	Размер образца, мм	Количество образцов, шт.	
		контрольных	основных
Первый	100 × 100 × 100 или 150 × 150 × 150	6	12
Второй	100 × 100 × 100 или 150 × 150 × 150	6	12
Третий	100 × 100 × 100 или 70 × 70 × 70	6	6

Для этого образцы сначала погружают в воду (или солевой раствор) на 1/3 их высоты и выдерживают в течение 24 ч; затем уровень жидкости доводят до 2/3 высоты образцов и также выдерживают в течение 24 ч. После этого образцы полностью погружают в жидкость таким образом, чтобы она окружала их со всех сторон слоем толщиной не менее 20 мм, и в таком состоянии выдерживают еще в течение 48 ч.

Контрольные образцы испытывают на сжатие через 2...4 ч после извлечения из ванны, где проводилось их насыщение.

Режимы проведения испытаний на морозостойкость и число циклов испытаний зависят от принятого метода испытаний, вида бетона и проектной прочности бетона на морозостойкость.

Первый метод. Образцы бетона, подлежащие испытанию после насыщения водой в течение 96 ч загружают в морозильную камеру в контейнерах или устанавливают на сетчатые стеллажи камеры. В течение всего испытания поддерживают температуру $-16 \dots -20^\circ\text{C}$.

Оттаивание производят в ванне с водой при температуре 18°C .

Число циклов замораживания и оттаивания основных образцов бетона должно быть не менее одного в сутки.

Для установления соответствия марки бетона по морозостойкости требуемой (проектной) марке среднюю прочность серии основных образцов сравнивают со средней прочностью на сжатие серии контрольных образцов.

Если среднее значение прочности серии основных образцов бетона после промежуточных циклов замораживания и оттаивания будет меньше среднего значения прочности на сжатие серии контрольных образцов более чем на 5 %, то испытание следует прекратить и марку бетона по морозостойкости считать не соответствующей требуемой.

Марку бетона по морозостойкости принимают за соответствующую требуемой, если среднее значение прочности на сжатие основных образцов после установленных для данной марки числа циклов замораживания и оттаивания уменьшилось не более чем на 5 % по сравнению со средним значением прочности на сжатие контрольных образцов. Если среднее значение прочности на сжатие основных образцов снизилось более чем на 5 %, то морозостойкость испытуемого бетона не соответствует требуемой.

Второй метод. Отличие этого метода заключается в том, что образцы бетона, подлежащие испытаниям на морозостойкость, насыщают и в процессе испытаний оттаивают не в воде, а в 5%-ном растворе хлорида натрия.

Третий (низкотемпературный) метод. По этому методу бетоны всех видов перед испытаниями насыщают 5%-ным водным раствором хлорида натрия и в нем же проводят размораживание. Особенность испытаний по этому методу — замораживание в растворе хлорида натрия. Морозильная установка, применяемая для ис-

пытаний, должна охлаждать до температуры -60°C . Режим замораживания образцов в камере принят следующий: загрузка при температуре -10°C ; снижение температуры до $-50 \dots -55^{\circ}\text{C}$ в течение $2 \dots 3$ ч; выдержка при этой температуре в течение $2 \dots 3$ ч; повышение температуры до -10°C в течение $1 \dots 2$ ч.

Режим оттаивания следующий: кубы с ребром 100 мм оттаивают в течение $2 \dots 3$ ч, с ребром 70 мм — $1 \dots 2$ ч.

Резкое и глубокое охлаждение образцов, находящихся в среде солевого раствора, и последующее размораживание в таком же растворе в течение $2 \dots 3$ ч при температуре $(18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ создают условия для быстрого разрушения структуры бетона. Так, одна и та же степень разрушения структуры бетона морозостойкостью F200 при базовом (первом) методе испытаний достигается после 200 циклов замораживания-оттаивания, а при низкотемпературном методе — всего после пяти циклов.

Контроль марки бетона по морозостойкости при испытании низкотемпературным методом проводят так же, как и другими методами по снижению прочности на сжатие образцов (не более 5 % по сравнению с прочностью контрольных образцов).

Морозостойкость зависит от свойств исходных материалов, состава и структуры бетона. На морозостойкость бетона в значительной степени влияет минералогический состав цемента. Наиболее отрицательное влияние оказывает C_3A . Одной из причин этого является большое различие концентрации силикатных и алюминатных минералов цемента, которые вызывают появление микродефектов в цементном камне в процессе твердения. Например, для морозостойкости бетонов марок F200 и F300 рекомендуются два типа портландцемента: сульфатостойкий и быстротвердеющий с содержанием C_3A меньше 6 % и C_3S до 60 %. Чем выше водопотребность заполнителя, тем ниже морозостойкость бетона.

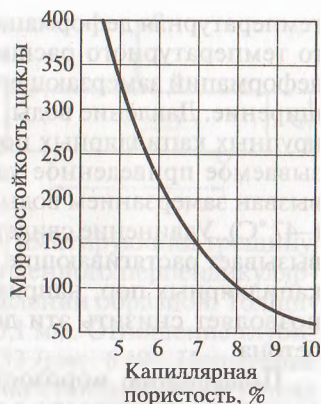
Установлена зависимость морозостойкости тяжелого бетона F (выраженной в стандартных циклах замораживания и оттаивания) от капиллярной пористости Π_k , вычисляемой в процентах по формуле

$$\Pi_k = \frac{B - 0,5\alpha\Pi}{1000} \cdot 100.$$

На рис. 6.17 представлен график зависимости морозостойкости бетона F от капиллярной пористости.

На морозостойкость бетонов влияет деформация самого бетона и его компонентов: цементного камня, мелкого и крупного заполнителя. Коэффициент линейного температурного расширения бетона составляет около $10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$. Следовательно, при увеличении температуры на 50°C расширение достигает примерно 0,5 мм/м. Во избежание растрескивания сооружений большой протяженности «разрезают» температурно-усадочными швами.

Рис. 6.17. График зависимости морозостойкости бетона от его капиллярной пористости



Крупный заполнитель и раствор, составляющие бетон, имеют различный коэффициент температурного расширения и будут по-разному деформироваться при изменении температуры.

Большие колебания температуры (более 80°C) могут 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.

Следует обратить внимание на различный характер деформаций сухого и влажного бетона. Образец из сухого бетона при охлаждении укорачивается согласно кривой 1, представленной на рис. 6.18, и его

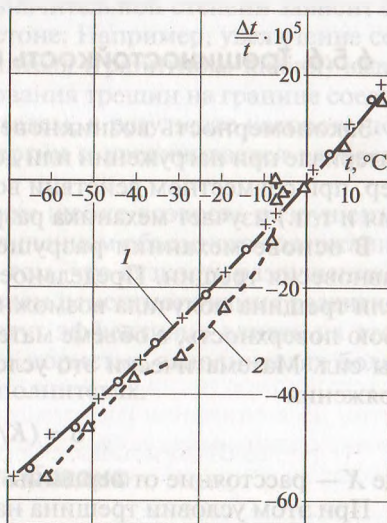
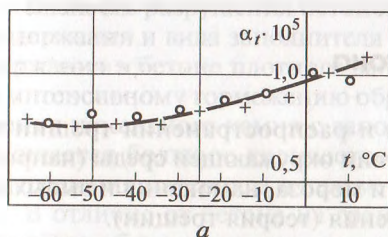


Рис. 6.18. Коэффициент линейного температурного расширения (а) и температурно-влажностные деформации (б) тяжелого бетона при замораживании:

1 — сухого; 2 — насыщенного водой

температурная деформация определяется коэффициентом линейного температурного расширения (КЛТР). Кривая 2 температурных деформаций замерзающего влажного образца имеет аномальное расширение. Давление воды, замерзающей при температуре $-5 \dots -7^\circ\text{C}$ в крупных капиллярных порах, вызывает удлинение образца (так называемое приведенное удлинение). Второй максимум на кривой 2 вызван замерзанием воды в более мелких порах при сильном морозе (-47°C). Удлинение свидетельствует о том, что фазовый переход воды вызывает растягивающие напряжения в бетоне. Уменьшение объема капиллярных пор, например путем введения суперпластификатора, позволяет снизить эти деформации и повысить морозостойкость бетона.

Повышению морозостойкости способствует создание в бетоне резервной пористости с помощью воздухововлекающих добавок в объеме до 5 %. Эти поры не заполняются водой при обычном насыщении, но могут заполняться водой под давлением образующегося в порах льда, выполняя роль своеобразного демпфера.

Состав бетона с требуемой морозостойкостью определяют исходя из максимальных значений водоцементного отношения, допускаемых нормативными документами для данного бетона: для бетона F300 рекомендовано отношение В/Ц не более 0,4; для F200 — до 0,45; для F150 — до 0,5.

6.5.6. Трещиностойкость бетона

Закономерность возникновения и распространения трещин в материале при нагружении или действии окружающей среды (например, при совместном действии воды и мороза, намокания и высыхания и т. п.) изучает механика разрушения (теория трещин).

В основе механики разрушения лежит принцип предельного равновесия трещин. Предельное состояние считается достигнутым, если трещина получила возможность распространяться, увеличивая свою поверхность, в объеме материала под действием данной системы сил. Математически это условие характеризуется формулой напряжения

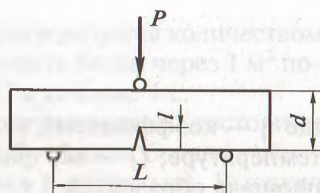
$$\sigma = (K/(2\pi X))^{1/2},$$

где X — расстояние от вершины трещины.

При этом условии трещина начинает расти, если коэффициент K достигает некоторого критического значения, называемого вязкостью разрушения K_c . *Вязкость разрушения* характеризует интенсивность напряженного состояния в области, окружающей устье трещины, вместе с малым объемом, где происходит процесс разрушения.

Экспериментальное определение вязкости разрушения можно осуществить по результатам испытания на изгиб образцов-балочек

Рис. 6.19. Схема испытаний образцов призматической формы с надрезом



размером $10 \times 10 \times 40$ см с надрезом. Надрез, имитирующий трещину, формируется за счет острого клина, прикрепленного перпендикулярно вертикальной стенке формы при изготовлении образцов. Толщина клина при вершине должна составлять 0,1 мм. Отношение глубины надреза к высоте образца составляет 0,33 (рис. 6.19). Испытание образцов-призм с надрезом производится по стандартной методике определения предела прочности бетона на растяжение при изгибе. Величина вязкости разрушения бетона определяется по формуле

$$K_c = (3PL^{1/2}/(Bd^2))(1,99 - 2,47(l/d) + 12,97(l/d)^2 - 23,17(l/d)^3 + 28,2(l/d)^4),$$

где P — разрушающая нагрузка, МН; L — расстояние между опорами при изгибе, м; B — ширина образца, м; d — высота образца, м; l — глубина надреза, м.

Вязкость разрушения бетонов в значительной степени зависит от содержания и вида заполнителя в бетоне. Например, увеличение содержания в бетоне плотного заполнителя (гранитного щебня) ведет к интенсивному торможению образования трещин на границе соединения цементного камня с заполнителем, в результате которого поглощается большое количество энергии и увеличивается вязкость разрушения материала в целом.

В отличие от бетона на гранитном щебне вязкость разрушения керамзитобетона уменьшается с увеличением объемного содержания заполнителя. Это свидетельствует о том, что вязкость разрушения в основном определяется сопротивлением цементного камня развитию трещин, а зерна заполнителя не могут эффективно влиять на этот процесс. Поэтому легкие бетоны на пористых заполнителях более хрупкие, чем бетоны на плотных заполнителях.

6.5.7. Водонепроницаемость бетона

Проектную марку бетона по водонепроницаемости назначают для гидротехнического и других бетонов, к которым предъявляются требования по плотности и водонепроницаемости. Марку принимают в зависимости от коэффициента фильтрации воды K_f , который измеряется количеством воды, прошедшей через 1 см^2 образца в течение 1 ч при постоянном давлении:

$$K_{\Phi} = \frac{\eta Q \delta}{S \tau p},$$

где η — коэффициент, учитывающий вязкость воды при различной температуре; Q — вес фильтрата, Н; δ — толщина образца, см; S — площадь образца, см²; τ — время испытания образца, в течение которого измеряют вес фильтрата, с; p — избыточное давление в установке, МПа.

Полученное значение коэффициента фильтрации K_{Φ} сравнивают с маркой бетона по водонепроницаемости.

<i>Коэффициент фильтрации K_{Φ}, см/с</i>	<i>Марка бетона по водонепроницаемости («мокрое пятно»)</i>
Более $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	W2
Более $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$	W4
Более $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	W6
Более $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	W8
Более $6 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$	W10
$6 \cdot 10^{-11}$ и менее	W12

По водонепроницаемости бетон подразделяется на марки W2, W4, W6, W8, W10 и W12, причем марка обозначает давление воды, при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду в условиях стандартного испытания. Водонепроницаемость бетона зависит от его пористости, структуры пор, свойств вяжущих и заполнителей.

Мелкие поры размером менее 10^{-5} см, к которым относятся поры цементного геля, практически непроницаемы для воды. Макропоры и капилляры размером более 10^{-5} см доступны для фильтрации воды. С уменьшением объема капиллярных пор снижается водопроницаемость и одновременно повышается морозостойкость бетона. Для уменьшения водопроницаемости 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 в обычный бетон. Для снижения фильтрации нефтепродуктов в бетонную смесь вводят специальные добавки (хлорное железо и др.). Проницаемость бетона по отношению к воде и нефтепродуктам резко уменьшается, если вместо обычного портландцемента применяют расширяющийся.

6.5.8. Теплофизические свойства бетона

Теплопроводность — наиболее важная теплофизическая характеристика бетона, особенно применяемого в ограждающих конструк-

циях зданий. Теплопроводность бетонов характеризуется количеством теплоты (в джоулях), которое способен передать бетон через 1 м^2 поверхности при разности температуры в 1°C в течение 1 с.

Теплопроводность тяжелого бетона в воздушно-сухом состоянии составляет около $1,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, т.е. она в 2—4 раза больше, чем у легких бетонов (на пористых заполнителях и ячеистых). Высокая теплопроводность является недостатком тяжелого бетона. Многослойные панели наружных стен из тяжелого бетона изготавливают с внутренним слоем утеплителя.

Теплопроводность тяжелого бетона во влажном состоянии, особенно при замораживании, резко возрастает, так как теплопроводность воды составляет $0,58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, т.е. в 25 раз выше теплопроводности воздуха, а теплопроводность льда еще выше и составляет $2,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Теплоемкость тяжелого бетона изменяется в узком диапазоне — $0,75 \dots 0,92 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

6.5.9. Радиационная стойкость бетона

Радиационная стойкость характеризует способность материала сохранять в течение эксплуатации свою структуру и свойства при воздействии радиационных нагрузок. Бетон, применяемый для биологической защиты, должен обладать радиационной стойкостью при действии потока нейтронов и γ -квантов.

Облучение нейтронами влияет на заполнитель бетона. Кристаллические минералы, входящие в состав горных пород, используемых в качестве заполнителей (кварцевый песок, гранит и др.), под влиянием радиации изменяют свою структуру вплоть до полной аморфизации. Это явление сопровождается объемными деформациями, которые вызывают внутренние напряжения, а иногда и растрескивание бетона.

6.6. Разные виды бетона и строительные растворы

6.6.1. Определение состава тяжелого бетона

При расчете состава бетона задается, как минимум, два показателя: удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси и прочность бетона. При этом необходимо правильно выбрать исходные материалы.

Марку цемента выбирают в зависимости от проектной марки бетона по прочности. Чтобы получить бетон с минимальным расходом вяжущего, необходимо соблюдать соотношение $R_{\text{ц}}/R_{\text{б}} = 1,5 \dots 2,5$.

Для расчета состава бетона устанавливают стандартные характеристики применяемых материалов.

Количество воды затворения находят в зависимости от заданной жесткости или подвижности бетонной смеси (см. рис. 6.6).

Вычисляют цементно-водное отношение по следующим формулам:

- для обычного бетона ($\text{Ц}/\text{В} = 1,4 \dots 2,5$) —

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

- для высокопрочного бетона ($\text{Ц}/\text{В} > 2,5$) —

$$\text{Ц}/\text{В} = R_6 / (R_{\text{ц}} A_1 - 0,5).$$

Расход цемента находят, зная количество воды затворения и водоцементное отношение:

$$\text{Ц} = \frac{\text{В}}{\text{В}/\text{Ц}}.$$

Если расход цемента на 1 м^3 бетона окажется меньше допустимого по нормам, то количество его следует увеличить до требуемой нормы, сохранив прежнее значение $\text{В}/\text{Ц}$. Расход воды при этом пересчитывают исходя из увеличенного расхода цемента. Минимальный расход вяжущего для бетонных конструкций — $200 \text{ кг}/\text{м}^3$; для железобетонных — $220 \text{ кг}/\text{м}^3$; для конструкций, работающих в агрессивных средах, — $250 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Расход крупного и мелкого заполнителей определяют из следующих положений:

а) объем плотно уложенного бетона (принимают в расчете равным 1 м^3 , или 1000 дм^3 , без учета воздушных пустот) складывается из объема зерен мелкого и крупного заполнителей и объема цементного теста, заполняющего пустоты между зернами заполнителей. Уравнение, выражающее это положение и называемое уравнением абсолютных объемов, может быть представлено в следующем виде:

$$\text{Ц}/\rho_{\text{ц}} + \text{В}/\rho_{\text{в}} + \text{П}/\rho_{\text{п}} + \text{Щ}/\rho_{\text{щ}} = 1000;$$

б) пустоты между зернами крупного заполнителя должны быть заполнены растворной частью с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки $K_{\text{разд}}$:

$$\text{Ц}/\rho_{\text{ц}} + \text{В}/\rho_{\text{в}} + \text{П}/\rho_{\text{п}} = \text{Щ}/(\rho_{\text{н}} V_{\text{пуст}} K_{\text{разд}}),$$

где Ц , В , П , Щ — расход соответственно цемента, воды, песка и крупного заполнителя (щебня), $\text{кг}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{ц}}$, $\rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{п}}$, $\rho_{\text{щ}}$ — соответственно плотности этих материалов; $\rho_{\text{н}}$ — насыпная плотность крупного заполнителя ($\rho_{\text{н}} = 1$); $V_{\text{пуст}}$ — относительный объем пустот крупного заполнителя; $K_{\text{разд}}$ — коэффициент раздвижки.

Относительный объем пустот крупного заполнителя определяется по формуле

$$V_{\text{пуст}} = 1 - \rho_n / \rho_{\text{шт.}}$$

Коэффициент раздвижки определяется по формуле

$$K_{\text{разд}} = 0,7 + 0,0024(\text{Ц}/(\rho_{\text{ц}} + \text{В})).$$

Решая совместно приведенные ранее два уравнения, получаем формулы для определения расходов ($\text{кг}/\text{м}^3$):

- крупного заполнителя —

$$\text{Щ} = 1000 / ((V_{\text{пуст}} K_{\text{разд}} / \rho_n) + 1 / \rho_{\text{шт}});$$

- песка —

$$\text{П} = (1000 - \text{Ц}/\rho_{\text{ц}} - \text{В}/\rho_{\text{в}} - \text{Щ}/\rho_n) \rho_{\text{п.}}$$

Таким образом, получен расчетный состав бетона в виде расхода ($\text{кг}/\text{м}^3$) компонентов: Ц, В, П, Щ. Он может быть выражен в относительных единицах (по отношению к массе цемента):

$$1 : \text{В}/\text{Ц} : \text{П}/\text{Ц} : \text{Щ}/\text{Ц}.$$

К специальным видам тяжелого бетона, как правило, предъявляются требования не только по удобоукладываемости бетонной смеси и прочности, но и, например, по морозостойкости. При этом сначала определяют расход воды по графику (см. рис. 6.6), затем значение В/Ц по формуле прочности бетона. Состав бетона с требуемой морозостойкостью определяют исходя из максимальных значений В/Ц, допускаемых нормативными документами для данного бетона (например, для бетона F300 рекомендовано В/Ц не выше 0,4; для F200 — до 0,45; для F150 — до 0,5). Дальнейший расход исходных материалов определяют по более низкому значению В/Ц.

На производстве часто применяют при приготовлении бетона влажные заполнители. Количество влаги, содержащейся в заполнителях, должно учитываться при определении действительного расхода воды. В этом случае производят корректировку состава.

Сначала определяют содержание воды в песке ($\text{В}_{\text{п}}$) и щебне ($\text{В}_{\text{щ}}$) по формулам:

$$\text{В}_{\text{п}} = \text{П} j_{\text{п}}; \text{В}_{\text{щ}} = \text{Щ} j_{\text{щ}},$$

где $j_{\text{п}}, j_{\text{щ}}$ — соответственно влажность песка и щебня (гравия).

Затем устанавливают действительный расход воды: $\text{В}_{\text{д}} = \text{В} - \text{В}_{\text{п}} - \text{В}_{\text{щ}}$. Поскольку часть массы влажных заполнителей составляет вода, необходимо увеличить их массу, чтобы обеспечить поступление в бетон полученной расчетом массы твердого материала. Расход песка и щебня увеличивают на массу воды, которая в них содержится, т.е. их расход в производственном составе будет соответственно равен:

$$П_d = П + В_n; Ш_d = Ш + В_{ш}.$$

Расход цемента при данной корректировке состава сохраняется неизменным.

При загрузке цемента и заполнителя в бетоносмеситель их первоначальный объем больше объема получаемой бетонной смеси, так как при перемешивании происходит уплотнение массы: зерна цемента располагаются в пустотах между зернами песка, зерна песка — между зернами щебня. Для оценки объема получаемой бетонной смеси используют так называемый коэффициент выхода бетона β :

$$\beta = 1000 / (Ц/\rho_{ц} + П/\rho_{п} + Ш/\rho_{ш}).$$

Влияние воды при определении коэффициента выхода бетона не учитывают, так как вода сразу же попадает в пустоты твердых материалов и на их первоначальный объем не влияет. Однако при определении коэффициента β для производственного состава используют плотность влажных заполнителей, так как она может заметно отличаться, особенно для песка, от плотности сухих заполнителей. Коэффициент выхода бетона зависит от состава бетона и свойств используемых материалов и колеблется от 0,55 до 0,75.

При расчете расхода материалов на один замес бетоносмесителя принимают, что сумма объемов цемента, песка и щебня (в рыхлом состоянии) соответствует емкости барабана бетоносмесителя. Тогда объем бетона V_3 , получаемый из одного замеса, равен:

$$V_3 = \beta V_{бс},$$

где $V_{бс}$ — емкость бетоносмесителя.

Расход материалов на замес бетоносмесителя определяют с учетом получаемого объема бетона: цемента — $Ц_3 = ЦV_3$; воды — $В_3 = ВV_3$; песка — $П_3 = ПV_3$; щебня — $Ш_3 = ШV_3$.

6.6.2. Определение состава бетона с химическими добавками

С каждым годом расширяется номенклатура добавок, используемых для улучшения свойств бетонной смеси и бетона. Однако это не требует применения для каждого вида добавок особых методов проектирования его состава. Определение состава бетона в этом случае производят на основе единой методики, рассмотренной ранее, с учетом влияния добавок на основные зависимости «состав — свойство», используемые в расчетах. При этом учитывают, что добавки не изменяют характера зависимостей, в частности зависимостей подвижности бетонной смеси от расхода воды и прочности бетона, от активности цемента и цементно-водного отношения, а только изменяют количественное соотношение между разными факторами.

Величина подобных изменений зависит от дозировки добавки и может быть учтена на основе рекомендаций, содержащихся в технических условиях, или инструкции по применению данной добавки либо установлена по результатам предварительных опытов.

На рис. 6.20 показано влияние добавок пластификатора и суперпластификатора на зависимость подвижности бетонной смеси от расхода воды. Введение добавок способствует повышению подвижности смеси, уменьшает расход воды, необходимый для получения равноподвижных смесей, однако основная зависимость $OK = f(W)$ имеет одинаковый характер и в обычном бетоне, и в бетоне с добавками. Изменяются только положение кривой и соответственно получаемые по ней количественные результаты. Если известно, что добавка уменьшает водопотребность бетонной смеси на 10 или 20 %, то можно построить соответствующие кривые и по ним определять расход воды, требуемый для получения заданной подвижности смеси.

При введении комплексных добавок влияние их на водопотребность бетонной смеси можно оценивать по виду и дозировке пластифицирующего компонента. При введении ускорителей твердения ориентировочно считают, что зависимость подвижности смеси от расхода воды в этом случае не изменяется, и расход воды определяют по рекомендациям для обычного бетона без добавки.

В бетонной смеси при расходе цемента 200...450 кг изменение содержания цемента практически так слабо сказывается на изменении водопотребности, что этим влиянием пренебрегают. В этом случае говорят о законе постоянства водопотребности бетонной смеси. Введение пластификаторов и суперпластификаторов не нарушает этой закономерности, но изменяет количественное значение водопотребности и пределы, в которых проявляется эта зависимость (рис. 6.21).

Введение этих добавок не только уменьшает водопотребность бетонной смеси, но и смещает верхний предел в сторону больших расходов цемента, т.е. закон постоянства водопотребности бетонных смесей сохраняется при введении пластификаторов до расхода цемента 500...550 кг/м³, при введении суперпластификатора до 550...600 кг/м³,

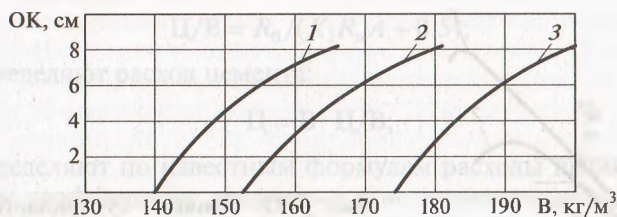


Рис. 6.20. Влияние добавок на водопотребность бетонных смесей:

1 — бетонная смесь с суперпластификатором; 2 — бетонная смесь с добавкой ЛСТ; 3 — бетонная смесь без добавки

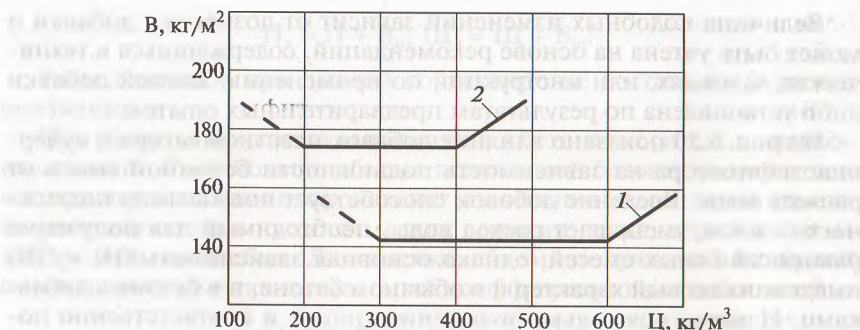


Рис. 6.21. Влияние суперпластификатора на зависимость водопотребности бетонной смеси от расхода цемента:

1 — бетон с суперпластификатором; 2 — бетон без добавки

поэтому при высоких расходах цемента в этом случае не надо вводить дополнительную дозу цемента, которая рекомендована для бетонов без добавок.

Характер зависимости прочности бетона от цементно-водного отношения при применении химических добавок также не изменяется. Введение пластификатора и суперпластификатора может немного изменить положение кривой $R_b = f(C/V)$ по сравнению с кривой для бетона без добавки. Если добавка приводит к дополнительному воздухововлечению в бетонную смесь, то прочность при одном и том же значении C/V немного понижается. Если же добавка способствует получению более плотного цементного камня, то прочность немного повышается, а соответственно кривая $R_b = f(C/V)$ располагается выше кривой для обычного бетона (рис. 6.22).

Положение кривой или значение коэффициентов в формулах прочности бетона может быть установлено в результате предварительных испытаний. При определении состава бетона можно использовать приведенные ранее формулы, а возможные изменения прочности

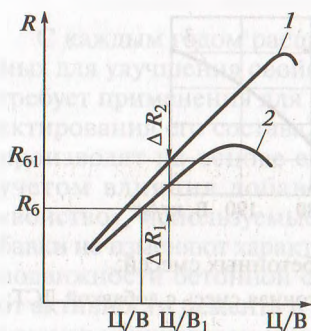


Рис. 6.22. Влияние суперпластификатора на зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения:

1 — бетон с суперпластификатором; 2 — бетон без добавки

бетона — учитывать поправочным коэффициентом $K_2 = R_{\text{доб}}/R_6$. Если добавка не влияет на прочность бетона в возрасте 28 сут, то коэффициент $K_2 = 1$.

Введение пластификаторов и суперпластификаторов расширяет область, в которой наблюдается прямолинейная зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения. Для бетона с пластификаторами изменение прямолинейной зависимости наступает при $\text{Ц/В} > 3,3$, а для бетонов с суперпластификаторами — при $\text{Ц/В} > 4$ (см. рис. 6.22). Это влияние добавок на свойства бетонов при высоких значениях Ц/В позволяет использовать при расчете высокопрочных бетонов формулу

$$R_6 = AR_{\text{ц}}(\text{Ц}/(\text{В} - 0,5)),$$

т.е. производить расчет обычного и высокопрочного бетона по единой формуле прочности.

Если расход цемента при приготовлении бетона остается неизменным, то суммарное влияние добавок пластификатора или суперпластификатора на свойства бетона складывается из влияния их на плотности цементного камня и тем самым на повышение прочности бетона (при постоянном В/Ц), что учитывается коэффициентом K_2 , и из эффекта, достигаемого за счет снижения расхода воды и повышения вследствие этого отношения Ц/В . На рис. 6.22 подобное изменение прочности иллюстрируют отрезки ΔR_1 и ΔR_2 .

Определение состава производят в следующей последовательности:

1) по известным таблицам или графикам для обычного бетона определяют расход воды в зависимости от требуемой подвижности бетонной смеси и затем устанавливают расход воды V_1 для бетона с добавкой:

$$V_1 = K_1 V,$$

где K_1 принимают в соответствии с приведенными ранее рекомендациями;

2) определяют значение Ц/В :

$$\text{Ц/В} = R_6 / (K_2 R_{\text{ц}} A + 0,5);$$

3) определяют расход цемента:

$$\text{Ц} = \text{В} \cdot \text{Ц/В};$$

4) определяют по известным формулам расходы щебня и песка. При этом коэффициент раздвижки при применении пластифицирующих-воздухововлекающих добавок можно принимать на 0,1 ... 0,2 больше, чем для обычного бетона. Это обеспечивает лучшую однородность и связность материала.

Полученный состав бетона проверяют в пробных замесах.

6.6.3. Виды бетона

Высокопрочный бетон. Высокопрочный бетон с $R = 60 \dots 100$ МПа получают на основе высокопрочных заполнителей (например, из диабазы или базальта без содержания слабых зерен, низкой водопотребности) и портландцемента (активностью более 50 МПа с пониженной нормальной густотой), с низким водоцементным отношением бетонной смеси за счет использования суперпластификаторов и комплексных добавок. Малоподвижные и жесткие смеси (с низкими $В/Ц = 0,27 \dots 0,45$) приготавливают в бетоносмесителях принудительного действия (например, турбинных).

Для плотной укладки этих смесей при формировании изделий и конструкций используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование, сильное прессование. Однако при низком отношении $В/Ц$ (ниже 0,4), когда может не хватать воды для гидратации цемента, появляется опасность возникновения внутренней усадки бетона и, как следствие, его растрескивание. Эта усадка получила название аутогенной. Поэтому для высокопрочных бетонов класса В80 и выше применяют так называемый внутренний уход, который подразумевает введение в бетонную смесь компонентов, служащих агентами для последующего ухода.

В качестве таких компонентов используются пуццолановые добавки: микрокремнезем, зола-унос, метакраин, обожженные сланцы, глины и тонкомолотые легкие заполнители. Для предотвращения самоусушки нашли применение полимеры с суперадсорбционной способностью.

В процессе перемешивания бетонной смеси частицы суперадсорбента адсорбируют огромное количество воды и образуют микровключения, содержащие свободную воду. Эта свободная вода используется в процессе гидратации цемента, обеспечивая внутренний уход за твердеющим бетоном.

Значительно облегчают уплотнение супер- и гиперпластификаторы, позволяющие получать литые бетонные смеси и не понижающие прочность бетона. Высокопрочные бетоны являются, как правило, и быстротвердеющими. Однако для ускоренного достижения отпускной прочности бетона в изделиях обычно требуется тепловая обработка, которая может проводиться по сокращенному режиму. Новые особо быстротвердеющие цементы дают возможность обойтись без тепловой обработки, так как бетон достигает нужной прочности в естественных условиях твердения при температуре $20 \dots 25^\circ\text{C}$. Применение высокопрочных бетонов взамен бетона М400 дает возможность уменьшить расход арматурной стали на $10 \dots 20\%$ и сократить объем бетона на $10 \dots 30\%$.

Тяжелый бетон хорошо сопротивляется поверхностному износу, что важно для цементно-бетонных дорог и полов промышленных зданий. Хорошие защитные свойства к воздействию радиоактивных

излучений определяют его широкое применение в конструкциях биологической защиты атомных реакторов.

Бетоны высокой морозостойкости. Бетоны высокой морозостойкости (более F200) применяют для тех частей сооружений, которые находятся в зонах переменного уровня гидротехнических сооружений, конструкциях железобетонных градирен, цементно-бетонных дорог и аэродромов, работающих в суровых климатических условиях.

Морозостойкость зависит от качества исходных материалов, состава бетона и тщательности производства работ, которые и определяют структуру бетона. Рекомендуется применять сульфатостойкий портландцемент. В этом цементе содержится лишь небольшое количество трехкальциевого алюмината (до 5 %), снижающего морозостойкость. В него не вводят минеральные добавки (кроме гипса). Заполнители должны быть чистые: промытый кварцевый песок, щебень из плотных изверженных горных пород с водопоглощением не более 0,5 % (по массе).

Решающее значение на морозостойкость оказывает структура бетона, прежде всего капиллярная пористость. Поэтому важнейшим требованием к составу бетона является ограничение значения В/Ц в зависимости от суровости работы бетона в той или иной зоне сооружения: для бетона с требуемой морозостойкостью F500 рекомендуется принимать значения В/Ц не более 0,4; для F400 — не более 0,45; для F300 — не более 0,5; для F200 — не более 0,55.

Для повышения морозостойкости бетона применяют добавки (суперпластификаторы, гиперпластификаторы, гидрофобизаторы), которые повышают плотность бетона, снижая его капиллярную пористость. Морозостойкость бетона повышают путем применения воздухововлекающих добавок (типа СНВ, СДО), которые создают резервную пористость в объеме 4...6 %, имеющую размер от 0,005 до 0,100 см. Эти поры не заполняются водой при обычном насыщении, но могут заполняться водой под давлением образующегося в порах льда, выполняя роль своеобразного демпфера.

В суровых условиях эксплуатации, например в условиях Крайнего Севера, где летом может быть +40 °С, а зимой –65 °С (перепад температур составляет 105 °С), может появиться внутреннее растрескивание бетона из-за несовместимости температурных деформаций компонентов. Однако термические коэффициенты линейного расширения крупного заполнителя и растворной составляющей можно регулировать путем изменения теплового расширения растворной составляющей при помощи песка. С этой целью используют дробленые пески из различных горных пород, металлургические шлаки и т.д.

Для значительного повышения морозостойкости железобетонных конструкций целесообразно пропитывать бетоны составами, способными полимеризоваться в порах бетона (мономерами типа стирол, метилметакрилат, а также техническими растительными маслами).

Крупнопористый бетон. В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 5...20 мм, портландцемент или шлакопортландцемент и вода. Средняя плотность бетона составляет 1700...1900 кг/м³, прочность 1,5...7,5 МПа и теплопроводность 0,5...0,8 Вт/м · °С. Из крупнопористого бетона возводят наружные стены зданий и изготавливают крупные стеновые блоки. Стены из крупнопористого бетона оштукатуривают с двух сторон, чтобы устранить продувание. При применении в качестве заполнителя керамзитового гравия крупнопористый бетон со средней плотностью 500...700 кг/м³ используется как теплоизоляционный материал.

Бетон, упрочненный волокнами. Армирование бетона, цементных и гипсовых растворов тонкими неорганическими и органическими волокнами (из металла, стекла, пропилена и др.) существенно улучшает прочностные и деформативные характеристики материала, повышает сопротивление образованию трещин. Например, использование коротких стальных волокон для дисперсного армирования цементных бетонов увеличивает прочность на растяжение в 2—3 раза, на изгиб — в 4—5 раз, на сжатие — в 1,5—2 раза, ударную прочность — в 10 и более раз, сопротивление истиранию — в 2 раза.

Дисперсно-армированный бетон (фибробетон) представляет собой композиционный материал, упрочненный волокнами. В нем высокая прочность на растяжение и пластичность матрицы (бетона) сочетаются с высокомодульным волокном, обладающим высокой прочностью на разрыв.

Эффективность армирования короткими волокнами зависит от ориентации волокон к действию растягивающих усилий и при перпендикулярной ориентации составляет 40...50 %, а при объемно-произвольной — лишь около 20 % по отношению к параллельной ориентации. Волокна препятствуют развитию усадочных трещин, их наличие повышает прочность сцепления стержневой арматуры с бетоном примерно на 40 %. 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.). Фибробетон стремятся использовать в сборных и монолитных конструкциях, работающих на растяжение и изгиб и воспринимающих ударные, знакопеременные и вибрационные нагрузки. Имеется опыт применения дисперсно-армированного бетона в бетонных трубах, плитах-оболочках, в конструкциях туннелей, покрытиях дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов и др.

Высококачественный бетон. В международной строительной практике появилась концепция получения высококачественных бетонов, в которых одновременно сочетаются высокая прочность бето-

нов (60... 120 МПа и выше), морозостойкость (более F400), водонепроницаемость (свыше $W = 12$), истираемость (менее 0,4 г/см²) и т. п. Интенсивная технология высококачественных бетонов основывается на управлении структурообразованием бетона на всех стадиях его производства, включая механохимическую активацию. Для этого используются высококачественные вяжущие вещества, модификаторы структуры и свойств бетонов, активные дисперсные наполнители, расширяющие добавки. Высококачественные бетоны нашли применение в суровых условиях эксплуатации, например при изготовлении платформ для добычи нефти в северных морских месторождениях, при строительстве мостов с рекордной длиной и т. п.

Дорожный бетон и бетонные покрытия. 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 в полочном барабане; 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 F200; в умеренном — F150; в мягком — F100. Чтобы получить морозостойкий бетон, применяют портландцемент М500 с содержанием трехкальциевого алюмината не более 10 %, гидrofобный и пластифицированный портландцемент, а водоцементное отношение бетона ограничивают пределом 0,50... 0,55.

Бетон оснований дорожных покрытий изготавливают на портландцементе М300 и М400 и шлакопортландцементе. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее чем через 2 ч, поскольку дорожный бетон нередко приходится перевозить на большие расстояния. Бетонные покрытия полов промышленных зданий могут быть монолитными и сборными. Бетон для пола должен хорошо сопротивляться действию истирания. При прочности бетона выше величины, называемой порогом выкрашивания и равной 30... 40 МПа, зерна заполнителя почти не выкрашиваются и основным фактором, влияющим на истираемость, в этом случае является твердость заполнителя.

Используют твердые заполнители из гранитов, диоритов и других изверженных горных пород. Искусственные заполнители повышенной вязкости и износостойкости получают путем переплавки некоторых горных пород, а также из металлургических шлаков. Для повышения плотности и износостойкости верхнего слоя покрытия втрамбовывают в свежеложенный бетон порошок, приготовленный

из твердых материалов: корунда, карборунда и т. п. Износостойкость бетонного пола сильно возрастает при покрытии его, например, эпоксидными полимерами, которые защищают бетон одновременно и от химической коррозии.

Малощебеночный бетон. Во многих регионах наблюдается нехватка кондиционного щебня и гравия для тяжелых бетонов. Частично восполнить дефицит крупного заполнителя можно путем использования бетонов с пониженным содержанием дорогостоящего привозного щебня и гравия (менее 1200 кг на 1 м³) — так называемых малощебеночных бетонов. Однако снижение крупного заполнителя в равноподвижных смесях приводит к снижению предельного напряжения сдвига и вязкости бетонной смеси. Поэтому для одинаковых условий уплотнения бетонных смесей малощебеночные бетонные смеси могут быть более жесткими, а следовательно, и расход цемента в них будет пониженный.

На рис. 6.23 приведен график зависимости структурной вязкости η бетонной смеси от доли песка r в смеси заполнителей, которую можно разделить на три характерных зоны: *I* — 0,39 ... 0,5; *II* — 0,5 ... 0,7; *III* — более 0,7. В первой зоне на снижение структурной вязкости влияет главным образом раздвижка зерен крупного заполнителя растворной составляющей, что резко снижает эффект стесненного потока. В третьей зоне наблюдается увеличение структурной вязкости благодаря опережающему возрастанию суммарной поверхности зерен заполнителя и, как следствие, уменьшению толщины обмазки заполнителя цементным тестом. Вторая зона характеризуется тем, что крупный заполнитель оказывает незначительное влияние на стеснение потока, а возрастание суммарной поверхности еще не отражается на структурной вязкости бетонной смеси.

Следовательно, оптимальная доля песка в смеси заполнителей в малощебеночных бетонах должна находиться в пределах 0,5 ... 0,7 (около 700 ... 1000 кг на 1 м³).

Бетон литой консистенции. Для приготовления литых бетонных смесей необходим большой расход воды затворения, что требует особого внимания по предупреждению возможности расслоения бетонной смеси. Для этого используют цементы с высокой водоудерживающей способностью (быстросхватывающиеся с повышенной тонкостью помола и оптимальной гранулометрией), эффективные пластифицирующие, воздухововлекающие и водоудерживающие добавки (суперпластификаторы, дисперсные наполнители, микрокремнезем, зола, органоминеральные добавки), а также бетонные смеси с повышенной долей песка в смеси заполнителей и водоцементным отношением цементного теста в бетонной смеси *W*, не превышающим водоудерживающую способность цемента.

Литые бетонные смеси эффективно применять при бетонировании густоармированных конструкций, так как они способствуют значительному сокращению трудоемкости и сроков изготовления.

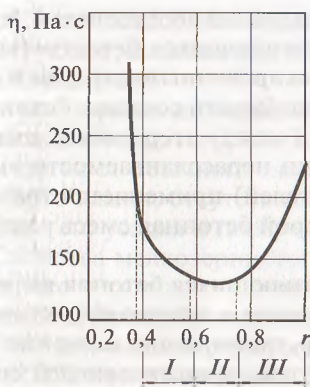


Рис. 6.23. График зависимости структурной вязкости η бетонной смеси от доли песка r в смеси заполнителей

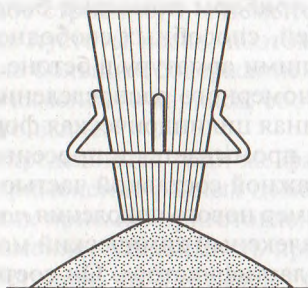


Рис. 6.24. Определение подвижности самоуплотняющихся бетонов по расплыву конуса

Самоуплотняющийся бетон. Самоуплотняющийся бетон представляет собой материал, который способен уплотняться под действием собственного веса, полностью заполняя форму даже в густоармированных конструкциях.

Получение самоуплотняющихся бетонов возможно при соблюдении следующих условий:

- применение мультифракционного заполнителя для получения высокопрочного бетона;
- введение микро- и ультрадисперсного наполнителя для повышения прочности, коррозионной и трещиностойкости материала;
- управление свойствами высокоподвижных бетонных смесей путем использования новых видов химических модификаторов.

Преимущества самоуплотняющегося бетона: отсутствие необходимости дополнительного уплотнения бетонной смеси, отсутствие расслоения смеси при укладке, отсутствие шума и вибрации, продление срока службы форм и опалубок, сокращение времени формирования, возможность формирования конструкций любой геометрической формы и получения высококачественной гладкой наружной поверхности изделий.

Оценка свойств бетонной смеси для самоуплотняющегося бетона отличается от традиционной. Подвижность определяется не только по осадке стандартного конуса (конус Абрамса), но и по расплыву. В этом случае конус рекомендуется устанавливать на лист металла в виде воронки (переворачивать). Заполнение смесью производится в один прием, без штыкования. После снятия конуса смесь должна расплыться в виде ровной лепешки диаметром не менее 60 см. По краю лепешки не должно быть водоотделения (рис. 6.24).

В настоящее время выпускается специальное оборудование, предназначенное для диагностики самоуплотняющихся бетонов (конус Хегерманна, ящик Каджима, конус с блокировочным кольцом и др.). Эти приборы помогают более точно подбирать составы бетонных смесей, способных свободно протекать между стержнями, имитирующими арматуру в бетоне. Для оценки нерасслаиваемости смеси (равномерного распределения заполнителей) применяется трехсекционная цилиндрическая форма, в которой бетонная смесь разделяется, промывается и просеивается.

Важной составной частью самоуплотняющихся бетонов является полимер нового поколения *поликарбоксилат* — высокоэффективный комплексный химический модификатор, получивший название «гиперпластификатор». Он состоит из основы, представляющей собой полимерную цепь поликарбоксилатов, образованную α - и β -ненасыщенными карбоновыми кислотами (кислотные группы COO^-), и боковых цепей (зубьев) — полиэфирных групп.

Действие гиперпластификатора основано на совокупности электростатического и пространственного эффектов, заключающихся в том, что поликарбоксилаты адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд. В результате этого цементные зерна взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор, а также минеральные составляющие. Чем длиннее цепи, которые создают молекулы гиперпластификатора, тем интенсивнее это отталкивание. Эффективность пластификации становится более высокой, а ее действие продлевается при постоянном перемешивании. Длительность пластификационного эффекта поликарбоксилатов, как минимум, в 3—4 раза больше, чем при применении обычных суперпластификаторов, за счет большой длины молекул поликарбоксилатов.

Бетонная смесь для самоуплотняющегося бетона характеризуется низким водоцементным отношением (0,28...0,40), при этом достигая очень высоких показателей удобоукладываемости и прочности. Характерный состав самоуплотняющегося бетона (кг/м^3) следующий: портландцемент — 530; наполнитель зола — 70; мелкий заполнитель — 751; крупный заполнитель — 789; вода — 175; добавки гиперпластификатора — 9. Осадка конуса — 26...28 см; распыл конуса — 70 см; прочность бетона — около 100 МПа.

Самоуплотняющийся бетон находит все более широкое применение. Перспективно его использование прежде всего для производства конструкций из сборного и монолитного железобетона, работающих в суровых условиях эксплуатации (например, при строительстве нефтяных платформ на морских шельфах, для возведения мостов большой протяженности, реставрации и усиления конструкций, в густоармированных конструкциях и т. д.).

Мелкозернистый бетон. Мелкозернистый бетон применяют при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных, конструк-

ций. Его целесообразно использовать и для обычных железобетонных конструкций, когда на месте нет крупного заполнителя, а ввозить его далеко и дорого.

Мелкозернистый бетон имеет слитное строение, т.е. цементного теста хватает для того, чтобы заполнить пустоты песка, поэтому он отличается от обычного тяжелого бетона большим содержанием цементного камня, отсутствием жесткого каменного каркаса; соответственно его усадка и ползучесть немного выше.

Свойства мелкозернистого бетона определяются теми же факторами, что и тяжелого бетона. Однако применение разных цементов и песков и разнообразие технологических приемов приготовления и уплотнения мелкозернистого бетона изменяет зависимость прямой $R_6 = f(C/V)$ по сравнению с обычным бетоном, что учитывают соответствующими коэффициентами в формуле прочности бетона:

$$R_6 = AR_{ц}(C/((B + V_{вв}) - 0,8)),$$

где B, C — соответственно расход воды и цемента, кг на 1 м^3 , $V_{вв}$ — объем воздухововлечения, дм^3 ; A — эмпирический коэффициент (для материалов высокого качества $A = 0,8$; для среднего качества $A = 0,75$; для низкого качества $A = 0,65$).

Мелкозернистый бетон обладает повышенной прочностью при изгибе, водонепроницаемостью и морозостойкостью. Поэтому его можно использовать для дорожных покрытий в районах, где нет хорошего щебня, для труб и гидротехнических сооружений.

Бетон для защиты от радиоактивных излучений. Данный вид бетона применяют при сооружении атомных электростанций, предприятий по выработке и переработке изотопов и т.д. Он является особо тяжелым бетоном, одновременно служащим для биологической защиты. Из всех радиоактивных излучений учитывают практически γ -излучение и нейтроны, так как заряженные α - и β -частицы имеют пробег в бетоне, не превышающий нескольких миллиметров.

Защитные свойства бетона определяются в основном плотностью и содержанием связанной воды, являющейся замедлителем нейтронов. Бетоны для биологической защиты изготавливают с применением портландцемента, шлакопортландцемента и глиноземистого цемента. В качестве заполнителей используют тяжелые природные или искусственные материалы: железные руды (магнетит, гематит, лимонит); чугунный и стальной скрап; чугунные шарики, дробь; барит. Для повышения защитных свойств бетона в него вводят добавки веществ, содержащих бор, литий, которые хорошо поглощают нейтроны.

Средняя плотность таких бетонов находится в пределах $3\,000 \dots 5\,000 \text{ кг/м}^3$, а прочность составляет $10 \dots 40 \text{ МПа}$.

Жаростойкий бетон. При воздействии высокой температуры на бетон на основе портландцемента происходит разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, в результате чего образуется

свободный оксид кальция. Он опасен тем, что при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкие бетоны на основе портландцемента вводят материалы, содержащие активный кремнезем, который реагирует с CaO при температуре $700 \dots 900^\circ\text{C}$ и в результате реакций, происходящих в твердом состоянии, связывает оксид кальция.

В качестве добавок применяют пемзу, золу, доменный гранулированный шлак, шамот. В качестве мелкого и крупного заполнителя применяют огнеупорные материалы: шамот, бой огнеупорного магнезитового кирпича, хромит и т.п. Наряду с портландцементом используют глиноземистый цемент, растворимое стекло и специальный периклазовый цемент. Жаростойкие бетоны, используемые для дымовых труб и футеровок печей, подразделяются на следующие группы: высокоогнеупорные (с огнестойкостью выше 1700°C); огнеупорные (с огнестойкостью $1580 \dots 1770^\circ\text{C}$); жароупорные (с огнестойкостью ниже 1580°C). Марки жаростойких бетонов — от 15 до 70 МПа.

Кислотоупорный и щелочестойкий бетон. Вязущим для кислотоупорного бетона является растворимое стекло, представляющее собой силикат натрия или калия; применяется оно в виде водного коллоидного раствора с плотностью 1,4. Наполнителем служат кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабазы и т.п. В качестве отвердителя используют кремнефтористый натрий, в качестве заполнителя — кварцевый песок, щебень из гранита, кварцита, андезита и других стойких пород.

Характерный расход компонентов ($\text{кг}/\text{м}^3$) кислотоупорного бетона следующий: растворимого стекла — 300; кремнефтористого натрия — 40; наполнителя — 360; песка — 600; щебня — 1 000. После виброукладки бетон выдерживают не менее 10 дней на воздухе при температуре $15 \dots 20^\circ\text{C}$. После отверждения поверхность смачивают раствором серной или соляной кислоты. Кислотоупорный бетон применяют, как правило, для футеровок железобетонных или металлических конструкций.

Щелочестойкие бетоны должны иметь повышенную плотность и изготавливаются на основе низкоалюминатных портландцементов, на заполнителях с низким содержанием кремнезема (диоксид кремния), особенно аморфного кремнезема (опаловидные кварцевые каменные материалы) с минимальным содержанием в заполнителях глинистых примесей, содержащих в своем составе алюмосиликаты и алюминаты.

Гидротехнический бетон. Гидротехнический бетон отличается повышенной плотностью, прочностью (свыше 30 МПа), водонепроницаемостью (свыше W6), морозостойкостью (свыше F20) и стойкостью к агрессивной водной среде. Так как он применяется для массивных сооружений, важнейшим требованием к нему является низкое тепловыделение.

Гидротехнический бетон подразделяется на три основных вида:

- бетон для наружных частей гидросооружения. К этому бетону предъявляются наиболее жесткие требования по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости. В качестве вяжущего применяют низкоалюминатные портландцементы в сочетании с пластифицирующими и гидрофобными добавками;

- бетон для внутренней части массивных конструкций гидросооружений. Он должен обладать низким тепловыделением с применением шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента и т.п. Прочность такого бетона — около 15 МПа, водонепроницаемость — W2, W4;

- бетон для подводной части конструкции гидросооружения. Он изготавливается из портландцементов с активными минеральными добавками, которые связывают гидроксид кальция в малорастворимые соединения (во избежание химической коррозии под воздействием растворимых в воде веществ).

Арболит. Арболит изготавливают на основе цементного вяжущего, органического заполнителя и химических добавок. В качестве органических заполнителей используют измельченные отходы лесозаготовок и деревообработки, а также костру льна, конопля, рисовую солому и стебли хлопчатника. Размеры частиц заполнителя не должны превышать по длине 40 мм, по ширине — 10 мм, по толщине — 5 мм. Они не должны содержать примеси коры, хвои, листьев.

Для предотвращения гниения и биоповреждения заполнителей, выделения ими веществ, вредных для твердения цемента, используют следующие добавки: хлористый кальций, жидкое стекло, серноокислый глинозем, фуриловый спирт и другие, которые образуют пленки на поверхности органических частиц и препятствуют протеканию деструктивных процессов. Для регулирования пористости бетона вводят пенообразующие и воздухововлекающие добавки; для повышения стойкости и морозостойкости арболита вводят гидрофобизирующие добавки, а также ингибирующие добавки для защиты арматуры от коррозии.

Прочность арболита определяют на образцах-кубах размером $15 \times 15 \times 15$ см, выдержанных в течение 28 сут при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60...80 %. Средняя плотность арболита составляет 400...700 кг/м³.

Из арболита изготавливают стеновые блоки, панели, плиты для возведения малоэтажных жилых, промышленных и сельскохозяйственных зданий.

Декоративный бетон. Декоративный бетон изготавливают с применением белого и цветных цементов и специальных заполнителей, что позволяет не только получать цветные бетоны, но и придавать бетону вид различных природных каменных материалов.

Для получения цветных бетонов применяют белые и цветные цементы и различные минеральные или органические пигменты.

Пигменты, используемые в цветных бетонах, должны обладать высокой светостойкостью, атмосферостойкостью и щелочестойкостью. Наиболее часто используют минеральные пигменты, являющиеся оксидами или солями различных металлов, которые вводят в количестве 1...5 % от массы цемента (в зависимости от их укрывистости, плотности и красящей способности). В цветных бетонах используют чистые кварцевые пески светлых оттенков без примесей частиц из окислов железа. В качестве крупных заполнителей применяют светлый известняк или доломит, а также отходы камнедробления: пески и щебень из мрамора, высевки гранита, туфа и т. п. Чтобы избежать расслоения цветных бетонов и равномерного распределения окраски, используют воздухововлекающие добавки, а также вводят в небольших количествах тонкие фракции жирной извести, тонкомолотого известняка и т. п.

Для декоративных бетонов, имитирующих природные камни, применяют специальные приемы, позволяющие обнажить заполнитель и выявить структуру бетона. Для получения декоративного бетона помимо цемента и соответствующих пигментов и добавок используют мелкие и крупные фракции горной породы в виде гранита, мрамора, базальта, слюды и т. п. Для выявления структуры бетона его поверхность подвергают шлифовке и полировке. Применяют также обработку поверхности бучардой или пневматическим молотком, пескоструйную обработку, обнажение заполнителей путем использования специальных замедлителей твердения поверхностного слоя, который затем легко смывается водяной струей высокого давления либо удаляется жесткими щетками или пескоструйной обработкой. Для повышения срока службы декоративных бетонов применяют флюатирование, гидрофобизацию, пропитку поверхности полимером.

Декоративные бетоны применяются для ограждающих конструкций общественных и жилых зданий, декоративных плит наружных и внутренних стен зданий, лестничных маршей, элементов фасада, в деталях малых архитектурных форм, для барельефов и скульптур.

6.6.4. Строительные растворы

Для строительных растворов применяют портландцемент и шлакопортландцемент. Принимают марку цемента в 3—4 раза выше марки раствора. Воздушную известь в виде известкового теста вводят в смеситель при изготовлении растворной смеси; реже используют молотую негашеную известь. Строительный гипс входит в состав гипсовых и известково-гипсовых растворов.

Пески применяют природные (кварцевые, полевошпатовые), а также искусственные дробленые — из плотных горных пород и из пористых пород и искусственных материалов (пемзовые, керамзито-

вые, перлитовые и т. п.). Пористые пески служат для приготовления легких растворов. Если песок содержит крупные включения (комья глины и др.), то его просеивают. Для кирпичной кладки применяют растворы на песках с зернами крупностью не более 2 мм. Для растворов прочностью 10 МПа и выше пески должны удовлетворять тем же требованиям в отношении содержания вредных примесей, что и пески для изготовления бетона. Для растворов прочностью 5 МПа и ниже допускается содержание пылевидных частиц (проходящих через сито с размером отверстий 0,14 мм) до 20 % по массе.

Чаще всего растворные смеси укладывают тонким слоем на пористое основание, способное отсасывать воду (кирпич, бетоны легкие, ячеистые и т. п.). Чтобы сохранить удобоукладываемость растворных смесей при укладке на пористое основание, в них вводят неорганические и органические пластифицирующие добавки, повышающие способность растворной смеси удерживать воду.

Неорганические дисперсные добавки состоят из мелких частиц, хорошо удерживающих воду (известь, глина, зола ТЭС, диатомит, молотый доменный шлак и т. п.). Глина, используемая в качестве пластифицирующей добавки, не должна содержать органических примесей и легкорастворимых солей, вызывающих появление выцветов на фасадах зданий. Глину вводят в растворную смесь в виде жидкого теста.

Органические поверхностно-активные пластифицирующие и воздухововлекающие добавки (смыленный древесный пек, канифольное мыло, мылонафт, ЛСТ и др.) вводят в количестве 0,1 ... 0,3 % от массы вяжущего. Они не только улучшают удобоукладываемость растворных смесей, но и повышают морозостойкость, снижают водопоглощение и усадку раствора.

В растворы, применяемые для зимней кладки и штукатурки, добавляют ускорители твердения, понижающие температуру замерзания растворной смеси: хлористый кальций, поташ, хлористый натрий, хлорную известь и др.

Удобоукладываемость — это свойство растворной смеси легко укладываться плотным и тонким слоем на пористое основание и не расслаиваться при хранении, перевозке и перекачивании растворонасосами. Она зависит от подвижности и водоудерживающей способности смеси.

Подвижность растворных смесей характеризуется глубиной погружения металлического конуса стандартного прибора (массой 300 г). Подвижность назначают в зависимости от вида раствора и отсасывающей способности основания. Для кирпичной кладки подвижность растворов составляет 9 ... 13 см, для заполнения швов между панелями и другими сборными элементами — 4 ... 6 см, а для вибрированной бутовой кладки — 1 ... 3 см.

Подвижность определяется на специальном приборе (рис. 6.25).

Основная часть прибора для определения подвижности — эталонный стальной конус 2 высотой 145 мм, диаметром основания 75 мм

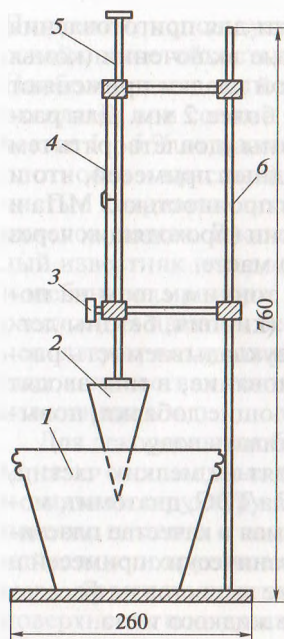


Рис. 6.25. Прибор для определения подвижности растворной смеси:

1 — сосуд; 2 — конус; 3 — винт; 4 — шкала; 5 — стержень; 6 — штатив

и массой (300 ± 2) г. В центре основания конуса закреплен стержень 5, свободно перемещающийся во втулках штатива 6. Винтом 3 конус можно закрепить на требуемой высоте. К штативу прикреплена шкала 4, по которой фиксируется перемещение конуса.

Среднюю пробу растворной смеси объемом не менее 3 дм^3 перед испытанием интенсивно перемешивают в течение 30 с и переносят в стальной сосуд 1 в форме усеченного конуса высотой 180 мм, диаметром верхнего основания 250 мм, нижнего — 150 мм. Сосуд наполняют смесью на 1 см ниже его краев. Смесью в сосуде штыкуют 25 раз стальным стержнем диаметром 12 мм, длиной 300 мм и встряхивают сосуд 5—6 раз легким

постукиванием о стол. Поверхность конуса 2 очищают от загрязнений и протирают влажной тканью.

Затем сосуд с растворной смесью устанавливают на плиту прибора так, чтобы острие конуса 2 попало в центр верхнего основания сосуда 1. Затем конус опускают до соприкосновения с растворной смесью, закрепляют стопорный винт 3 и снимают первый отсчет по шкале. После этого быстро отпускают стопорный винт и дают конусу свободно погружаться в раствор. По окончании погружения снимают второй отсчет по шкале.

Глубину погружения конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определенных глубины погружения конуса на разных пробах растворной смеси. Разница в показаниях при этом не должна превышать 20 мм. По результатам испытаний определяют марку по подвижности P_{II} .

Водоудерживающая способность — это свойство растворной смеси сохранять воду при укладке ее на пористое основание, что необходимо для сохранения подвижности смеси, предотвращения расслоения и хорошего сцепления раствора с пористым основанием (кирпичом и т. п.). Этот показатель растворной смеси оценивают по количеству воды, отсасываемой из пробы растворной смеси промокательной (фильтровальной) бумагой на специальном приборе (рис. 6.26, а).

Перед испытанием 10 листов промокательной бумаги размером 150×150 мм взвешивают (m_1) с погрешностью до 0,1 г, укладывают на стеклянную пластину такого же размера и накрывают марлевой тканью размером 250×350 мм. Сверху на ткань устанавливают стальное кольцо (рис. 6.26, б) и все устройство взвешивают (m_3). Затем тщательно перемешанную растворную смесь укладывают в металлическое кольцо 1 вровень с краями и взвешивают (m_4). Через 10 мин металлическое кольцо с растворной смесью вместе с тканью осторожно снимают с промокательной бумаги 3. Бумагу взвешивают (m_2) с погрешностью до 0,1 г.

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют по снижению относительного содержания воды в пробе ΔB , %, в ходе испытания (10 мин) по формуле

$$\Delta B = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} 100.$$

Водоудерживающую способность растворной смеси определяют дважды для каждой пробы растворной смеси и вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся не более чем на 20 % от меньшего значения.

Водоудерживающую способность увеличивают путем введения в растворную смесь неорганических дисперсных добавок и органиче-

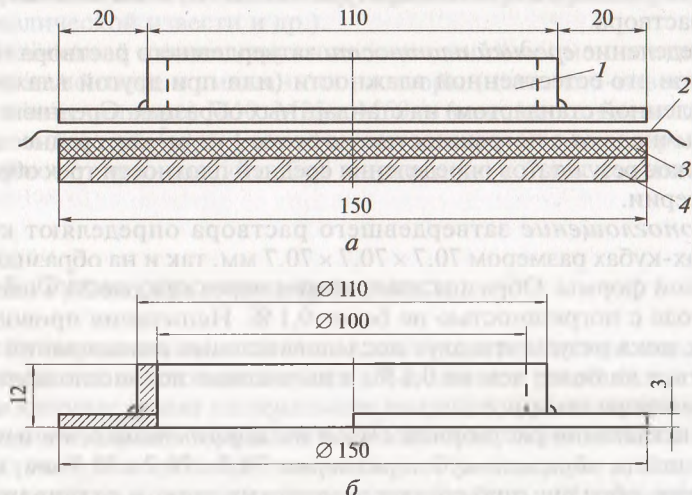


Рис. 6.26. Приспособление для определения водоудерживающей способности растворной смеси:

a — схема сборки приспособления; 1 — кольцо с растворной смесью; 2 — марлевая ткань; 3 — десять слоев промокательной бумаги; 4 — стеклянная пластинка; *б* — металлическое кольцо для раствора

ских пластификаторов. Смесь с этими добавками отдает воду пористому основанию постепенно, при этом он становится плотнее, хорошо сцепляется с кирпичом, отчего кладка становится прочнее.

Удобоукладываемую растворную смесь получают, если правильно назначен зерновой состав ее твердых составляющих, определяемый соотношением песка, вяжущего и дисперсной добавки. Тесто вяжущего заполняет пустоты между зернами песка и равномерно покрывает песчинки тонким слоем, уменьшая внутреннее трение. С удобоукладываемой растворной смесью удобно работать (каменщики говорят: «мягкая и не тянется за кельмой»), в результате повышается производительность труда. От удобоукладываемости растворной смеси зависит качество каменной кладки. Правильно подобранная растворная смесь заполняет неровности, трещины, углубления в кирпиче или камне, поэтому получается большая площадь контакта между раствором и кирпичом (камнем), в результате прочность и монолитность кладки возрастает. Увеличивается и долговечность наружных стен.

Для определения *влажности раствора* образцы после их испытания на сжатие дробят до крупности отдельных кусков не более 5 мм, перемешивают и отбирают усредненную пробу массой 100...150 г. Пробу помещают в стеклянный сосуд, взвешивают с погрешностью не более 0,5 % и в сосуде переносят в сушильный шкаф. Пробу высушивают до постоянной массы при температуре 105...110 °С (для гипсовых растворов при температуре 45...55 °С) и вычисляют влажность раствора.

Определение *средней плотности* затвердевшего раствора производят при его естественной влажности (или при другой влажности, установленной стандартом) на стандартных образцах. Среднюю плотность вычисляют с погрешностью не более 1 кг/м³ как среднее арифметическое результатов определения средней плотности трех образцов одной серии.

Водопоглощение затвердевшего раствора определяют как на образцах-кубах размером 70,7 × 70,7 × 70,7 мм, так и на образцах произвольной формы. Образцы взвешивают через каждые 24 ч насыщения в воде с погрешностью не более 0,1 %. Испытания проводят до тех пор, пока результаты двух последовательных взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,1 %, и вычисляют водопоглощение образца раствора по массе.

Для испытания растворной смеси на *морозостойкость* изготавливают шесть образцов-кубов размером 70,7 × 70,7 × 70,7 мм, из которых три образца подвергают замораживанию и оттаиванию, а остальные служат контрольными. Образцы, подлежащие замораживанию, насыщают водой в течение 48 ч и помещают в холодильную камеру при температуре -16...-20 °С. После каждого пяти циклов испытаний производят контрольный осмотр образцов и результаты заносят в журнал. Если поверхность двух из трех образцов имеет

видимые разрушения, то испытания на морозостойкость прекращают, либо количество циклов замораживания и оттаивания осуществляют, пока потеря массы образцов не достигнет 5 %.

После окончания испытаний образцов на морозостойкость определяют их *прочность на сжатие*. Контрольные образцы испытывают на сжатие перед началом испытания основных образцов на морозостойкость, предварительно насытив их водой в течение 48 ч. У образцов, прошедших испытания на морозостойкость и имеющих повреждения граней, перед испытанием на прочность поврежденные грани выравнивают быстротвердеющим составом слоем толщиной не более 2 мм. Допустимая потеря прочности образцов на сжатие после испытания на морозостойкость — не более 25 %, а потеря массы — не более 5 %.

Прочность при сжатии определяют испытанием образцов-кубов с длиной ребра 7,07 см в возрасте, установленном в стандарте или технических условиях на данный вид раствора. Изготовление образцов из растворной смеси подвижностью менее 5 см производят в обычных формах с поддоном, а из растворной смеси подвижностью 5 см и более — в формах без поддона, установленных на отсасывающем основании — кирпиче, покрытом газетной бумагой, смоченной водой.

Марки строительных растворов по прочности в 28-суточном возрасте при сжатии: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200. Растворы М4 и М10 изготавливают на местных вяжущих (воздушной и гидравлической извести и др.).

Для каменной кладки наружных стен зданий применяют главным образом цементные и смешанные растворы (цементно-известковые и цементно-глиняные) М10, М25 и М50 (в зависимости от влажностных условий и требуемой долговечности здания). В кладке перемычек, простенков, карнизов, столбов марка может быть повышена до М100.

6.6.5. Сухие строительные смеси

Сухие строительные смеси — это мелкозернистые тщательно перемешанные композиции сухих компонентов рационального состава, в которые входят минеральные вяжущие, фракционированные заполнители строго определенного качества, тонкоизмельченные минеральные наполнители, химические и полимерные добавки.

Сухие строительные смеси находят все большее применение в строительстве для монтажных и отделочных работ, для санирования и ремонта зданий.

По назначению сухие смеси подразделяются:

- на монтажные для замоноличивания стыков и монтажа классов по прочности В7,5; В10; В12,5; В15; В22,5, морозостойкостью F50 и F75;

- кладочные цементно-песчаные классов по прочности В5; В7,5; В10; В15, морозостойкостью F35 и F50;
- штукатурные цементно-песчаные и цементно-известково-песчаные для ручной и механизированной подачи классов по прочности В5; В7,5; В10, В15, морозостойкостью F35 и F50;
- плиточные цементно-песчаные классов по прочности В7,5; В10; В15, морозостойкостью F35 и F50;
- шпаклевочные для выравнивания поверхностей под окраску, оклейку обоями.

В качестве вяжущих материалов при производстве сухих бетонных смесей используют портландцемент марок М400 и М500, известково-пушонку, гипс строительный полуводный. Заполнителем является кварцевый песок.

Осуществляется выпуск специальных строительных смесей, к которым относятся минеральные и органоминеральные клеи, теплоизоляционные и гидроизоляционные составы, смеси для устройства защитной штукатурки от радиации и других воздействий. Такие смеси характеризуются наличием в своем составе специфических компонентов, придающих им соответствующие свойства. Например, в состав теплоизоляционной сухой смеси входит вспученный перлитовый песок или другие пористые заполнители и порообразователи.

Сухие строительные смеси на основе гипсовых вяжущих наибольшее распространение получили как штукатурные и шпаклевочные смеси, эффективность которых обязана ряду уникальных свойств гипсовых вяжущих. К ним относятся: возможность регулирования сроков схватывания в широком диапазоне; достаточная прочность и твердость затвердевшего материала и быстрота их достижения; низкая теплопроводность и хорошая звукоизолирующая способность; высокая паропроницаемость; высокая огнестойкость; экологическая чистота.

Для изготовления готовых сухих гипсосодержащих смесей для наружных работ используют гипсоцементно-пуццолановые вяжущие (ГЦПВ), композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) низкой водопотребности.

6.7. Легкие бетоны

6.7.1. Легкий бетон на пористых заполнителях

Для легкого бетона используют быстротвердеющий и обычный портландцементы, а также шлакопортландцемент. Применяют в основном неорганические пористые заполнители. Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных

легких бетонов используют и органические заполнители, приготовленные из древесины, стеблей хлопчатника, костры, гранулы пенополистирола (стиропорбетон) и др.

Неорганические пористые заполнители отличаются большим разнообразием: их подразделяют на природные и искусственные.

Природные пористые заполнители получают путем частичного дробления и рассева или только рассева горных пород (пемзы, вулканического туфа, известняка-ракушечника и др.).

Искусственные пористые заполнители являются продуктами термической обработки минерального сырья и подразделяются на специально изготовленные (керамзит, аглопорит, шунгизит, вспученный перлит, трепельный гравий и т. д.) и побочные продукты промышленности (топливные шлаки и золы, отвалы металлургические шлаки и др.).

Сочетание показателей средней плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для легких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что требует слитного размещения зерен заполнителя в объеме бетона. В этом случае в бетоне будет содержаться меньше цементного камня, являющегося самой тяжелой частью легкого бетона. Наибольшее насыщение бетона пористым заполнителем возможно только при правильном подборе зернового состава смеси мелкого и крупного пористых заполнителей, а также при использовании технологических факторов (интенсивного уплотнения, пластификаторов и др.).

Прочность при сжатии легких бетонов изменяется в значительных пределах — от 2,5 до 30 МПа и выше.

Наиболее важной характеристикой легкого бетона наряду с прочностью является средняя плотность. В зависимости от средней плотности и назначения легкие бетоны подразделяются на следующие группы:

- 1) теплоизоляционные со средней плотностью до 500 кг/м^3 ;
- 2) конструктивно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций — наружных стен, покрытий зданий — со средней плотностью $500 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$;
- 3) конструкционные со средней плотностью $1400 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$.

По морозостойкости легкие бетоны подразделяются на марки: F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500. Для наружных стен обычно применяют бетоны морозостойкостью не менее 15...25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

По структуре различают плотные или обычные легкие бетоны, в которых раствор на тяжелом или легком песке полностью заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя (обычно с некоторой раздвижкой его зерен); поризованные легкие бетоны, в которых растворную часть вспучивают с помощью пено- или газообразующих добавок; крупнопористые легкие бетоны, в которых не содержится песок и сохраняются межзерновые пустоты. В строительстве исполь-

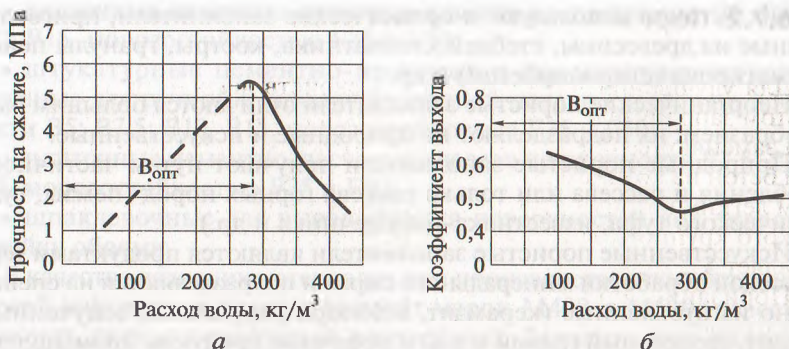


Рис. 6.27. Графики зависимостей прочности легкого бетона (а) и коэффициента выхода бетона (б) от расхода воды:

$V_{\text{опт}}$ — оптимальное количество воды затворения

зуют главным образом легкие бетоны с крупностью пористого заполнителя до 20...40 мм, однако применяют и мелкозернистые легкие бетоны.

Состав бетона на пористых заполнителях определяется расчетно-экспериментальным путем. При проектировании состава легкого бетона необходимо наряду с прочностью бетона и удобоукладываемостью бетонной смеси обеспечить и заданную его среднюю плотность.

В отличие от обычного бетона на плотных заполнителях оптимальное количество воды затворения определяют экспериментально. Метод определения основан на зависимости прочности легкого бетона и коэффициента выхода от расхода воды (рис. 6.27).

Коэффициент выхода вычисляют по формуле

$$\beta = V_{\text{б.с.}} / (V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{ш}}),$$

где $V_{\text{б.с.}}$, $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{п}}$, $V_{\text{ш}}$ — объемы соответственно бетонной смеси, цемента, песка, щебня.

Кривая зависимости прочности от расхода воды имеет две ветви. Левая (восходящая) ветвь показывает, что прочность бетона при повышении расхода воды постепенно возрастает. Это объясняется увеличением удобоукладываемости бетонной смеси и плотности бетона для принятого способа уплотнения.

Правая (нисходящая) ветвь кривой свидетельствует о том, что после достижения наибольшего уплотнения смеси (т.е. минимального коэффициента выхода) увеличение расхода воды приводит к возрастанию объема пор, образованных несвязанной цементной водой, и понижению прочности бетона. В легком бетоне отчетливо проявляется вредное влияние как недостатка, так и избытка воды затворения.

6.7.2. Поризованный легкий бетон

Для улучшения теплофизических свойств легкого бетона на пористом заполнителе применяют поризацию растворной части бетона или заменяют ее поризованным цементным камнем, т. е. готовят легкий бетон на крупном пористом заполнителе без песка. К поризованным легким бетонам относятся бетоны, содержащие более $800 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ легкого крупного заполнителя, у которых объем воздушных пор составляет 5...25 %.

Поризацию таких бетонов осуществляют либо предварительно приготовленной пеной, либо за счет введения газообразующих или воздухововлекающих добавок. Пеной поризуют только беспесчаные смеси; воздухововлекающими добавками — только смеси с песком; газообразующими добавками — смеси с песком и без песка. В зависимости от используемого заполнителя и способа поризации бетоны получают названия: «керамзитопенобетон», «керамзитогазобетон», «керамзитобетон с воздухововлекающей добавкой».

Прочность поризованного бетона может составлять 5...10 МПа, а плотность — $700 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$. Прочность и плотность бетона зависят от его структуры. Как правило, обжиговые пористые материалы (керамзит и др.) при одной и той же плотности имеют более высокую прочность, чем пористый раствор. Поэтому максимальное насыщение поризованного легкого бетона керамзитом ($0,90 \dots 1,15 \text{ м}^3/\text{м}^3$) способствует повышению его прочности или понижению расхода цемента.

Крупнопористый бетон на пористом заполнителе (керамзитовом гравии и т. п.) имеет небольшую среднюю плотность ($500 \dots 700 \text{ кг/м}^3$) и используется как теплоизоляционный материал.

6.7.3. Ячеистый бетон

Ячеистый бетон является разновидностью легкого бетона. Его получают в результате затвердевания вспученной при помощи пенообразователя смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. При вспучивании исходной смеси образуется характерная ячеистая структура бетона с равномерно распределенными по объему воздушными порами. Благодаря этому ячеистый бетон имеет небольшую среднюю плотность и малую теплопроводность.

Пористость ячеистого бетона легко регулировать в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной средней плотности и назначения. Ячеистые бетоны подразделяются на три группы:

- теплоизоляционные со средней плотностью в высушенном состоянии не более 500 кг/м^3 ;
- конструктивно-теплоизоляционные (для ограждающих конструкций) со средней плотности $500 \dots 900 \text{ кг/м}^3$;

- конструкционные (для железобетона) со средней плотностью 900...1200 кг/м³.

Вязущим для цементных ячеистых бетонов обычно служит портландцемент. Бесцементные ячеистые бетоны (газо- и пеносиликат) автоклавного твердения изготавливают, применяя молотую негашеную известь. Вязущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим диоксид кремния.

Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, зола-унос ТЭС и молотый гранулированный доменный шлак) уменьшает расход вяжущего, усадку бетона и повышает качество ячеистого бетона. Кварцевый песок обычно размалывают мокрым способом и применяют в виде песчаного шлама. Измельчение увеличивает удельную поверхность кремнеземистого компонента и повышает его химическую активность.

Встречается тонкодисперсный природный кварц — маршаллит с частицами крупностью 0,01 ... 0,06 мм.

Вспучивание теста вяжущего может осуществляться двумя способами:

- 1) химическим, при котором в тесто вяжущего вводят газообразующую добавку и в смеси происходят химические реакции, сопровождающиеся выделением газа;

- 2) механическим, при котором тесто вяжущего смешивают с отдельно приготовленной устойчивой пеной.

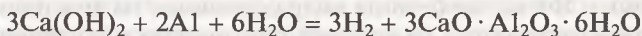
В зависимости от способа изготовления ячеистые бетоны подразделяются на газобетон и пенобетон. У нас в стране и за рубежом развивается производство преимущественно газобетона.

6.7.4. Газобетон

Газобетон приготавливают из смеси портландцемента (часто с добавкой воздушной извести или едкого натра), кремнеземистого компонента и газообразователя.

По типу химических реакций газообразователи подразделяются на следующие виды: вступающие в химическое взаимодействие с вяжущим или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра); разлагающиеся с выделением газа (пергидроль H_2O_2); взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (например, молотый известняк и соляная кислота).

Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидратом оксида кальция, выделяет водород:



Алюминиевую пудру вводят в виде суспензии. Для придания пудре гидрофильных свойств ее обрабатывают водным раствором поверхностно-активного вещества (ЛСТ, канифольного мыла и др.).

Литьевая технология предусматривает отливку изделий, как правило, в отдельных формах из текучих смесей, содержащих до 50...60 % воды от массы сухих компонентов (водотвердое отношение $V/T = 0,5 \dots 0,6$).

При изготовлении газобетона применяемые материалы (вяжущее, песчаный шлам и воду) дозируют и подают в самоходный газобетоносмеситель, в котором их перемешивают в течение 4...5 мин. Затем в приготовленную смесь вливают водную суспензию алюминиевой пудры и после последующего перемешивания теста с алюминиевой пудрой газобетонную смесь заливают в металлические формы на определенную высоту с таким расчетом, чтобы после вспучивания формы были заполнены доверху.

Избыток смеси («горбушку») после схватывания срезают проводочными струнами. Для ускорения газообразования, а также процессов схватывания и твердения применяют «горячие» смеси на подогретой воде с температурой в момент заливки в формы около 40 °С.

Вибрационная технология газобетона заключается в том, что во время перемешивания в смесителе и вспучивания в форме смесь подвергают вибрации. Тиксотропное разжижение, происходящее вследствие ослабления связей между частицами, позволяет уменьшить количество воды затворения на 25...30 % без ухудшения удобоформуемости смеси.

В смеси, подвергающейся вибрированию, ускоряется газовыделение — вспучивание заканчивается через 5...7 мин вместо 15...20 мин при литьевой технологии. После прекращения вибрирования газобетонная смесь быстро (через 0,5...1,5 ч) приобретает структурную прочность, позволяющую разрезать изделие на блоки; время автоклавной обработки также сокращается.

6.7.5. Пенобетон

Пенобетон приготавливают, смешивая отдельно приготовленные растворную смесь и пену, образующую воздушные ячейки. Растворную смесь получают из вяжущего (цемента или воздушной извести) кремнеземистого компонента и воды, как и при приготовлении газобетона.

Пену приготавливают в лопастных пеновзбивателях или центробежных насосах из водного раствора пенообразователей, содержащих поверхностно-активные вещества. Применяют гидролизованную кровь (ГК), клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтенный и синтетические пенообразователи. Стабилизаторами пены служат добавки раствора животного клея, жидкого стекла или сернокислого железа; минерализаторами же являются цемент и известь.

6.8. Автоклавные бетоны

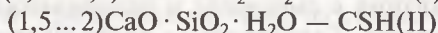
Производство автоклавных строительных материалов базируется на гидротермальном синтезе гидросиликатов кальция, который осуществляется в автоклаве в среде насыщенного водяного пара при давлении 0,8 ... 1,3 МПа и температуре 175 ... 200 °С.

Силикатные автоклавные материалы — это бесцементные материалы и изделия (силикатные бетоны, силикатный кирпич, камни, блоки), приготовленные из сырьевой смеси, содержащей известь (гашеную или молотую негашеную), кварцевый песок и воду, которые образуют в процессе автоклавной обработки гидросиликаты кальция:



В условиях автоклавной обработки можно получить различные гидросиликаты кальция в зависимости от состава исходной смеси:

- тоберморит $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$;
- слабо закристаллизованные гидросиликаты —



В высокоизвестковых смесях синтезируется гиллебрандит



Автоклав представляет собой горизонтально расположенный стальной цилиндр с герметически закрывающимися с торцов крыш-

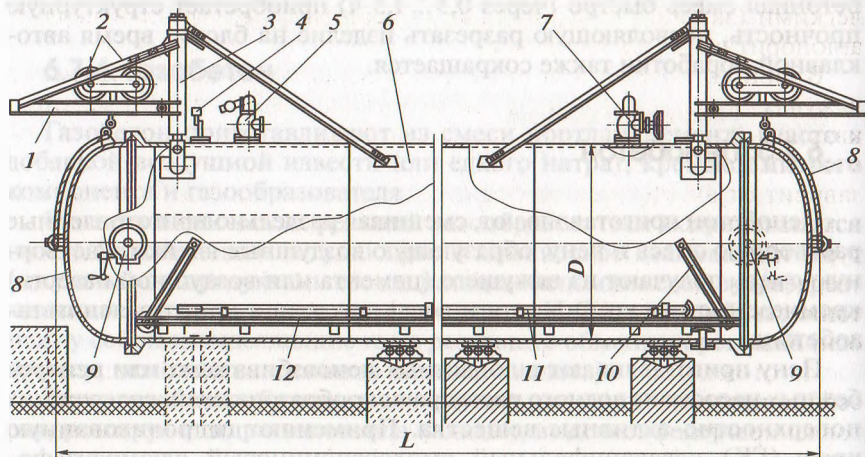


Рис. 6.28. Автоклав:

1 — кронштейн; 2 — тележка; 3 — стойка; 4 — манометр; 5 — предохранительный клапан; 6 — металлический цилиндр; 7 — штуцер с краном; 8 — крышка; 9 — лебедка; 10 — рельсовый мостик; 11 — паропровод; 12 — рельсы

ками (рис. 6.28). Диаметр автоклава — 2,6...3,6 м, длина — 21...30 м. Автоклав снабжен манометром, показывающим давление пара, и предохранительным клапаном, автоматически открывающимся при повышении давления выше предельного. В нижней части автоклава уложены рельсы, по которым передвигаются загруженные в автоклав вагонетки с изделиями. Автоклав оборудован устройствами для автоматического контроля и управления режимом автоклавной обработки. Для уменьшения теплопотерь автоклав покрыт слоем теплоизоляции.

При автоклавной обработке происходит взаимодействие двух процессов: структурообразования, обусловленного образованием гидросиликатов кальция, и деструктивного, обусловленного внутренними напряжениями.

Для снижения внутренних напряжений автоклавную обработку проводят по определенному режиму, включающему в себя постепенный подъем давления пара в течение 1,5...2,0 ч, изотермическую выдержку изделий в автоклаве при температуре 175...200 °С и давлении 0,8...1,3 МПа в течение 4...8 ч и снижение давления пара в течение 2...4 ч. После автоклавной обработки продолжительностью 8...14 ч получают силикатные бетоны и силикатный кирпич.

6.8.1. Силикатные бетоны

Силикатные бетоны, как и цементные, могут быть тяжелыми (заполнитель — песок и щебень или песок и песчано-гравийная смесь), легкими (заполнители пористые — керамзит, вспученный перлит, аглопорит и др.) и ячеистыми.

В силикатном бетоне применяют известково-кремнеземистое вяжущее, в состав которого входят воздушная известь и тонкомолотый кварцевый песок (взамен песка применяют золу ТЭС, молотый доменный шлак). Прочность известково-кремнеземистого вяжущего зависит от активности извести, соотношения CaO/SiO_2 , тонкости измельчения песка и параметров автоклавной обработки (температуры и давления насыщенного пара, длительности автоклавного твердения). Оптимальным будет такое соотношение CaO/SiO_2 и такая тонкость помола песка, при которых вся CaO будет связана в низкоосновные гидросиликаты кальция.

Изготовление бетонных и железобетонных изделий включает в себя приготовление известково-кремнеземистого вяжущего, приготовление и гомогенизацию силикатно-бетонной смеси, формование изделий, автоклавную обработку. В процессе автоклавизации между всеми компонентами бетона происходят химические взаимодействия. Заполнитель (особенно кварцевый песок) участвует в синтезе новообразований, подвергаясь изменениям на глубину до 15 мкм. Тяжелый силикатный бетон со средней плотностью 1800...2500 кг/м³ с мар-

ками по прочности 150...800 применяют для изготовления сборных бетонных и железобетонных конструкций, в том числе предварительно-напряженных.

6.8.2. Силикатный кирпич

Силикатный кирпич изготавливают из жесткой смеси кварцевого песка (92...94 %), извести (6...8 %, считая на активную CaO) и воды (7...9 %) путем прессования под давлением 15...20 МПа) и последующего твердения в автоклаве.

Цвет силикатного кирпича светло-серый, но он может быть любого цвета (путем введения в состав смеси щелочестойких пигментов). Выпускают кирпич двух видов: одинарный размером $250 \times 120 \times 65$ мм и модульный размером $250 \times 120 \times 88$ мм. Модульный кирпич изготавливают с пустотами, чтобы масса одного кирпича не превышала 4,3 кг.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич имеет марки: 100, 125, 150, 200 и 250.

Средняя плотность силикатного кирпича (без пустот) — около 1900 кг/м^3 , т.е. он немного тяжелее обыкновенного глиняного кирпича. Водопоглощение лицевого силикатного кирпича не превышает 14 %, а рядового — 16 %. Марки по морозостойкости для лицевого кирпича: Мрз25, Мрз35, Мрз50; для рядового — Мрз15.

Силикатный кирпич, как и глиняный, применяют для несущих стен зданий.

Не рекомендуется его применять для цоколей зданий из-за недостаточной водостойкости. Для кладки труб и печей силикатный кирпич не используют, так как при высокой температуре дегидратируется Ca(OH)_2 , разлагаются CaCO_3 и гидросиликаты кальция, а зерна кварцевого песка при 600°C расширяются и вызывают растрескивание кирпича.

На производство силикатного кирпича расходуется меньше теплоты, поскольку не требуется сушка и высокотемпературный обжиг, поэтому он дешевле глиняного кирпича.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте требования к мелкому и крупному заполнителям для бетонов.
2. Как определяется водопотребность мелкого и крупного заполнителей?
3. Назовите методы определения подвижности и жесткости бетонных смесей.
4. Назовите факторы, определяющие удобоукладываемость бетонных смесей.

5. Назовите виды пор в цементном камне и перечислите факторы, от которых они зависят.
6. Объясните физический смысл основного закона прочности бетона.
7. Как зависит прочность бетона от главных факторов?
8. Сформулируйте понятие о деформативных свойствах бетонов.
9. Назовите основные виды коррозии бетонов и меры борьбы с ней.
10. Назовите основные причины коррозии арматуры в бетоне и меры борьбы с ней.
11. Назовите отличительные особенности определения состава бетона с поверхностно-активными веществами.
12. Как определяются подвижность, водоудерживающая способность, водопоглощение и морозостойкость строительных растворов?
13. В чем особенность метода определения количества воды затворения для легких бетонов на пористых заполнителях?
14. Какие материалы применяются для ячеистых бетонов?
15. Чем отличается газобетон от газосиликата, газобетон от пенобетона?

ЖЕЛЕЗОБЕТОН

7.1. Общие сведения

Железобетон представляет собой строительный материал, состоящий из бетона и стальной арматуры. Создание такого материала обусловлено тем, что бетон хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется растяжению, а стальная арматура хорошо работает на растяжение.

Совместной работе бетона и стальной арматуры в железобетоне способствуют хорошее сцепление между бетоном и стальной арматурой и близость коэффициентов линейного температурного расширения. Кроме того, бетон хорошо защищает арматуру от коррозии.

Железобетонные конструкции подразделяются на монолитные и сборные. Монолитные железобетонные конструкции бетонируют на месте строительства. Сборные железобетонные конструкции монтируют на строительстве из отдельных элементов, изготовленных в заводских условиях.

Широко применяются в строительстве конструкции из предварительно-напряженного железобетона. В обычном железобетоне под действием эксплуатационных нагрузок возможно образование трещин вследствие низкой предельной растяжимости бетона. Этот существенный недостаток обычного железобетона ограничивает применение его в конструкциях, в которых по условиям эксплуатации недопустимо появление трещин (например, в трубах, резервуарах, изгибаемых и растягиваемых элементах конструкций, работающих в коррозионных средах). В предварительно-напряженных железобетонных конструкциях создается предварительное сжатие бетона за счет натяжения арматуры. После приложения эксплуатационных нагрузок напряжения от предварительного сжатия суммируются с напряжениями, вызванными нагрузкой. При этом в бетоне или не возникают растягивающие напряжения, или значение их не превышает предела прочности бетона на растяжение.

Предварительное сжатие бетона посредством натяжения арматуры достигается следующими способами:

а) сначала натягивают арматуру, а затем приступают к бетонированию;

б) арматуру натягивают после затвердевания бетона.

7.2. Сборный железобетон

7.2.1. Номенклатура и способы производства железобетонных изделий

В гражданском и промышленном строительстве применяются следующие железобетонные изделия: фундаменты, сваи, шпунты, балки фундаментные, колонны, ригели, балки и фермы покрытий, плиты перекрытий, стеновые панели, вентиляционные блоки и сантехнические кабины, лестничные марши, площадки, балконные плиты, перемычки.

К железобетонным изделиям специального назначения относятся элементы тоннелей и каналов, резервуары, силосы, конструкции для сооружения водоводов, трубы, опоры ЛЭП и линий связи, шпалы, элементы мостов, путепроводов, эстакад, набережных.

Малоэтажное строительство ориентируется на применение мелкоштучных изделий, которые отличаются незначительной массой и простотой монтажа.

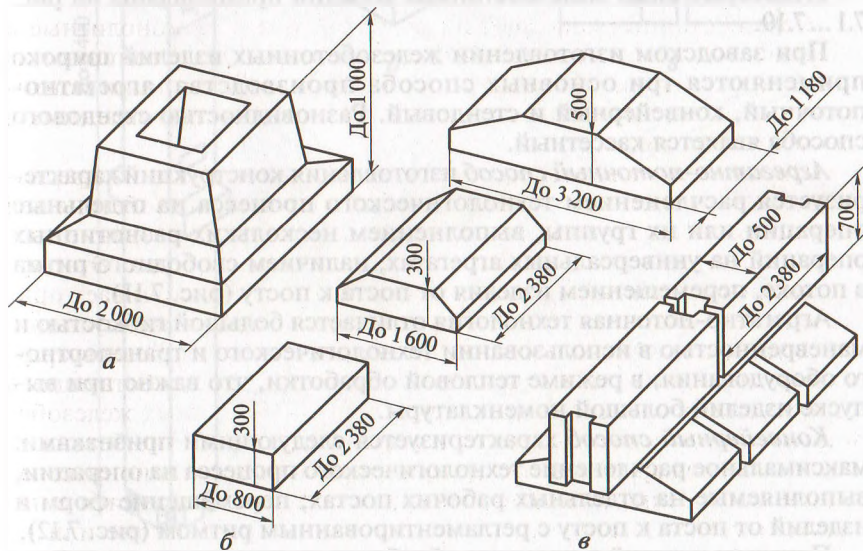


Рис. 7.1. Фундаменты и стены подвалов:

а — фундамент под колонны; б — подушки ленточного фундамента стен; в — блоки стен подвалов

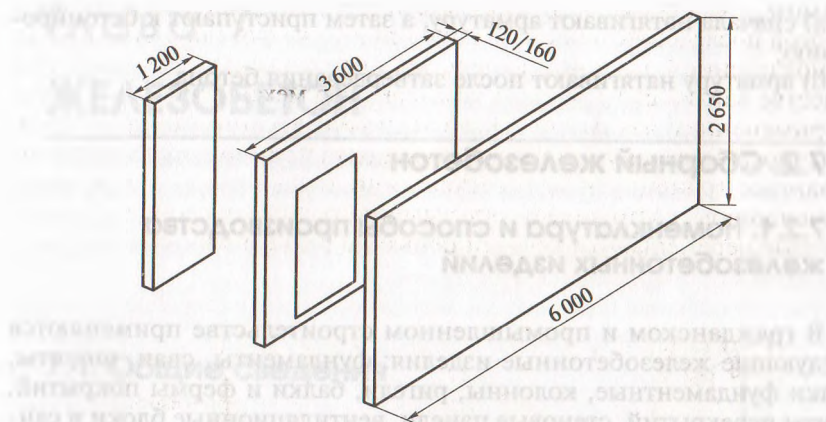


Рис. 7.2. Панели наружных и внутренних стен жилых зданий

В кровлях малоэтажных зданий находит применение цементно-песчаная черепица.

При строительстве дорог и для благоустройства участков застройки широко применяют мелкоштучные изделия из мелкозернистого бетона.

Некоторые виды железобетонных изделий представлены на рис. 7.1 ... 7.10.

При заводском изготовлении железобетонных изделий широко применяются три основных способа производства: агрегатно-поточный, конвейерный и стендовый. Разновидностью стендового способа является кассетный.

Агрегатно-поточный способ изготовления конструкций характеризуется расчленением технологического процесса на отдельные операции или их группы, выполнением нескольких разнотипных операций на универсальных агрегатах, наличием свободного ритма в потоке, перемещением изделия от поста к посту (рис. 7.11).

Агрегатно-поточная технология отличается большой гибкостью и маневренностью в использовании технологического и транспортно-го оборудования, в режиме тепловой обработки, что важно при выпуске изделий большой номенклатуры.

Конвейерный способ характеризуется следующими признаками: максимальное расчленение технологического процесса на операции, выполняемые на отдельных рабочих постах; перемещение форм и изделий от поста к посту с регламентированным ритмом (рис. 7.12).

Передача изделий в процессе обработки производится конвейерным устройством пульсирующего действия автоматически; при этом создаются условия более полной синхронизации. Конвейерный способ организации производства характеризуется принудительным

ритмом, т. е. перемещение формируемых изделий осуществляется в строгой последовательности через одни и те же формовочные посты, с определенной заданной скоростью передвижения. Это требует в качестве важнейшего условия комплексную механизацию операции с применением автоматического технологического оборудования. Обычно для межоперационного транспорта применяются механизированные транспортные средства линейного типа — тележечные транспортеры, состоящие из определенного числа поддонов-тележек, которые перемещаются тяговой цепью по рельсовым путям.

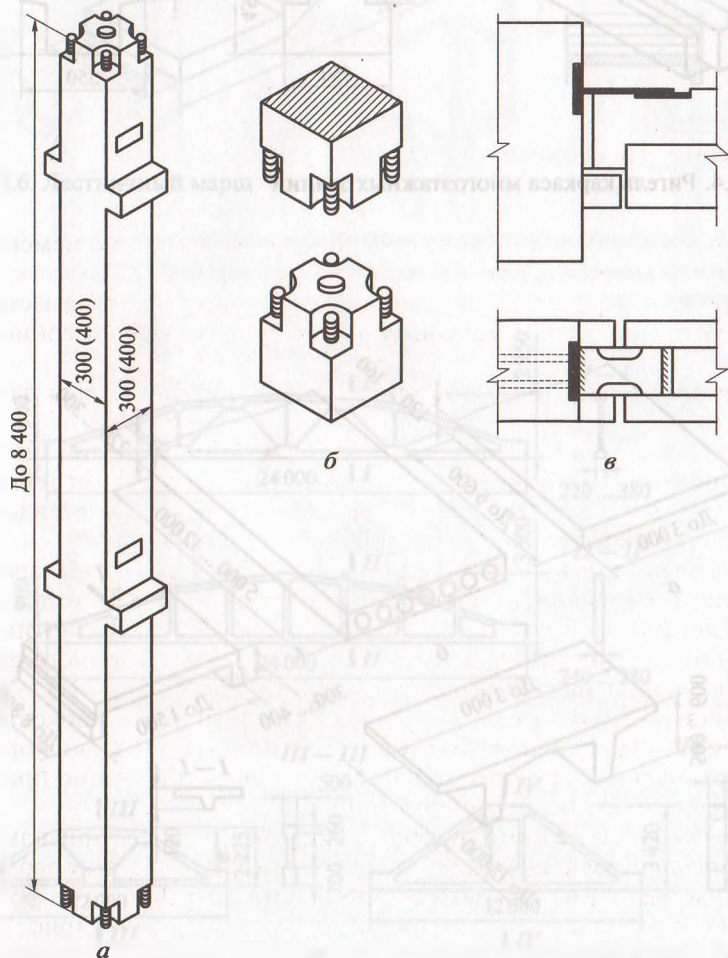


Рис. 7.3. Колонна каркаса многоэтажных зданий:

a — общий вид; *б* — стык элементов; *в* — стык колонны с ригелем

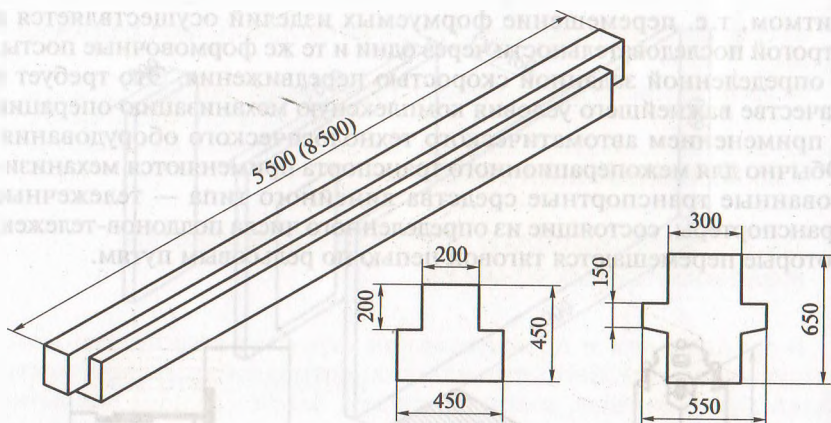


Рис. 7.4. Ригель каркаса многоэтажных зданий

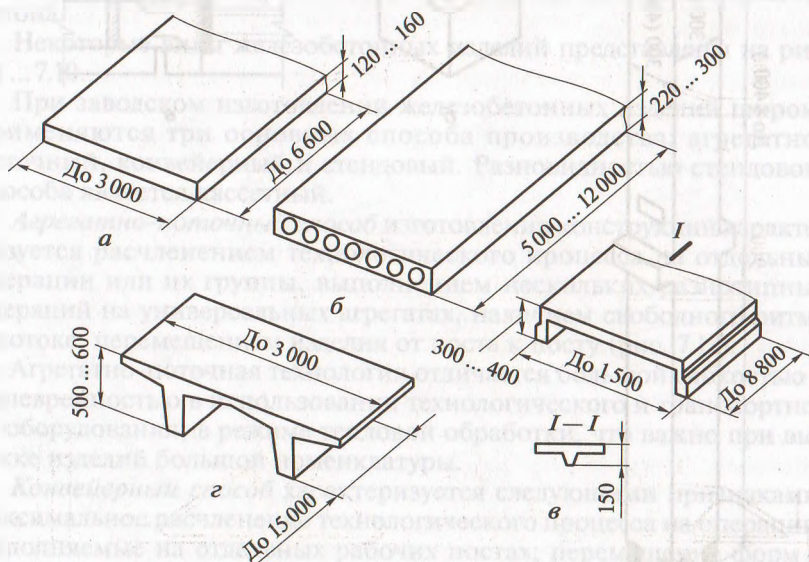


Рис. 7.5. Плиты перекрытий многоэтажных зданий:

а — плита сплошного сечения; *б* — многопустотная плита; *в* — ребристая плита; *г* — плита 2Т

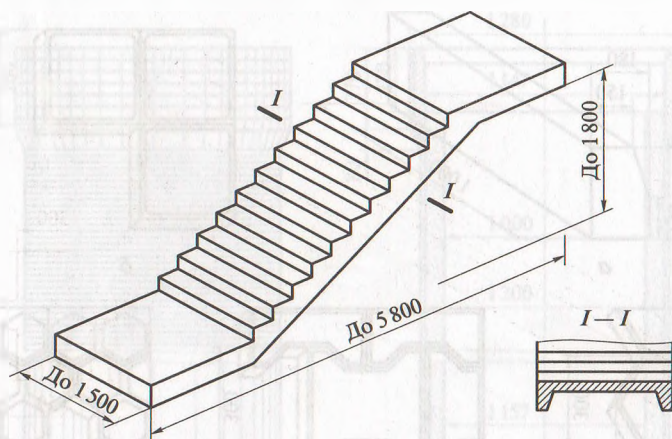


Рис. 7.6. Лестничный марш

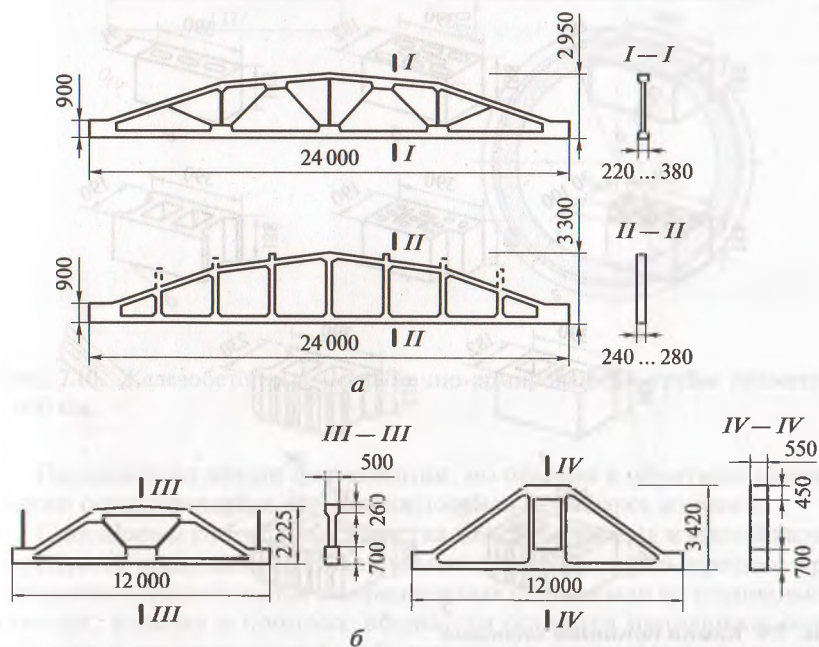


Рис. 7.7. Стропильные (а) и подстропильные (б) фермы

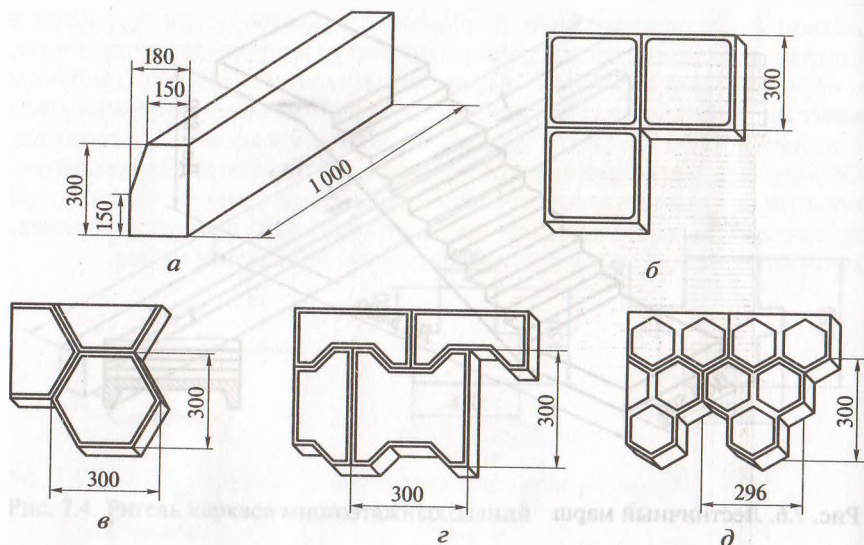


Рис. 7.8. Дорожные и тротуарные элементы мощения:

a — бортовой камень; *b* — плитка «квадрат»; *в* — шестигранник; *г* — «катушка»; *д* — «трилистник»

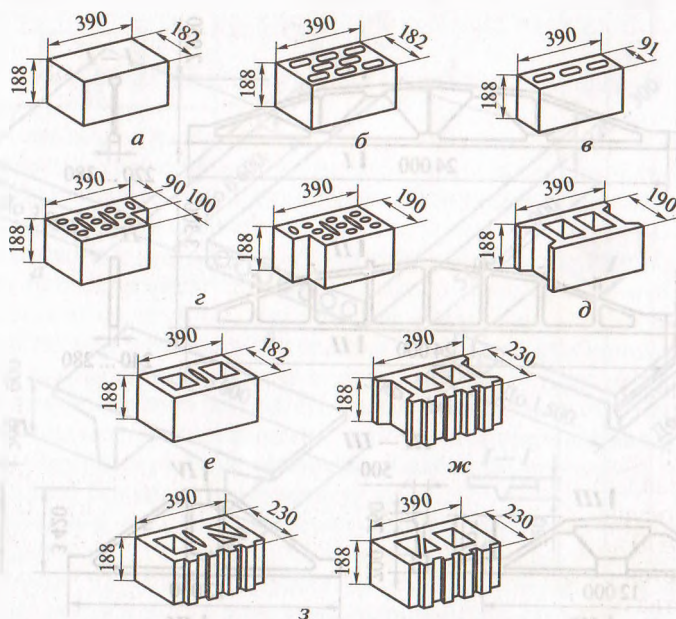


Рис. 7.9. Камни бетонные стеновые:

a — полнотелый; *б* — восьмищелевой; *в* — продольная половинка; *г* — с четвертью; *д* — рядовой с декоративной поверхностью; *е* — углубкой с декоративной поверхностью; *ж* — декоративный рядовой фигурный; *з* — декоративные угловые фигуры

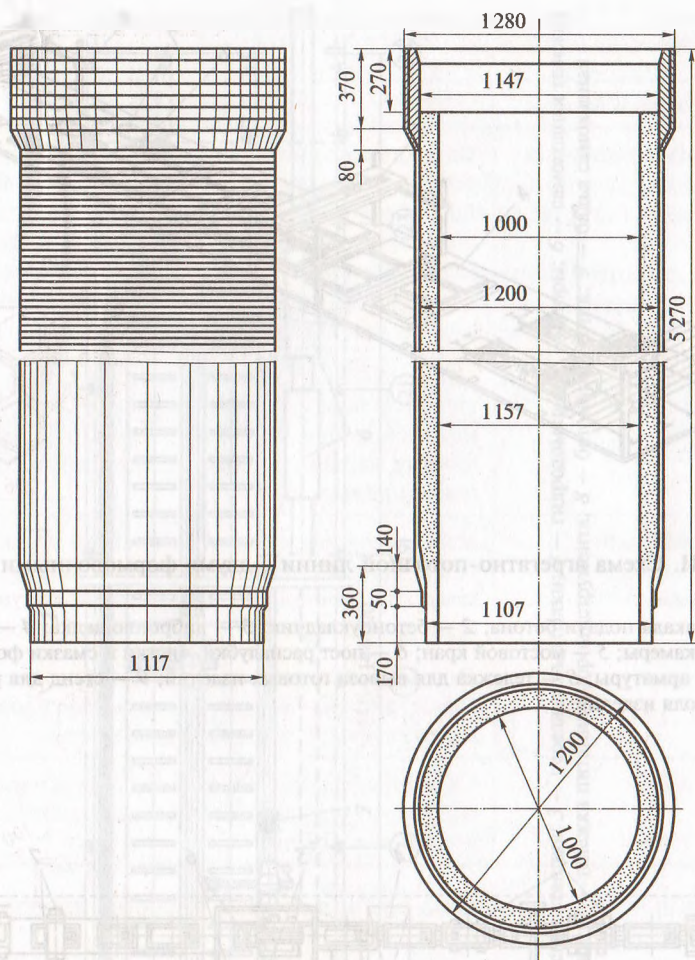


Рис. 7.10. Железобетонные напряженно-армированные трубы диаметром 1000 мм

Параллельно линии формования, но обычно в обратном направлении осуществляется термовлажностная обработка изделий.

Стеновой способ производства железобетонных изделий характеризуется следующими основными признаками: весь процесс производства осуществляется в неподвижных формах или на специальных стендах; изделия в процессе обработки остаются неподвижными, а рабочее и технологическое оборудование перемещается от одной формы к другой; за каждым стендом или формой закрепляется одно или несколько технологически однотипных изделий (рис. 7.13).

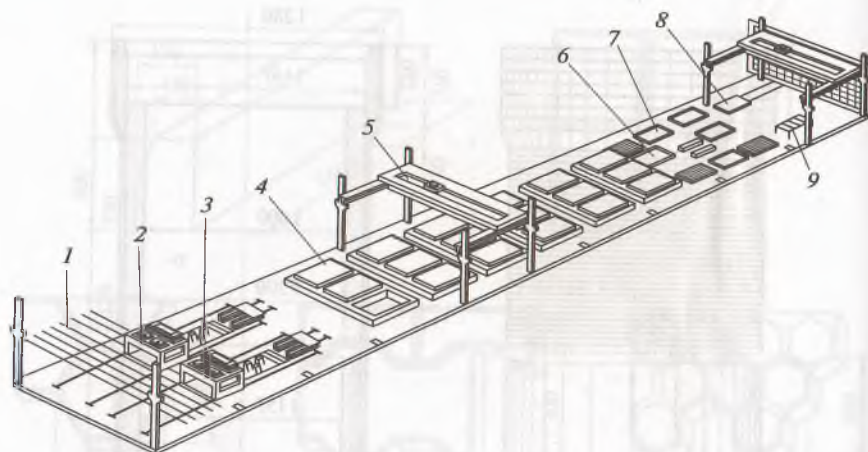


Рис. 7.11. Схема агрегатно-поточной линии с двумя формовочными постами:

1 — эстакада подачи бетона; 2 — бетоноукладчик; 3 — виброплощадка; 4 — пропарочные камеры; 5 — мостовой кран; 6 — пост распалубки, чистки и смазки форм; 7 — укладка арматуры; 8 — тележка для вывоза готовых изделий; 9 — стенд для ремонта и контроля изделий

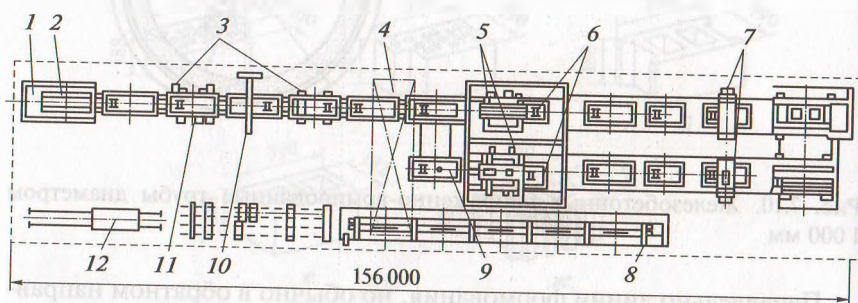


Рис. 7.12. Технологическая линия для изготовления наружных стеновых панелей:

1 — подъемник; 2 — передаточная тележка; 3 — устройство для открывания и закрывания бортов; 4 — мостовой кран; 5 — бетоноукладчик; 6 — виброплощадки и подъемные рельсы; 7 — отделочная машина; 8 — линия для отделки и комплектации наружных стен; 9 — передаточное устройство; 10 — консольный передвижной кран; 11 — кантователь; 12 — самоходная тележка

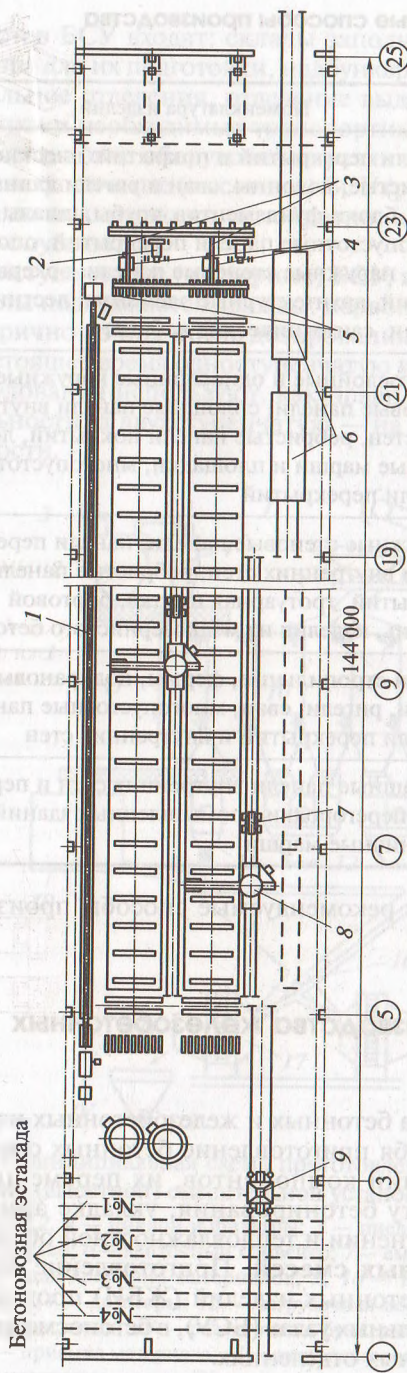


Рис. 7.13. Линейный стэнд:

1 — линия заготовки арматуры; 2 — насосная станция; 3 — передвижные балки; 4 — гидромолот; 5 — узоры; 6 — самоходная тележка с прицепом для вывоза готовой продукции; 7 — тележка питания виброинструмента; 8 — бетонораздатчик; 9 — бада самоходная

Таблица 7.1. Рекомендуемые способы производства железобетонных изделий

Способ производства	Номенклатура изделий
Агрегатно-поточный	Панели перекрытий и покрытий: плоские и ребристые, колонны, сваи и ригели длиной до 7,2 м, блоки фундаментов, трубы, шпалы, многопустотные панели перекрытий, опоры ЛЭП, наружные стеновые панели, эркеры лоджий, архитектурные элементы, лестничные марши, сантехнические кабины
Конвейерный периодического действия	Многослойные и однослойные наружные стеновые панели, сплошные панели внутренних стен, ребристые панели покрытий, лестничные марши и площадки, многопустотные панели перекрытий
Конвейерный непрерывного действия	Наружные стеновые панели, панели перекрытий и внутренних стен, ребристые панели покрытий, тротуарная плитка, бортовой камень, изделия из мелкозернистого бетона
Стеновой	Балки стропильные, фермы, подкрановые балки, ригели, сваи, многопустотные панели, панели перекрытий и внутренних стен
Кассетный	Сплошные панели внутренних стен и перекрытий, перегородки промышленных зданий, лестничные марши

В табл. 7.1 представлены рекомендуемые способы производства железобетонных изделий.

7.2.2. Принципы производства железобетонных изделий

Технология производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций включает в себя приготовление бетонных смесей, заключающееся в дозировании компонентов, их перемешивании, транспортировании к месту бетонирования, укладке арматуры в формы, формовании, уплотнении и тепловлажностной обработки.

Приготовление бетонных смесей. Приготовление бетонных смесей на заводах железобетонных изделий (ЖБИ) производят на специальных бетоносмесительных узлах (БСУ), в бетоносмесительных цехах или бетоносмесительных отделениях.

В состав БСУ входят: склады заполнителей, вяжущих, добавок, устройства для их подготовки, надбункерное, бункерное, дозаторное, смесительное отделения, отделение выдачи готовой смеси, система автоматики и необходимые транспортные средства.

По компоновке оборудования различают:

- одноступенчатые (высотные) БСУ (рис. 7.14), в которых исходные материалы поднимаются однократно, а затем под действием силы тяжести опускаются;
- двухступенчатые (партерные) БСУ, в которых исходные сыпучие материалы поднимаются дважды: первоначально в расходные бункера и вторично из них после дозирования в смесители.

В настоящее время одноступенчатую компоновку технологического оборудования используют, как правило, на БСУ большой производительности, а двухступенчатую — на установках малой производительности.

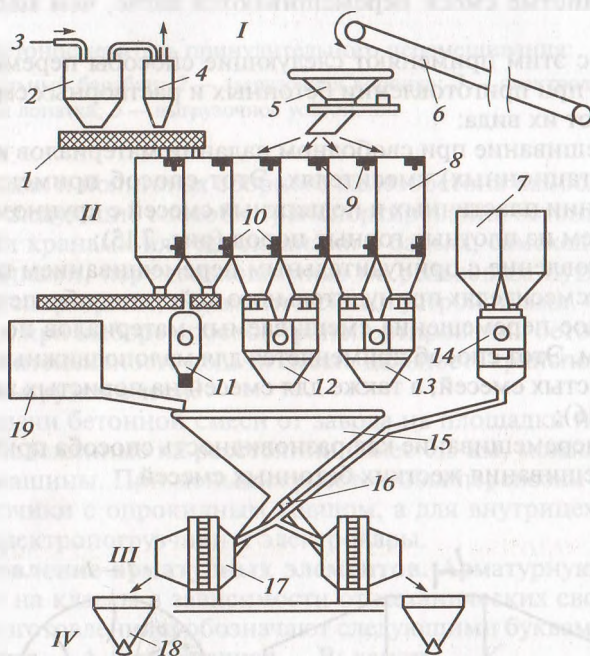


Рис. 7.14. Принципиальная схема приготовления бетонной смеси на одноступенчатой (высотной) смесительной установке и стадии процесса:

I — питатель; 2, 4 — циклон и фильтры; 3 — пневмотранспорт цемента; 5 — загрузочное устройство; 6 — ленточный конвейер; 7 — емкость для воды и жидких добавок; 8 — емкость для хранения материалов; 9, 10 — верхние и нижние ограничители уровней; 11... 14 — дозаторы; 15 — загрузочная воронка; 16 — перекидной клапан; 17 — бетоносмесители; 18 — раздаточные бункеры; 19 — устройство для активации цемента; *I* — приемка материала; *II* — аккумуляция и дозирование компонентов; *III* — перемешивание смеси; *IV* — выдача смеси

Дозирование компонентов осуществляется с помощью дозаторов, которые подразделяются на циклические (периодического действия) и непрерывного действия. По принципу действия различают дозаторы объемные, весовые и смешанные (объемно-весовые). Различают дозаторы однофракционные и многофракционные (при последовательном дозировании). Допустимая погрешность дозирования для вяжущих, воды, добавок составляет $\pm 1\%$ по массе; для заполнителей $\pm 2\%$.

В зависимости от вида и жесткости бетонных смесей используют различные способы перемешивания. Однородная бетонная смесь должна отличаться равномерным распределением всех компонентов по всему объему. Достижение однородности в процессе перемешивания зависит от сил внутреннего трения, сил сцепления между частицами, сопротивления смеси сдвигу, силы тяжести, крупности заполнителя. Например, подвижные бетонные смеси значительно легче перемешать до однородного состояния, чем жесткие, также крупнозернистые смеси перемешиваются легче, чем мелкозернистые.

В связи с этим применяют следующие способы перемешивания материалов при приготовлении бетонных и растворных смесей в зависимости от их вида:

- перемешивание при свободном падении материалов в барабанах (гравитационных) смесителях. Этот способ применяется при приготовлении пластичных и подвижных смесей с крупнозернистым заполнителем из плотных горных пород (рис. 7.15);
- приготовление с принудительным перемешиванием компонентов смеси в смесителях принудительного действия, обеспечивающих многократное перемещение смешиваемых материалов по сложным траекториям. Этот способ применяется для малоподвижных, жестких мелкозернистых смесей, а также для смесей на пористых заполнителях (рис. 7.16);
- виброперемешивание как разновидность способа принудительного перемешивания жестких бетонных смесей.

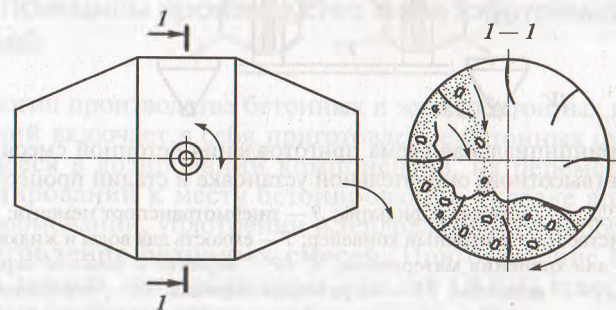


Рис. 7.15. Принцип действия бетоносмесителя свободного падения

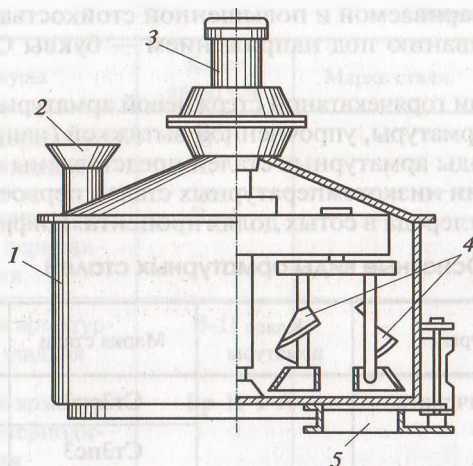


Рис. 7.16. Бетоносмеситель принудительного перемешивания:

1 — смесительный барабан; 2 — загрузочная воронка; 3 — электродвигатель; 4 — смесительная лопатка; 5 — выгрузочное устройство

На заводах и полигонах сборного железобетона наиболее распространены следующие способы транспортирования бетонных смесей: мостовыми кранами или автокранами в бадах; самоходными бетоноразвозчиками, перемещающимися по рельсовым путям; ленточными транспортерами; пневматическими устройствами. Основными факторами при выборе способа транспортирования бетонной смеси являются интенсивность подачи смеси, дальность транспортирования и высота выгрузки смеси.

Для подачи бетонной смеси от завода на площадки полигонного типа, расположенные на расстоянии более 0,5 км, можно использовать автомашины. При меньших расстояниях перевозки применяют автопогрузчики с опрокидным ковшом, а для внутрицеховых перевозок — электропогрузчики и электрокары.

Изготовление арматурных элементов. Арматурную сталь подразделяют на классы в зависимости от механических свойств и технологии изготовления и обозначают следующими буквами: стержневая арматура — А, проволочная — В; канаты — К.

Стержневая арматурная сталь подразделяется:

- на горячекатаную гладкую класса А-1;
- периодического профиля классов А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI;
- термически и термомеханически упрочненную периодического профиля классов А_т-III, А_т-IV, А_т-V, А_т-VI.

В обозначении классов термически и термомеханически упрочненной стержневой арматуры повышенной стойкости к коррозионному растрескиванию под напряжением добавляется буква К (напри-

мер: А_т-IVK); свариваемой и повышенной стойкостью к коррозионному растрескиванию под напряжением — буквы СК (например: А_т-VCK).

В обозначении горячекатаной стержневой арматуры буква «в» употребляется для арматуры, упрочненной вытяжкой (например: А_т-IIIв).

Основные виды арматурных сталей представлены в табл. 7.2.

В обозначении низкотемпературных сталей первое число означает содержание углерода в сотых долях процента. Цифры после буквы

Таблица 7.2. Основные виды арматурных сталей

Вид арматуры	Класс арматуры	Марка стали	Диаметр арматуры, мм
Стержневая горячекатаная гладкая	А-I	Ст3сп3	6...40
		Ст3пс3	6...40
		Ст3кп3	6...40
		ВСт3пс2	6...40
		ВСт3сп2	6...40
		ВСт3кп2	6...40
		ВСт3Гпс3	6...18
Стержневая горячекатаная периодического профиля	А-II	ВСт5сп2	10...40
		ВСт5пс2	10...16
		ВСт5пс2	18...40
		18Г2С	40...18
		10ГТ	10...32
	А-III	35ГС	6...40
		25Г2С	6...40
	А-VI	80С	10...18
		20ХГ2Ц	10...22
	А-V	23Х2Г2Т	10...22
Стержневая термически упрочненная периодического профиля	А _т -IV	—	10...25
	А _т -V	—	10...25
	А _т -VI	—	10...25

Вид арматуры	Класс арматуры	Марка стали	Диаметр арматуры, мм
Обыкновенная арматурная проволока гладкая	В-I	—	3...5
Обыкновенная арматурная проволока периодического профиля	Вр-I	—	3...5
Высокопрочная арматурная проволока гладкая	В-II	—	3...8
Высокопрочная арматурная проволока периодического профиля	Вр-II	—	3...8
Арматурные канаты	К-7	—	4,5...15,0

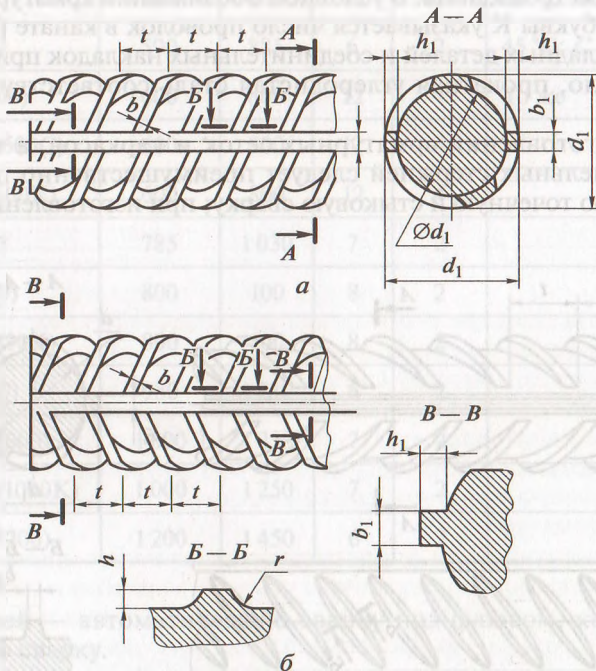


Рис. 7.17. Периодические профили стержневой арматуры:

а — класса А-II; б — остальных классов

означают содержание элемента в процентах; если ничего нет — значит, содержание элемента меньше 1 %. Буквы означают наличие элементов: Г — марганец; С — кремний; Х — хром; Т — титан; А — азот; Ю — алюминий; Р — бор; Ц — цирконий.

Характерные профили стержневой арматуры представлены на рис. 7.17, 7.18. Механические свойства стержневой арматурной стали представлены в табл. 7.3.

С увеличением класса арматуры повышается ее прочность при растяжении и резко снижается относительная деформация. Арматурные стали разных классов с одинаковым рисунком периодического профиля различают по цвету окрашенных концов стержней. Маркировка покраски представлена в табл. 7.4

Холоднотянутая проволочная арматурная сталь подразделяется на арматурную проволоку гладкую класса В-I; периодического профиля класса Вр-I; высокопрочную гладкую класса В-II; периодического профиля класса Вр-II (рис. 7.19).

Арматурные канаты (рис. 7.20) изготавливают из высокопрочной холоднотянутой проволоки. Для лучшего использования прочностных свойств проволоки в канате шаг свивки принимают максимальным, обеспечивающим нераскручиваемость канатов, обычно в пределах 10...16 диаметров каната. В условном обозначении арматурных канатов кроме буквы К указывается число проволок в канате (К7, К19).

Для закладных деталей и соединительных накладок применяется, как правило, прокатная углеродистая сталь соответствующих марок.

При изготовлении арматурных сеток и каркасов, а также при сварке отдельных стержней следует преимущественно применять контактную точечную и стыковую сварку; при изготовлении заклад-

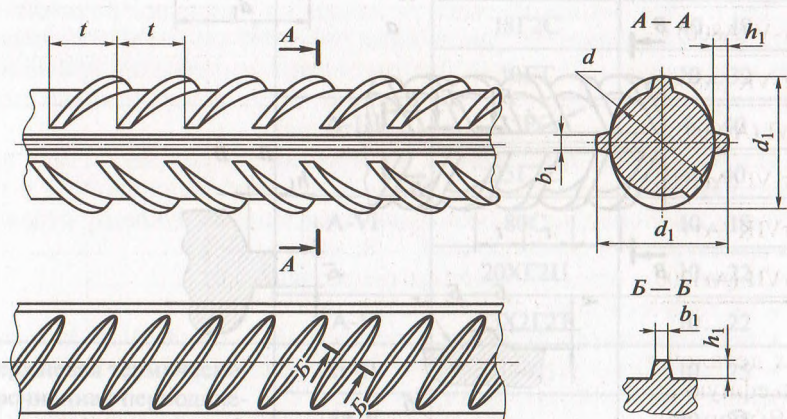


Рис. 7.18. Серповидный профиль стержневой арматуры

Таблица 7.3. Механические свойства стержневой арматурной стали

Класс арматурной стали	Предел текучести физический или условный, МПа	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное удлинение после разрыва, %		Испытание на изгиб в холодном состоянии (<i>C</i> — толщина оправки; <i>d</i> — диаметр стержня)
			полное	равномерное	
A-I (A240)	235	375	25	—	180 °C; <i>C</i> = 1 <i>d</i>
A-II (A300)	295	490	19	—	180 °C; <i>C</i> = 3 <i>d</i>
Ac-III (Ac300)	295	440	25	—	180 °C; <i>C</i> = 1 <i>d</i>
A-III (A400)	390	590	14	—	90 °C; <i>C</i> = 3 <i>d</i>
At-III (At400)	400	500	16	—	90 °C; <i>C</i> = 3 <i>d</i>
A500C	500	600	14	—	90 °C; <i>C</i> = 3 <i>d</i>
AtV (A600)	590	885	6	2	45 °C; <i>C</i> = 5 <i>d</i>
AtIV (At600)	600	800	12	4	То же
AtIVC (At600C)	600	800	12	4	«
AtVK (At600K)	600	800	12	4	«
A-V (A800)	785	1 030	7	2	«
At-V (A800)	800	100	8	2	«
At-VK (A800K)	800	100	8	2	«
AVI (A1000)	980	1 230	6	2	«
At-VI (At1000)	1 000	1 250	7	2	«
AtVIK (At1000K)	1 000	1 250	7	2	«
AtVII (At1200)	1 200	1 450	6	2	«

ных деталей — автоматическую сварку под флюсом, контактную рельефную сварку.

Выбор арматурной стали следует производить в зависимости от типа конструкции, наличия предварительного натяжения, а также от условий эксплуатации.

Таблица 7.4. Маркировка покраской и прокатная маркировка класса прочности стержневой арматурной стали

Класс арматуры	Цвет покраски концов стержней	Число поперечных ребер между маркировочными знаками
A-III	—	3
At-III	Белый	3
A500C	Белый и синий	1
A-IV	Красный	4
At-IV	Желтый	4
At-IVC	Желтый и белый	4
At-IVK	Желтый и красный	4
A-V	Красный и зеленый	5
At-V	Зеленый	5
At-VK	Зеленый и красный	5
A-VI	Красный и синий	6
At-VI	Синий	6
At-VIK	Синий и красный	6
At-VII	Черный	7

В качестве ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций следует преимущественно применять:

- стержневую арматуру класса A-III;
- арматурную проволоку диаметром 3...5 мм класса Вр-I (в сварных сетках и каркасах).

Допускается применять:

- стержневую арматуру класса A-II и A-I для продольной и поперечной арматуры;
- термомеханически упрочненную стержневую арматуру класса At-IVC для продольной арматуры сварных каркасов и сеток;
- стержневую арматуру классов A-V, A-VI, а также горячекатаную класса A-IV только для продольной арматуры связанных каркасов и сеток.

Ненапрягаемую арматуру классов A-III, Вр-I, A-I и A-II рекомендуется применять в виде сварных каркасов и сеток.

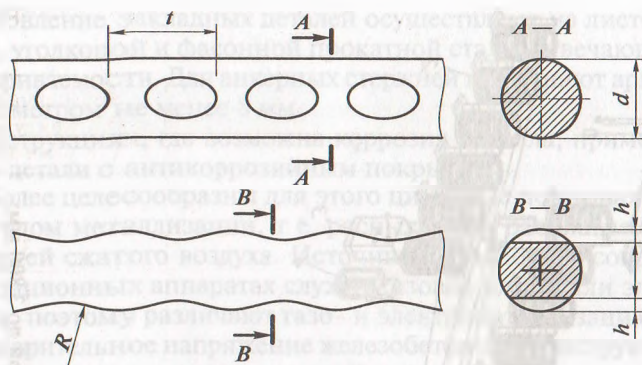


Рис. 7.19. Периодический профиль высокопрочной арматурной проволоки

В качестве напрягаемой арматуры предварительно-напряженных железобетонных элементов следует преимущественно применять термически и термомеханически упрочненную арматуру классов Ат-VI и Ат-V.

Допускается применять арматурную проволоку классов В-II, Вр-II и арматурные канаты классов К7 и К19.

Для монтажных подъемных элементов сборных железобетонных и бетонных конструкций должна применяться горячекатаная арматурная сталь класса Ас-II марки 10ГТ и класса А-I марок ВСтЗсп2 и ВСтЗпс2.

Железобетонные изделия армируются плоскими гнутыми и пространственными сетками и каркасами.

Изготовление арматурных элементов включает в себя механическую обработку арматурных сталей, сварку сеток и плоских каркасов, сборку из них пространственных каркасов.

Механическая обработка стали заключается в размотке, правке, отмеривании и резке стали, гибких отдельных стержней, сеток и каркасов, изготовлении монтажных цепей. Изготовление арматурных сеток производят на многоточечных автоматических машинах, на которых можно сваривать арматурные сетки шириной до 3,8 м. Эти машины имеют высокую производительность. Общий вид автоматизированной линии показан на рис. 7.21.

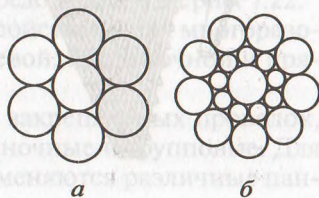


Рис. 7.20. Поперечное сечение арматурных канатов:

а — семипроволочных; б — девятипроволочных

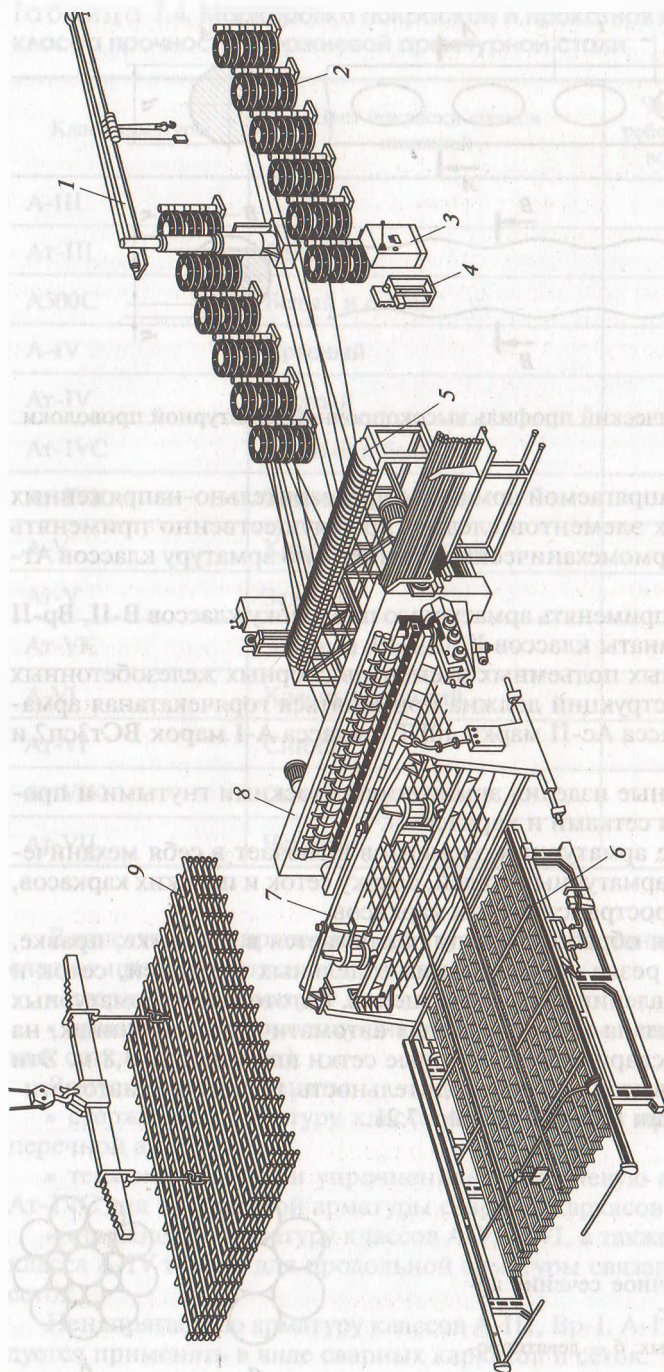


Рис. 7.21. Автоматизированная линия 7934/1 для изготовления арматурных сеток шириной до 3 800 мм:

1 — консольный кран; 2 — бухтодержатель; 3 — управление сварочной машиной; 4 — электроточило; 5 — правильное устройство; 6 — пакет арматурных сеток; 7 — ножницы; 8 — сварочная машина; 9 — пакет арматурных сеток

Изготовление закладных деталей осуществляют из листовой, полосовой, уголковой и фасонной прокатной стали, отвечающей условиям свариваемости. Для анкерных стержней применяют арматурную сталь диаметром не менее 8 мм.

В конструкциях, где возможна коррозия металла, применяют закладные детали с антикоррозийным покрытием.

Наиболее целесообразны для этого цинковые покрытия, наносимые методом металлизации, т.е. распылением расплавленного металла струей сжатого воздуха. Источником теплоты в современных металлизационных аппаратах служит газовое пламя или электрическая дуга, поэтому различают газо- и электрометаллизацию.

Предварительное напряжение железобетонных конструкций можно осуществить несколькими способами:

1) передачей бетону предварительного напряжения арматуры путем непосредственного сцепления бетона с арматурой, натянутой до бетонирования на упоры;

2) сцеплением, обеспечиваемым раствором, нагнетаемым в каналы, в которые укладывается арматура, после того как бетон наберет требуемую прочность;

3) без сцепления, путем анкеровки концов арматурных элементов;

4) путем применения напрягающих бетонов, которые, расширяясь в процессе твердения, напрягают арматуру.

На заводах ЖБИ в основном используется первый способ. Вторым и третьим способами применяются при возведении массивных сборно-монтажных конструкций. Способы натяжения арматуры:

- механический, с помощью натяжных машин или гидравлических домкратов;

- электрический, при котором арматурные стержни нагревают электрическим током в целях получения определенного удлинения. Арматурные стержни, уложенные в таком состоянии в форму на упоры, при остывании укорачиваются, и в них возникают необходимые натяжения;

- электромеханический, который является совокупностью первых двух способов. Этот способ применяют преимущественно при армировании высокопрочной проволокой непрерывной навивкой при натяжении на затвердевший бетон изделия, например труб.

Для фиксации предварительно-напряженной арматуры используют анкера и зажимы. На стержневой напрягаемой арматуре выполняют концевые анкера трех видов, которые представлены на рис. 7.22.

Зажимы являются универсальными устройствами для многократного применения для закрепления стержневой, проволочной и прядевой арматуры.

В зависимости от числа одновременно закрепляемых проволок, стержней и прядей различают зажимы одиночные и групповые. Для закрепления одного элемента широко применяются различные кан-

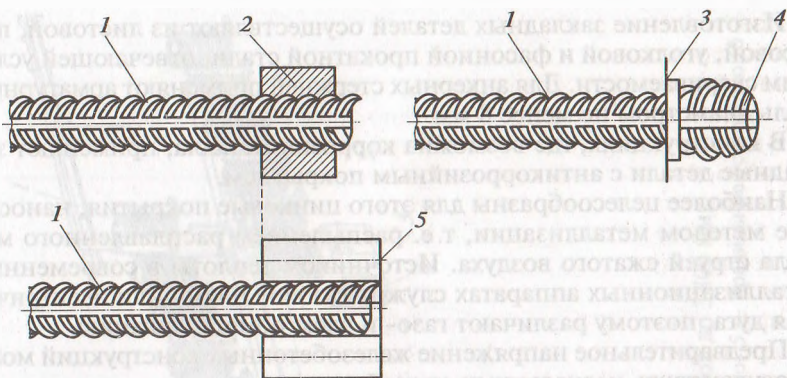


Рис. 7.22. Анкеры одноразового пользования при натяжении стержневой арматуры:

1 — напрягаемый стержень; 2 — обжатая шайба; 3 — шайба толщиной 3...5 мм; 4 — высеченная головка; 5 — приваренные коротыши арматуры

говые зажимы (рис. 7.23). Принцип действия этого зажима основан на применении трехклинового устройства, обеспечивающего большие силы трения от усилия натяжения арматуры. Эти зажимы просты и надежны в эксплуатации. Они выдерживают до 100 и более циклов работ.

Формование бетонных и железобетонных изделий. Процесс собственно формования бетонных и железобетонных изделий включает в себя следующие операции: установка форм и формообразующих элементов, нанесение специальных смазок на их поверхности,

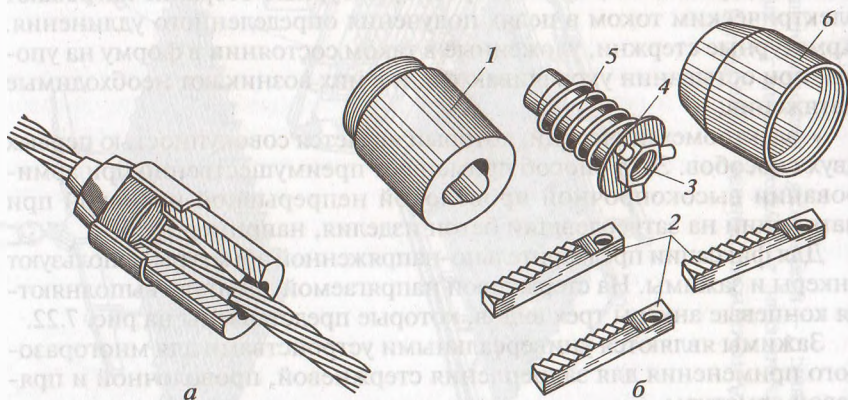


Рис. 7.23. Зажим цанговый:

а — зажим в сборе; б — детали зажима: 1 — корпус; 2 — губки зажима; 3 — толкатель; 4 — шайба; 5 — пружина; 6 — хвостовик

укладка и распределение бетонной смеси в форме, ее уплотнение и заглаживание открытой поверхности. Задача формирования — обеспечить получение изделий заданных размеров и формы, фиксированного расположения арматуры и закладных деталей, максимальной плотности и равномерной структуры бетона.

Виброобработка бетонных смесей позволяет полностью разрушить сложившуюся первоначальную структуру смеси и затем создать новую, более плотную. При этом происходит сближение зерен заполнителей и достигается хорошее сцепление межзернового пространства цементным тестом или раствором при удалении пузырьков воздуха.

Эффективность виброобработки при формировании изделий оценивается по равномерности уплотнения бетонной смеси и времени уплотнения. О достигнутой плотности судят по величине коэффициента уплотнения, равного отношению фактической средней плотности свежееуложенной смеси к расчетной. Коэффициент уплотнения не должен быть менее 0,98.

Длительность виброобработки для достижения оптимального уплотнения зависит от амплитуды и частоты колебаний. Эффект вибрации наиболее полно характеризуется величиной интенсивности колебаний I , представляющей собой совместную функцию скорости и ускорения:

$$I = A^2 f^3,$$

где A, f — соответственно амплитуда и частота колебаний.

Практические значения частоты колебаний для обычных бетонных смесей находятся в диапазоне 2 800 ... 3 000 колебаний в минуту при амплитуде 0,1 ... 0,5 мм.

Оптимальная интенсивность вибрации зависит от консистенции бетонной смеси: чем ниже подвижность бетонной смеси, тем больше должна быть интенсивность вибрации. Например, для бетонной смеси с $B/C = 0,52$ и продолжительностью вибрации 60 с оптимальная интенсивность равна $450 \text{ см}^2/\text{с}^3$, а при $B/C = 0,43$ она равна $800 \text{ см}^2/\text{с}^3$.

Для малоподвижных и жестких смесей эффективно применение низкочастотного ударно-вибрационного уплотнения с частотами 10 ... 20 Гц и амплитудами 4 ... 10 мм.

Кроме критерия интенсивности вибрации используют также критерий эффективности вибрации Ξ для различных бетонных смесей:

$$\Xi = I t^k,$$

где t — продолжительность вибрирования; показатель степени k зависит от жесткости смеси (для смесей с жесткостью до 60 с $k = 2$; при жесткости 60 ... 100 с $k = 3$; при жесткости 100 ... 200 с $k = 4$).

Для правильной оценки эффективности вибрации нужно знать не только режим вибрационного воздействия, но и закономерности распространения колебаний внутри бетонной смеси. Особенно это необходимо учитывать при формировании крупноразмерных изделий.



Рис. 7.24. Влияние продолжительности вибрирования смеси на прочность бетона

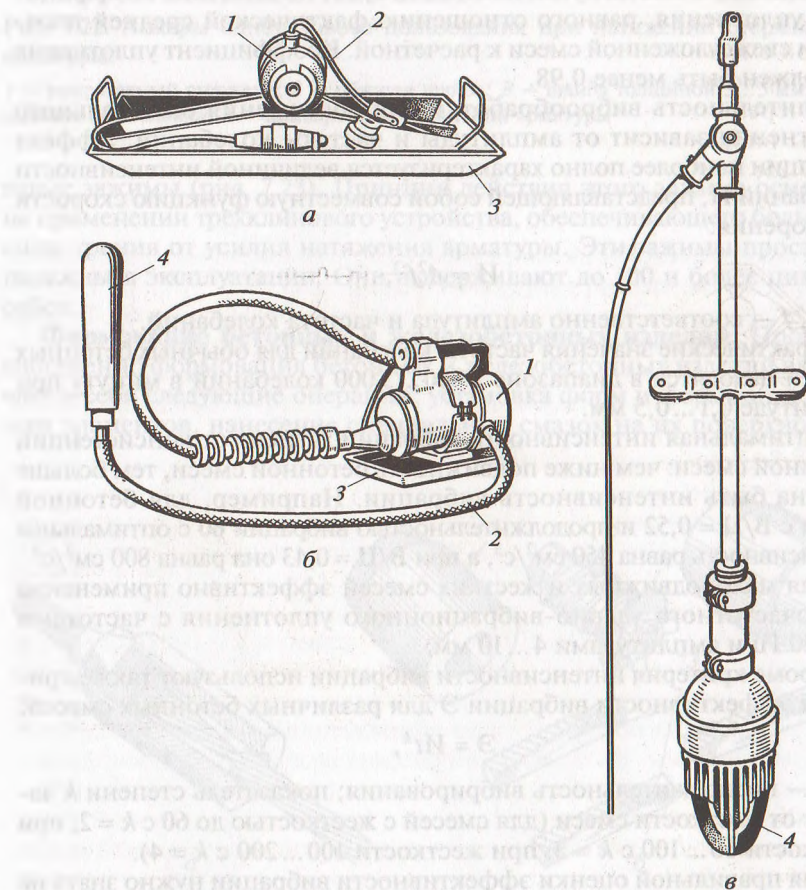


Рис. 7.25. Основные виды вибраторов:

а — площадный; б — глубинный с гибким валом; в — вибробулава; 1 — двигатель; 2 — гибкий вал; 3 — металлическая площадка; 4 — вибрирующий наконечник

На рис. 7.24 приведены опытные данные о влиянии продолжительности вибрирования смеси на прочность бетона. Как видно из рис. 7.24, оптимальным временем вибрирования является 4 мин; дальнейшее вибрирование не дает существенного увеличения прочности.

Существуют различные вибрационные методы формирования:

- формирование на виброплощадках, когда уплотняется весь объем бетонной смеси, находящейся в форме;
- формирование изделий глубинными вибраторами. Кроме того, внутреннее вибрирование смеси может происходить при помощи вибровкладышей, заранее устанавливаемых внутри формы для образования пустот в изделии;
- формирование изделий поверхностными вибраторами. Поверхностное вибрирование создается через подвижную вибрирующую плоскость, укладываемую на поверхность формы, заполненной бетонной смесью;
- формирование изделий наружным вибрированием, осуществляемым через стенки или днище формы, к которым жестко прикреплены вибраторы. Основные виды вибраторов представлены на рис. 7.25;

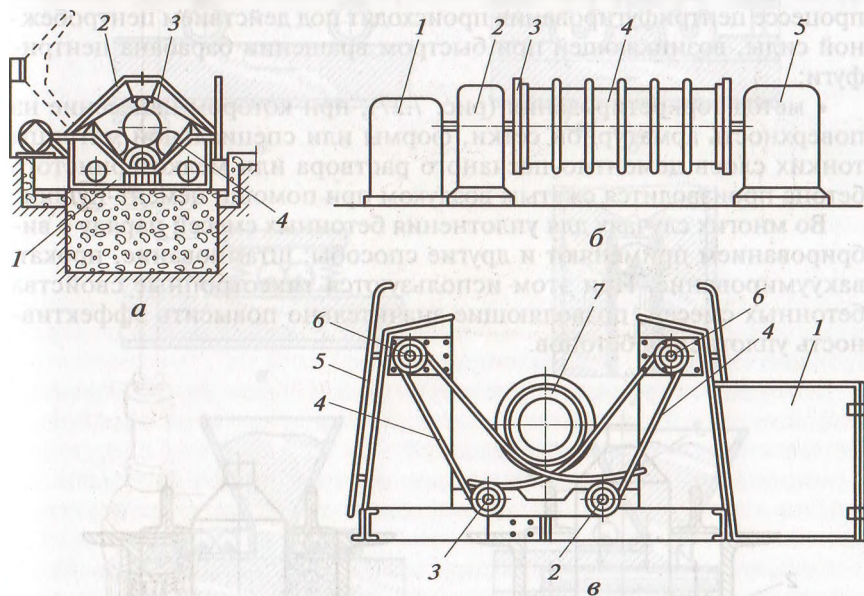


Рис. 7.26. Схемы центрифуг:

а — однорядовая роликовая центрифуга: 1 — приводной ролик; 2 — предохранительная скоба; 3 — форма; 4 — поддерживающие ролики; б — осевая центрифуга: 1 — двигатель; 2 — бабка с редуктором; 3 — торцевые планшайбы, зажимающие форму; 4 — форма; 5 — бабка с разгонным двигателем; в — ременная жирокопическая центрифуга: 1 — ограждение привода; 2 — ведущий вал; 3 — ведомый вал; 4 — ремни; 5 — защитный кожух; 6 — поддерживающие ролики; 7 — форма

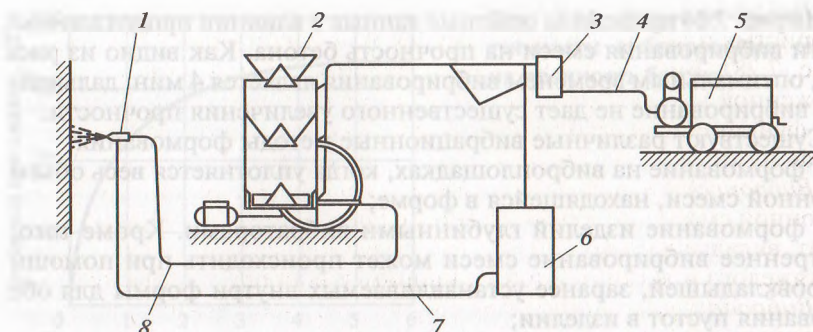


Рис. 7.27. Схема нанесения бетонной смеси торкретированием:

1 — наконечник-сопло; 2 — цемент-пушка; 3 — воздухоочиститель; 4, 7, 8 — шланги соответственно для сжатого воздуха, воды и материала; 5 — компрессор; 6 — бак для воды

- центробежный метод формования, осуществляемый на центрифугах (рис. 7.26). Распределение и уплотнение бетонной смеси в процессе центрифугирования происходят под действием центробежной силы, возникающей при быстром вращении барабана центрифуги;

- метод торкретирования (рис. 7.27), при котором нанесение на поверхность арматурной сетки, формы или специальной матрицы тонких слоев цементно-песчаного раствора или мелкозернистого бетона производится сжатым воздухом при помощи цемент-пушки.

Во многих случаях для уплотнения бетонных смесей наряду с вибрированием применяют и другие способы: штампование, прокат, вакуумирование. При этом используются тиксотропные свойства бетонных смесей, позволяющие значительно повысить эффективность уплотнения бетонов.

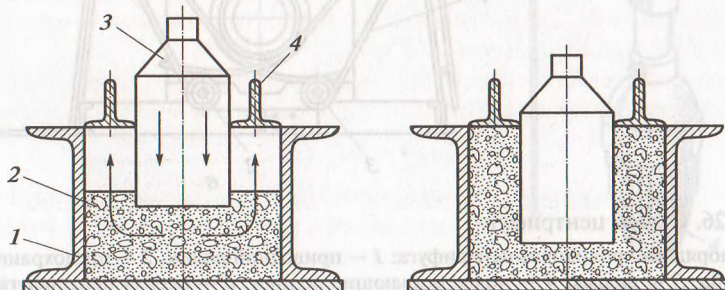


Рис. 7.28. Схема виброштампования бетонной смеси:

1 — форма; 2 — бетонная смесь; 3 — виброштамп; 4 — прижимная пружина

Виброштампование применяют для формирования коробчатых и ребристых плит, лестничных маршей и других профильных изделий (рис. 7.28). Вибрирующий штамп, установленный на поверхности уложенной в форму ровным слоем бетонной смеси, выполняет сразу две функции: перераспределяет бетонную смесь внутри формы, придавая нужные очертания изделиям, и уплотняет ее.

Вибропрокат представляет собой скользящее виброштампование бетонной смеси, которое сочетается с прессующим давлением валков, плит, вкладышей (рис. 7.29). Этим способом изготавливают изделия из тяжелого и легкого бетонов, например вибропрокатные панели.

Вибровакуумирование применяют для уплотнения подвижных бетонных смесей, удаляя из них до 10...20 % воды от общего количества, взятого при затворении (рис. 7.30). При этом под действием атмосферного давления вакуумные устройства (вакуум-щиты, вакуум-вкладыши), укладываемые на поверхность изделий или вводимых внутрь, оказывают прессующие усилия на бетонную смесь, в резуль-

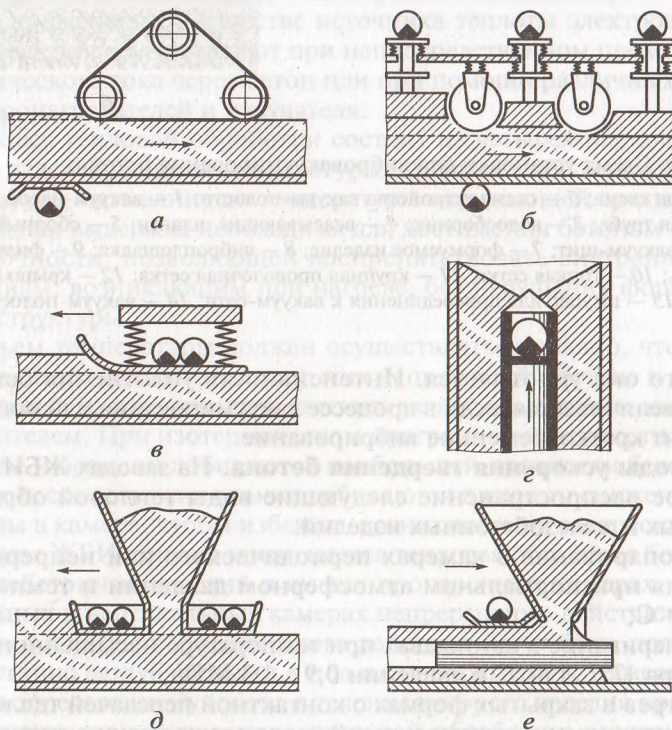


Рис. 7.29. Схема вибропроката:

а — схема уплотнения бетонной смеси на прокатном стане; *б* — силовой вибропрокат; *в* — вибросердечник; *г* — скользящий вибросердечник; *д* — вибронасадка; *е* — пустотообразующий бетонирующий агрегат

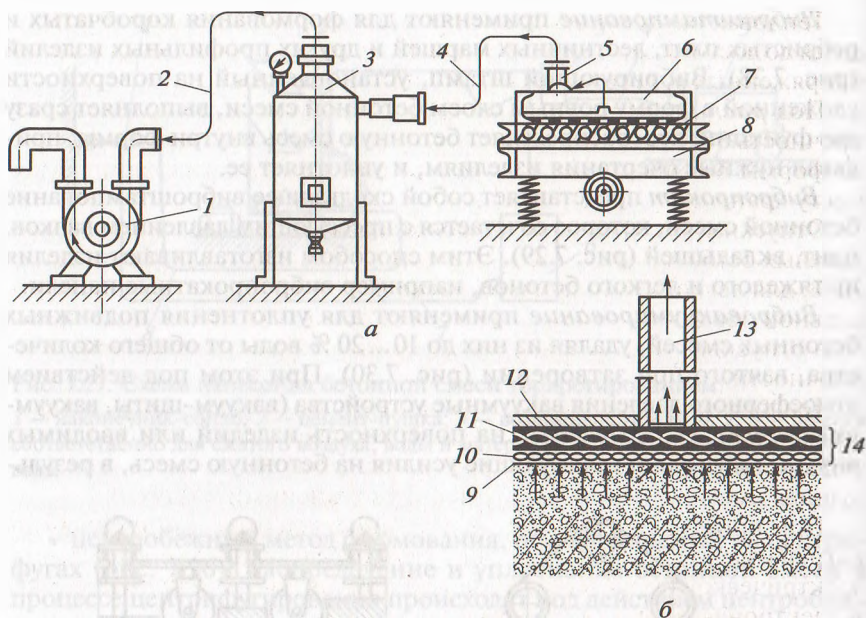


Рис. 7.30. Схема установки для вибровakuумирования бетона:

а — общая схема; *б* — схема устройства вакуум-полости; 1 — вакуум-насос; 2 — всасывающая труба; 3 — водосборник; 4 — всасывающие шланги; 5 — сборный коллектор; 6 — вакуум-щит; 7 — формируемое изделие; 8 — виброплощадка; 9 — фильтровальная ткань; 10 — тонкая сетка; 11 — крупная проволочная сетка; 12 — крышка вакуум-камеры; 13 — штуцер для присоединения к вакуум-сети; 14 — вакуум-полость

тате чего она уплотняется. Интенсивность уплотнения бетонной смеси увеличивается, если в процессе вакуумирования или после него проводят кратковременное вибрирование.

Методы ускорения твердения бетона. На заводах ЖБИ нашли широкое распространение следующие виды тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий:

- пропаривание в камерах периодического или непрерывного действия при нормальном атмосферном давлении и температуре 60...100 °С;
- запаривание в автоклавах при температуре насыщенного водяного пара 175...190 °С и давлении 0,9...1,3 МПа;
- нагрев в закрытых формах с контактной передачей теплоты бетону от различных теплоносителей через ограждающие поверхности форм;
- электропрогрев бетона;
- прогрев в электромагнитном поле, а также с использованием солнечной энергии.

Тепловая обработка бетонных и железобетонных изделий проводится до достижения распалубочной, отпускной, а для предварительнонапряженных изделий — передаточной прочности.

Под *распалубочной прочностью* подразумевается необходимая прочность бетона, по достижении которой возможны выемка изделия из формы без повреждений и безопасное транспортирование его к месту хранения.

Отпускная прочность бетона должна быть не менее: для изделий из тяжелых бетонов всех классов и легких бетонов класса В7,5 и выше — 70 %; для легких бетонов класса ниже В7,5 — 80 %; для бетонов автоклавной обработки — 100 % проектной прочности. В холодное время года отпускная прочность бетона назначается равной его проектной прочности.

Тепловлажностная обработка железобетонных изделий осуществляется в установках периодического и непрерывного действия. В качестве теплоносителя широкое распространение получили пар и паровоздушная смесь, а также подогретый и увлажненный воздух.

При применении в качестве источника теплоты электроэнергии нагрев изделия осуществляют при непосредственном прохождении электрического тока через бетон или при помощи различных тепло- и электронагревателей и излучателя.

Процесс тепловой обработки состоит из четырех периодов: выдержка изделий; подъем температуры; выдержка при максимальной температуре; остывание до температуры окружающей среды. Предварительная выдержка необходима для достижения бетоном начальной прочности, позволяющей воспрепятствовать внутренним напряжениям, возникающим при нагреве, без нарушения формирующейся структуры.

Подъем температуры должен осуществляться плавно, чтобы избежать возникновения значительных напряжений в бетоне и образования трещин, нарушающих контакт между цементным камнем и заполнителем. При изотермическом прогреве в зависимости от температуры и времени добиваются наибольшей прочности бетона.

В процессе остывания также добиваются плавного снижения температуры в камере, чтобы избежать возникновения растрескивания. На заводах ЖБИ широко применяется тепловая обработка бетонных и железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах, в горизонтальных и вертикальных камерах непрерывного действия.

Ямные камеры периодического действия могут быть полностью или частично заглубленными в пол или напольными. Камеры работают по определенному циклу, в течение которого изделия предварительно проходят все три этапа тепловой обработки: разогрев, изотермический прогрев при максимальной температуре 80...85 °С и охлаждение.

Для повышения температуры изотермический прогрев, близкой к 100 °С, используют ямную пропарочную камеру, представленную

на рис. 7.31. Она отличается тем, что в ней имеется внизу так называемая обратная труба для отвода паровоздушной смеси или избытка насыщенного пара, а также тем, что кроме нижней разводки пара в ней предусмотрена верхняя разводка. Это позволяет производить пропарку не только в паровоздушной среде, но и в среде насыщенного пара без примеси воздуха.

Для этой цели на начальной стадии тепловой обработки подают пар через нижнюю разводку. По достижении температуры $80 \dots 90^\circ\text{C}$ нижняя разводка отключается и пар подается через верхнюю разводку. Постепенно камера заполняется только паром, что позволяет достичь заданной температуры.

Тепловые установки непрерывного действия представляют собой многоярусные туннельные, щелевые и вертикальные камеры (рис. 7.32).

Туннельные камеры непрерывного действия — это горизонтальные туннели, в которых по рельсовому пути передвигаются вагонетки с изделиями. Загружают и выгружают вагонетки с изделиями с помощью порталных подъемников и снижателей.

Щелевые камеры имеют немного иную форму; их высота в 4—6 раз меньше ширины. Они оборудованы системами пароснабжения и электронагревателями. Эффективность этих камер обусловлена меньшими потерями теплоты.

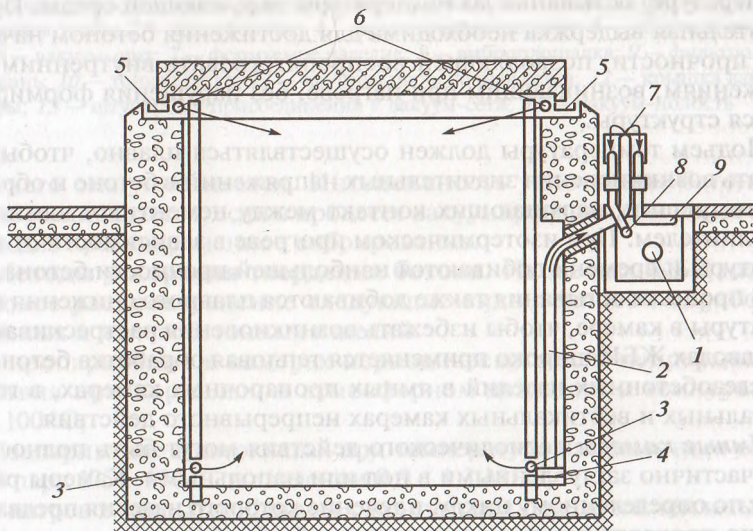


Рис. 7.31. Пропарочная камера системы Л. И. Семенова:

1 — паропровод; 2 — обратная труба; 3, 6 — соответственно нижние и верхние перфорированные трубы; 4 — гидравлический клапан; 5 — уплотнение; 7 — контрольный конденсатор; 8 — трубопровод подогретой воды; 9 — водопроводная труба

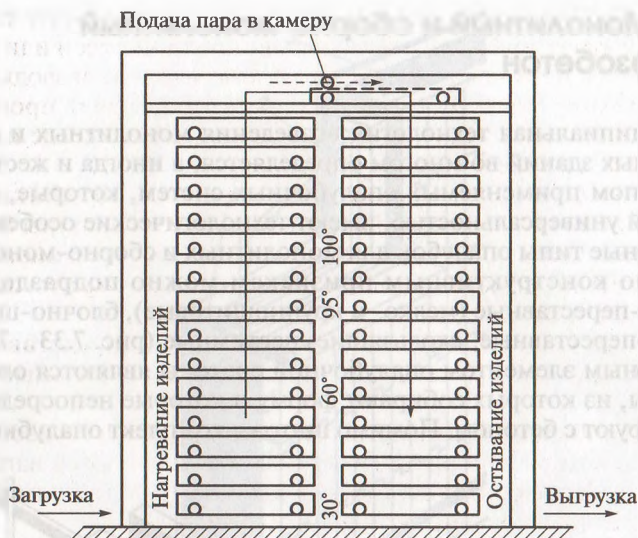


Рис. 7.32. Схема вертикальной пропарочной камеры непрерывного действия

Тепловую обработку в автоклавах применяют для производства бетонных изделий на основе известково-кремнеземистых вяжущих, цементно-песчаных, смешанных вяжущих с использованием отходов промышленности (золы и шлаки ТЭС, доменные шлаки, горелые породы и т.д.), а также изделий из ячеистых бетонов.

Особенность твердения в автоклавах заключается в том, что при давлении насыщенного пара $0,9 \dots 1,3$ МПа вода сохраняется в жидкой фазе при температуре $175 \dots 190$ °С, благодаря чему создаются благоприятные условия процесса твердения бетона.

Автоклав представляет собой цилиндрический горизонтальный сварной сосуд с открывающимися съемными крышками. Автоклавы имеют диаметры 2,6 и 3,6 м и длину $20 \dots 30$ м. Запаривание в автоклаве состоит из пяти этапов.

Первый этап — от начала впуска пара до установления в автоклаве температуры 100 °С.

Второй этап начинается с подъема давления.

Третий этап — выдержка при постоянном давлении и температуре.

Четвертый этап — равномерное снижение давления.

Пятый этап — охлаждение изделий от температуры 100 °С до нормальной. Продолжительность первого и второго этапов — $3 \dots 5$ ч, третьего — $4 \dots 6$ ч, четвертого и пятого — $2 \dots 4$ ч. Цикл автоклавной обработки с учетом времени на загрузку и выгрузку изделий составляет $12 \dots 15$ ч.

7.3. Монолитный и сборно-монолитный железобетон

Принципиальная технология возведения монолитных и сборно-монолитных зданий во многом определяется, а иногда и жестко диктуется типом применяемых опалубочных систем, которые, обладая частичной универсальностью, имеют технологические особенности.

Основные типы опалубок для монолитных и сборно-монолитных зданий по конструктивным признакам можно подразделить на разборно-переставные (мелко- и крупнощитовые), блочно-щитовые, объемно-переставные, скользящие, несъемные (рис. 7.33 ... 7.36).

Основным элементом опалубочной системы являются опалубочные щиты, из которых собирают форму и которые непосредственно контактируют с бетоном. Помимо щитов в комплект опалубки входят

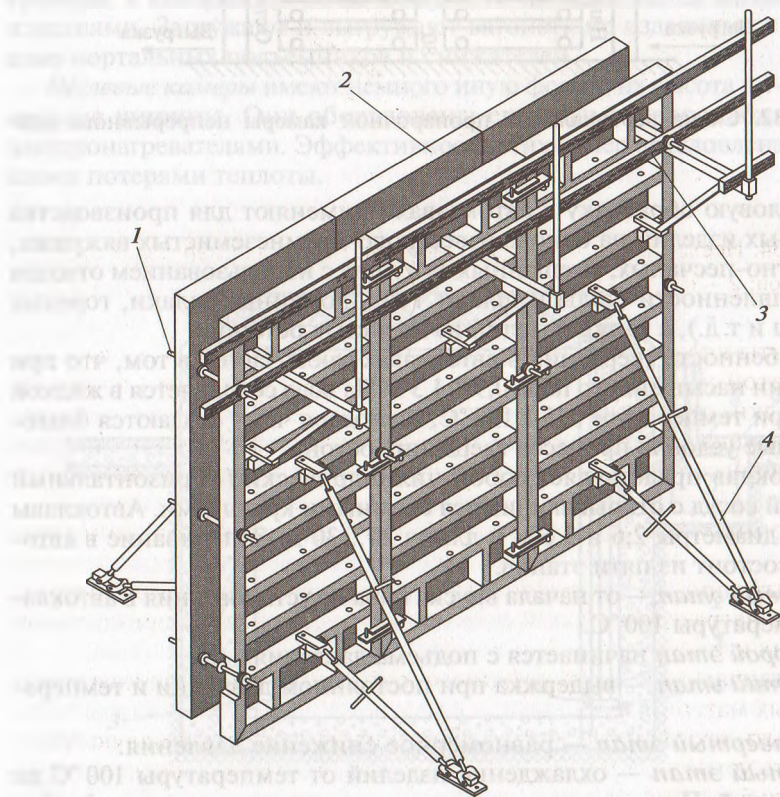


Рис. 7.33. Разборно-переставная крупнощитовая опалубка для устройства внутренних стен:

1 — стяжка винтовая; 2 — щит; 3 — ограждения; 4 — подкос

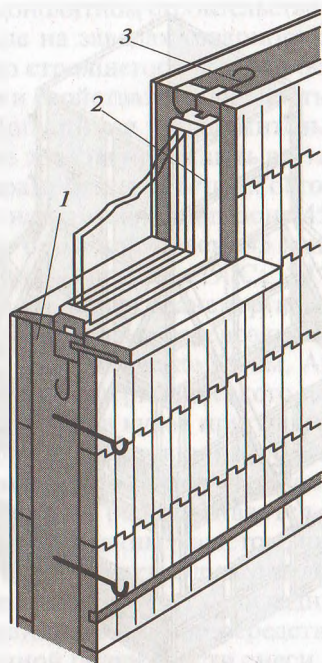


Рис. 7.34. Несъемная опалубка из пенополистирола для наружных стен:

1 — бетон; 2 — оконный блок; 3 — арматура

элементы креплений (схватки, тяжи, замки, клинья), поддерживающие (стойки, подкосы, прогоны) и вспомогательные (лестницы, площадки, ограждения и т. п.) устройства.

Опалубка (опалубочная система) должна удовлетворять ряду конструктивных, технологических и экономических требований, в том числе:

- точно повторять конфигурацию бетонируемой конструкции;
- быть прочной, жесткой и устойчивой, без деформаций воспринимать нагрузки от давления бетонной смеси, перемещений на ней рабочих и т. д.;
- отличаться конструктивной простотой, изготавливаться из доступных материалов;
- быть технологичной, т. е. обеспечивать легкость и малую трудоемкость установки и распалубки, не затруднять монтаж арматуры и укладку бетона;
- по возможности иметь гладкую рабочую (контактирующую) поверхность щитов с малым сцеплением ее с бетоном, не допускать утечек «цементного молока» при бетонировании;

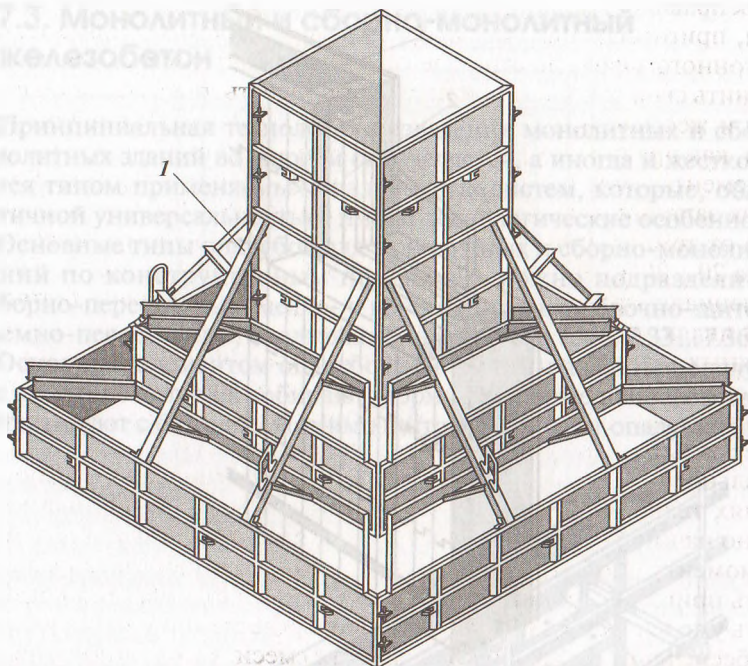


Рис. 7.35. Блочная опалубка для устройства фундаментов под колонны:

1 — подкос

- быть экономичной, обеспечивать максимально возможную оборачиваемость и долговечность элементов (щитов, креплений, лесов и т. п.).

После установки опалубки проверяют плотность стыковых соединений элементов опалубки между собой и с ранее уложенным бетоном, качество установки несущих и поддерживающих элементов, анкерных устройств и элементов крепления, геометрические размеры, а также смещение. Щиты опалубки при необходимости оборудуют подмостями для бетонирования.

Для монолитных железобетонных конструкций тип арматуры выбирается с учетом особенностей работы конструкций, их размеров и конфигурации, технологии и организации работ.

В качестве арматуры для армирования используют сталь, а для дисперсного армирования — волокна из пластмасс, стекла, базальта и органических материалов. В монолитном железобетоне применяют следующие марки арматурной стали, которые подразделяются по классам (А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V, Ат-V, В-I, В-II и др.) в зависимости от механических свойств, а внутри каждого класса — по маркам (Ст3, 18Г2С и др.) в зависимости от ее химического состава.

Как правило, при монолитном строительстве используют бетонные смеси, приготовленные на заводах товарного бетона. При доставке от бетонного завода до строящегося объекта бетонная смесь должна сохранить свой состав и свойства: однородность, показатели подвижности и жесткости. Допустимая продолжительность транспортирования, как правило, не должна превышать времени начала схватывания цемента. Этот параметр для обычных бетонов и бетонов на пористых заполнителях находится в диапазоне 45...120 мин и зависит также от температуры бетонной смеси: 45 мин — при температуре бетона 20...30 °С; 90 мин — при 10...19 °С; 120 мин — при 5...10 °С.

Специализированным видом транспорта для доставки бетонной смеси являются автобетоновозы, перевозящие ее в зависимости от дорожных условий на расстояние до 45 км. Автобетоновозы могут быть снабжены шнеком для периодического перемешивания в пути бетонной смеси, но загрузка в кузов приготовленной смеси ограничивает дальность и сроки ее доставки потребителю.

Дальность перевозки компонентов сухой смеси в автобетоносмесителях технологически не ограничивается. Перемешивание их должно начинаться в пути с таким расчетом, чтобы смесь была готова к моменту прибытия на объект. Однако целесообразнее не заканчивать приготовление смеси в пути, а последнюю порцию воды добавлять уже в перемешанную смесь непосредственно у места укладки для обеспечения заданной подвижности смеси. Если автобетоносмеситель загружают готовой смесью, то технологически допустимое расстояние перевозки составляет 70...90 км.

Выбор той или иной схемы подачи бетонной смеси определяется видом бетонируемой конструкции (сооружения). Наибольшее распространение получили следующие технологические схемы: подача бетонной смеси из бетоновоза (автобетоносмесителя) непосредственно в бетонируемую конструкцию; подача смеси по лоткам, виброжелобам; подача смеси с помощью кранов; подача смеси с помощью бетоноукладчиков, конвейеров, мототележек; подача смеси с помощью пневмонагнетателей и бетононасосов по трубопроводам (рис. 7.37, 7.38).

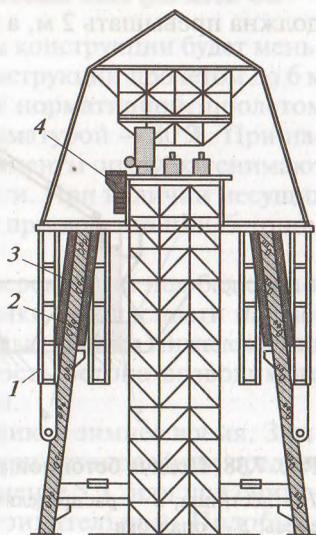


Рис. 7.36. Подъемно-переставная опалубка:

1 — подвесные леса; 2 — внутренняя опалубка; 3 — наружная опалубка; 4 — бункер для бетонной смеси

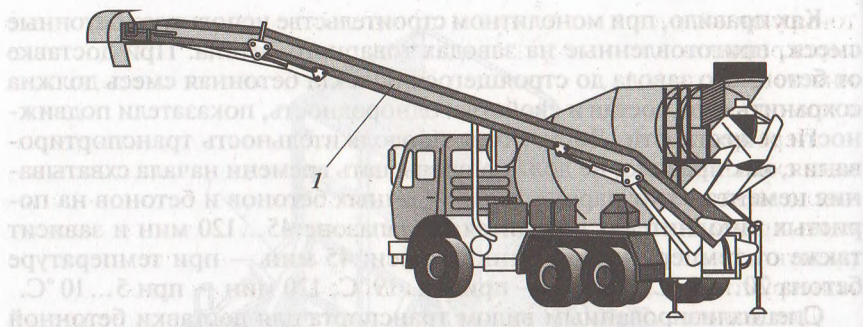


Рис. 7.37. Подача бетонной смеси из бетоносмесителя:

1 — транспортная лента

Смесь укладывают горизонтальными слоями толщиной 30 ... 50 см (из расчета глубины вибрационной проработки) по всей площади бетонируемой части (блока). При этом все слои укладывают в одном направлении непрерывно на всю высоту и тщательно уплотняют. Бетонная смесь распределяется по бетонируемой конструкции с помощью приборов перемещения (бадья, хоботы, распределительные стрелы и т.д.), которые обеспечивают равномерность разгрузки и сокращение ручных операций. Бункеры с бетоном разгружают в нескольких точках или лентой. То же делают при подаче смеси хоботом. Перекидывать (перекидывать) смесь (во избежание ее расслоения) допускается лишь в исключительных случаях; двойная перекидка, как правило, не допускается.

Во всех случаях высота свободного падения бетонной смеси не должна превышать 2 м, а при подаче на перекрытие — 1 м. Если бе-

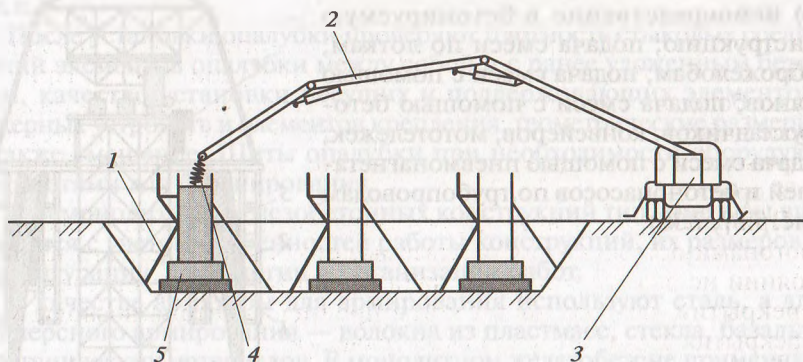


Рис. 7.38. Подача бетонной смеси с помощью бетононасосов:

1 — лестница; 2 — распределительная стрела; 3 — автобетононасос; 4 — бетонная смесь; 5 — опалубка

тонируют колонны со стороны основания более 40 см при отсутствии перекрещивающихся хомутов арматуры, то высота свободного падения не должна превышать 50 см. При большей высоте смесь подают с помощью хоботов и желобов.

Перекрыть предыдущий слой последующим необходимо до начала схватывания цемента в предыдущем слое. Однако значительное число железобетонных конструкций невозможно забетонировать в один прием без перерыва, поэтому бетонируют участками. Бетонируемую конструкцию или сооружение разбивают на участки как по конструктивным, так и по технологическим соображениям.

Для конструктивной разбивки сооружения в нем устраивают деформационные швы, которые, в свою очередь, подразделяются на осадочные, температурные и усадочные.

При заполнении опалубочной формы бетонной смесью ее уплотняют штыкованием, трамбованием, вибрированием или вакуумированием.

Уход за бетоном необходим для создания наилучших условий для его твердения в первые 3...7 сут. Для этого в летних условиях распластанные конструкции (полы, плиты и др.) сразу же после завершения бетонирования укрывают полиэтиленовой пленкой, засыпают слоем опилок и периодически через каждые 3...5 ч поливают водой. Бетон, уложенный в фундаменты, колонны, стены также увлажняют, чтобы избежать быстрого его высыхания и растрескивания от больших усадочных напряжений.

Распалубливают конструкции после достижения бетоном прочности, обеспечивающей сохранность углов, кромок и поверхностей. Несущие элементы опалубки снимают по достижении бетоном прочности, обеспечивающей необходимую несущую способность конструкции.

Если фактическая нагрузка на элементы конструкции будет меньше 70 % от расчетной, то для элементов конструкций пролетом до 6 м эта прочность должна составлять 70 % от нормативной; пролетом более 6 м и конструкций с напрягаемой арматурой — 80 %. При нагрузке более 70 % от расчетной несущие элементы опалубки снимают после набора бетоном проектной прочности. При наличии несущих сварных армокаркасов опалубку снимают при достижении бетоном 25 % проектной прочности.

При распалубливании междуэтажных перекрытий под балками и прогонами оставляют так называемые стойки безопасности на расстоянии не более 3 м друг от друга. Опорные стойки нижележащих перекрытий удаляют тогда, когда прочность бетона возводимого перекрытия достигает проектных значений.

Особое внимание уделяют бетонированию в зимнее время. Зимними считаются условия бетонирования при установлении среднесуточной температуры наружного воздуха менее 5 °С или при снижении в течение суток температуры до отрицательной. Подобные

климатические условия продолжают на территории России в среднем 6...7 мес в году.

Основной проблемой является замерзание в начальный период структурообразования бетона несвязной воды затворения. При отрицательной температуре не прореагировавшая с цементом вода переходит в лед. Вода, тонким слоем находящаяся на поверхности крупного заполнителя и арматуры, в процессе замораживания свежеуложенного бетона образует вокруг арматуры и зерен заполнителя ледяные пленки. Эти пленки благодаря притоку воды из менее охлажденных зон бетона увеличиваются в объеме и отжимают цементное тесто от арматуры и заполнителя, препятствуя необходимому сцеплению с цементным тестом и созданию плотной структуры после оттаивания бетона.

В результате этих процессов прекращается реакция гидратации и, следовательно, бетон не твердеет. Одновременно в бетоне развиваются значительные силы внутреннего давления, вызванные увеличением (примерно на 9 %) объема воды при переходе ее в лед. При последующем оттаивании замерзшая вода вновь превращается в жидкость и процесс гидратации цемента возобновляется, однако разрушенные структурные связи в бетоне полностью не восстанавливаются.

Конечная прочность бетона оказывается на 15...20 % ниже прочности бетона, выдержанного в нормальных условиях твердения, уменьшаются его плотность, стойкость и долговечность.

Если бетон до замораживания приобретает необходимую начальную прочность, то все упомянутые ранее процессы не оказывают на него неблагоприятного воздействия. Критерий морозостойкости — критическая прочность, выраженная в процентах от проектной прочности в возрасте 28 сут, при достижении которой бетон может быть заморожен без снижения его прочностных показателей после продолжения твердения при наступлении положительных температур.

Величина нормируемой критической прочности зависит от типа монолитной конструкции, класса примененного бетона, условий его выдерживания, срока приложения проектной нагрузки к конструкции, условий эксплуатации и составляет:

- для бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой — 50 % проектной прочности из бетонов классов В7,5... В10; 40 % — из бетонов классов В12,5... В25; 30 % — из бетонов класса В30 и выше;
- для конструкций с предварительно-напряженной арматурой — 80 % проектной прочности;
- для конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию или расположенных в зоне сезонного оттаивания вечномёрзлых грунтов, — 70 % проектной прочности;
- для конструкций, нагружаемых расчетной нагрузкой, — 100 % проектной прочности;

- для ненесущих конструкций — 100 %.

При зимнем бетонировании используют следующие методы выдерживания бетона в конструкции: метод «термоса», метод предварительного разогрева бетонной смеси, а также применение бетона с противоморозными добавками.

Метод «термоса» и его разновидности учитывают начальное тепло-содержание бетонной смеси и тепловыделение цемента в процессе его гидратации; он применим для массивных конструкций с модулем поверхности $M < 5$. Степень массивности конструкций характеризуется модулем ее поверхности, представляющим собой отношение площади F охлаждаемых поверхностей конструкции к ее объему V : $M = F/V$. Для колонн, балок и других линейных конструкций модуль поверхности M определяют отношением периметра к площади поперечного сечения.

Основная закономерность метода «термоса» заключается в том, что повышение начальной температуры бетонной смеси с применением более высокой марки цемента пропорционально сокращению сроков выдерживания бетона до приобретения им проектной прочности.

Для ускорения твердения бетона в начальный период термосного выдерживания количество воды затворения должно быть минимальным.

Удобоукладываемость бетонной смеси необходимо повышать введением пластифицирующих добавок. Если метод «термоса» применяют для крупных массивов (например, фундаментная плита), то начальную температуру бетонной смеси следует занижать по сравнению с аналогами, имеющими меньший модуль поверхности. Это делается для избежания значительного саморазогрева бетона, возникающего за счет экзотермии, и предотвращения существенных температурных напряжений в конструкции.

При применении метода «термоса» невозможно активно регулировать процесс остывания выдерживаемой конструкции, поэтому расчетом следует определять продолжительность этого остывания и строго соблюдать предусмотренные расчетом условия. Расчет должен показать, что выдерживаемая инструкция при принятых условиях (при данном виде, марке и расходе цемента, утеплении опалубки и открытых поверхностей, начальной температуры бетона и температуры наружного воздуха) будет остывать до 0°C в течение времени, необходимого для приобретения им заданной прочности.

Определив, таким образом, продолжительность остывания, по графикам прочности в зависимости от средней температуры твердения устанавливают прочность, которую должен получить бетон. Если эта прочность соответствует требуемой прочности к моменту остывания, то заложенные параметры выдерживания принимают для производства работ. При термосном выдерживании массивных конструкций периферийные подвергают искусственному обогреву в

целях обеспечения одинаковых температурно-влажностных условий твердения бетона.

Модификациями метода «термоса», позволяющими расширить область применения на конструкции с $M > 5$, являются «термос» с ускорителями и предварительный электроразогрев бетонной смеси.

Для контроля прочности бетона на месте укладки бетонной смеси в конструкцию отбирают серию двух-трех одинаковых контрольных образцов-кубов.

Выдерживают образцы в тех же условиях, в которых находится бетонируемая конструкция. Для получения более реальной картины прочностных характеристик бетона из тела конструкций выбуривают керны, которые в дальнейшем испытывают на прочность, либо применяют неразрушающие методы контроля прочности бетона непосредственно в конструкции (молоток Кашкарова, ультразвуковой дефектоскоп и др.).

Контрольные вопросы

1. Приведите номенклатуру сборных железобетонных изделий, применяемых в гражданских и промышленных зданиях.
2. Назовите основные технологические операции при производстве сборных железобетонных изделий.
3. Перечислите виды бетоносмесительных узлов.
4. Назовите способы перемешивания компонентов при приготовлении бетонных смесей.
5. Назовите классы и виды арматурной стали.
6. Какие существуют маркировки арматурной стали?
7. Назовите разновидности проволочной и канатной арматурной стали.
8. Какие стали применяются для закладных деталей?
9. Какие операции включает в себя процесс формирования бетонных и железобетонных изделий?
10. Назовите методы формирования бетонных и железобетонных изделий.
11. Как оценивается интенсивность и эффективность виброуплотнения?
12. Назовите особенности следующих способов уплотнения: вибропрессование, вибротрамбование, вибропрокат, вибровакуумирование, центрифугирование.
13. Назовите способы ускорения твердения бетона.
14. Назовите тепловые установки периодического и непрерывного действия.
15. Какие физико-химические процессы происходят в бетоне при тепло-влажностной обработке?
16. От каких факторов зависит длительность предварительной выдержки изделий перед тепловлажностной обработкой?
17. Каким образом осуществляется электропрогрев бетонных и железобетонных конструкций?

18. Перечислите особенности монолитного и сборно-монолитного железобетона.
19. Какие существуют конструктивные схемы зданий?
20. Перечислите основные типы опалубок.
21. Какие существуют схемы подачи бетонных смесей?
22. Как осуществляют уход за уложенной бетонной смесью?
23. Перечислите особенности бетонирования в зимнее время.
24. Что такое величина нормируемой критической прочности и от каких факторов она зависит?
25. Какие методы выдерживания используют при зимнем бетонировании?

АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

8.1. Механические свойства асбестоцемента

Асбестоцемент является цементным композиционным материалом, упрочненным асбестовым волокном.

Применяют главным образом хризотил-асбест ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), отчасти амфиболовые асбесты. Волокна хризотил-асбеста в виде тонких трубочек разной длины имеют внутренний диаметр 5 нм, наружный диаметр 36...43 нм, толщину стенки 15...19 нм. Для асбестоцемента применяют асбест 3—6-го сортов, в котором длина волокнистых частиц изменяется от 10 мм до нескольких сотых долей миллиметра.

В качестве вяжущего используют специальный портландцемент для асбестоцементных изделий М400 и М500 с содержанием $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ не менее 52 %, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ — 3...8 %, CaO — менее 1 %, MgO — менее 5 %, гипса (в пересчете на SO_3) — 1,5...3,5 %. Тонкость помола цемента характеризуется удельной поверхностью 220...320 $\text{м}^2/\text{кг}$. Применяют также песчанистый портландцемент с добавкой 38...45 % молотого песка (при автоклавном твердении изделий), а также белый портландцемент и цветные цементы.

Производство асбестоцементных изделий включает в себя следующие операции:

- 1) расщепление (распушка) асбеста на тонкие волокна;
- 2) приготовление асбестоцементной суспензии;
- 3) отфильтрование из жидкой асбестоцементной массы тонкого полотна;
- 4) формование из него изделий (волнистых (кровельных) и плоских листов, труб, вентиляционных коробов и др.), придание изделиям нужной плотности и формы путем прессования, выгибания, резки (для обеспечения нужных размеров);
- 5) твердение изделий в пропарочных камерах, водных бассейнах, автоклавах и выдерживание их на утепленных складах до приобретения нужной прочности.

Распушку асбеста производят, обрабатывая его на бегунах, а затем в голлендере. Голлендер представляет собой резервуар, внутри которого вращается барабан с ножами. В голлендере смешивают цемент,

воду и асбест. Из голлендера полученная масса идет в ковшовую мешалку, а затем поступает в формовочную машину (листоформовочную или трубоформовочную) (рис. 8.1).

Рабочая часть листоформовочной машины состоит из ванны с асбестоцементной суспензией и полого каркасного барабана, обтянутого металлической сеткой. При вращении барабана на металлической сетке отфильтровывается тонкий слой асбестоцемента, который снимает бесконечная лента технического сукна и переносит на металлический форматный барабан, навивающий концентрические слои асбестоцементной смеси. Когда слой асбестоцемента на форматном барабане достигнет нужной толщины, его разрезают по образующей цилиндра. Получаемый сырой асбестоцементный лист поступает на конвейер для дальнейшей обработки: его разрезают по требуемым размерам, прессуют под давлением 30...40 МПа, а для получения профилированных листов волнируют.

Для изготовления труб применяют съемные форматные барабаны, диаметр которых соответствует внутреннему диаметру трубы. Навивающиеся на сердечник слои асбестоцементной массы впрессовываются. Когда стенка трубы достигнет нужной толщины, форматный барабан (сердечник) снимают и устанавливают новый. Отформованную же трубу снимают с форматного барабана и отправляют в водные бассейны или пропарочные камеры. Твердение изделий завершается в утепленных складах.

Кроме описанного ранее мокрого способа формования асбестоцементных изделий применяют полусухой и сухой способы.

При полусухом способе изделия формуют из концентрированной (сметанообразной) массы с влажностью 30...35 % на специальных машинах бесслынного формования изделий при сильном уплотнении.

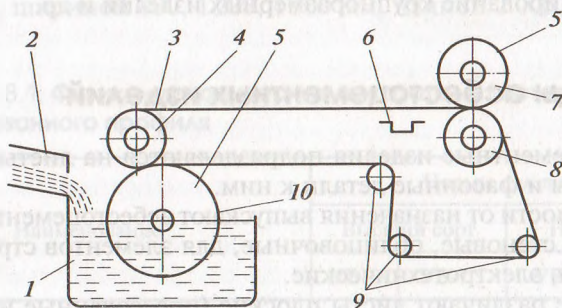


Рис. 8.1. Схема формовочной машины для производства асбестоцементных изделий:

1 — металлическая ванна; 2 — желоб подачи асбестоцементной массы; 3 — лента конвейера; 4 — прижимной вал; 5 — слой асбестоцементной массы; 6 — вакуум-коробка; 7 — форматный барабан; 8 — ведущий вал; 9 — натяжной валик; 10 — барабан, обтянутый металлической сеткой

При сухом способе формования производят распушку асбеста и смешивание его с цементом и молотым песком в сухом состоянии. Затем эту смесь, увлажненную до 14... 16 %, уплотняют на конвейерной линии под прессом или вальцами; изделия (плитки для полов и облицовки) твердеют в автоклавах при температуре 175 °С.

Механические свойства асбестоцемента зависят от содержания асбестового волокна и его качества (длины и диаметра волокон), активности цемента, плотности асбестоцемента, условий твердения и др.

Асбест служит минеральной дисперсной арматурой, которая значительно повышает прочность цементного камня при растяжении. Прочность при растяжении волокна распушенного асбеста — около 700 МПа; по прочности он не уступает лучшим маркам арматурной стали.

При производстве асбестоцементных изделий содержание асбеста в асбестоцементе принято: для листовых изделий — 10... 18 %, для труб — 15... 21 %. Прочность асбестоцемента выше прочности цементного камня: при растяжении — в 3—5 раз, при изгибе — в 2—3 раза.

Прочность асбестоцемента обусловлена его плотностью, прочностью сцепления цементного камня с волокном, содержащим волокна, и степенью его распушки. Все эти факторы регулируют в технологическом процессе производства асбестоцементных изделий.

Положительной особенностью асбестоцемента является его высокая растяжимость $(8... 16) \cdot 10^4$, превышающая растяжимость цементного камня в 6—10 раз.

К недостаткам асбестоцемента относятся хрупкость, склонность к короблению. Эти недостатки устраняют технологическими и конструктивными методами, применяя прессование и автоклавную обработку, армирование крупноразмерных изделий и др.

8.2. Виды асбестоцементных изделий

Асбестоцементные изделия подразделяются на листы, панели и плиты, трубы и фасонные детали к ним.

В зависимости от назначения выпускают асбестоцементные листы кровельные, стеновые, облицовочные, для элементов строительных конструкций, электротехнические.

По форме различают листы плоские (прессованные и непрессованные) и профилированные (волнистые, двойкой кривизны и фигурные).

Волнистые листы в зависимости от высоты волны бывают трех видов: низкого профиля — при высоте волны до 30 мм; среднего профиля — при высоте волны 31... 42 мм; высокого профиля — при высоте волны от 43 мм и более. Листы изготавливают естественного

серого цвета и окрашенные или офактуренные, мелкогазмерные (длинной до 2 000 мм) и крупногазмерные (длинной 2 000 мм и более).

Асбестоцементные волнистые листы унифицированного профиля (УВ) имеют шестиволновый профиль; ширина листа — 1 125 мм, длина — 1 750, 2 000 или 2 500 мм, толщина — 6,0 и 7,5 мм. Обозначение УВ-7,5-1750 указывает толщину и длину листа в миллиметрах. Высота волны: перекрываемой — 45 мм, перекрывающей — 54 мм.

Листы и детали кровли (коньковые, переходные, уголковые и др.) должны быть морозостойкими — выдерживать определенное число циклов попеременного замораживания и оттаивания: листы УВ-6 и детали — 25 циклов; листы УВ-7,5 — 50 циклов. Физико-механические показатели листов унифицированного профиля представлены в табл. 8.1.

Листы среднего профиля (СВ) имеют восьмиволновый или семиволновый профиль; высота волны — 32...40 мм, ширина листов — 980 или 1 130 мм, длина — 1 750, 2 000 и 2 500 мм, толщина — 5,8 и 6 мм. Они применяются для устройства кровель жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий и стеновых ограждений производственных зданий.

Листы обыкновенного профиля (ВО) имеют шестиволновый профиль; высота волны — 28 мм, ширина листов — 686 мм, длина — 1 200 мм, толщина — 5,5 мм. Они предназначены для устройства кровель жилых и общественных зданий.

Листы волнистые усиленного профиля — кровельные ВУ-К и стеновые ВУ-С — имеют шестиволновый профиль; высота волны — 50 мм, ширина листов — 1 000 мм, длина — 2 800 мм, толщина — 8 мм. Они служат для устройства кровель и стеновых ограждений производственных зданий и сооружений.

Асбестоцементные плоские листы выпускают толщиной 4, 5, 6, 8, 10 и 12 мм, шириной 800, 1 200, 1 500 мм, длиной 2 000, 2 500, 3 200, 3 600 мм.

Таблица 8.1. Физико-механические показатели листов унифицированного профиля

Наименование	Нормы для листов			
	Высший сорт		Первый сорт	
	УВ-6	УВ-7,5	УВ-6	УВ-7,5
Средняя плотность, г/см ²	1,7	1,75	1,65	1,7
Нагрузка от штампа, Н	1 470	2 156	1 470	2 156
Предел прочности при изгибе, МПа	17,6	19,6	15,7	18,6
Удельная вязкость, кДж/м ²	1,5	1,6	1Д	1,5

Прочность при изгибе прессованных листов составляет 23... 24 МПа, непрессованных — 17... 18 МПа, морозостойкость — не менее 25 циклов при сохранении 90 % остаточной прочности.

Панели и плиты подразделяют по назначению на кровельные (покрытия, подвесные потолки), стеновые и перегородки. Их изготавливают преимущественно сборными (из отдельных элементов), реже — цельноформованными. По конструкции панели и плиты подразделяют на неутепленные, утепленные и акустические. Плиты утепленные для покрытий промышленных зданий изготавливают двух типов: рядовые АП (основной тип) и краевые АПК (доборные).

Асбоцементные трубы выпускают следующего назначения: водопроводные (напорные и безнапорные), газопроводные, канализационные, вентиляционные, обсадные и муфты. Трубы имеют круглое либо прямоугольное поперечное сечение. Напорные водопроводные трубы по максимальному рабочему давлению подразделяют на классы: до 0,6 МПа — класс ВТ6; до 0,9 МПа — класс ВТ9; до 1,2 МПа — класс ВТ12; до 1,5 МПа — класс ВТ15; до 1,8 МПа — класс ВТ18.

Муфты асбоцементные самоуплотняющиеся типа САМ предназначены для соединения асбоцементных труб. Соединение типа САМ состоит из асбоцементной муфты с проточенными пазами и двух резиновых манжет. Эффект самоуплотнения достигается благодаря давлению воды, которое передается на стенки цилиндрических углублений в манжетах и плотно прижимает их к уплотняемым поверхностям труб и муфт.

Газопроводные трубы по максимальному рабочему давлению подразделяют на марки: ГАЗ-НД — для газопроводов низкого давления (до 0,005 МПа); ГАЗ-СД — для газопроводов среднего давления (до 0,3 МПа).

Контрольные вопросы

1. Назовите виды асбеста и особенности его применения.
2. Каковы свойства асбестового сырья и изделий из асбоцемента?
3. Каковы механические свойства асбоцемента?
4. Назовите виды асбоцементных изделий.
5. Какие вы знаете методы подготовки асбеста к приготовлению технологических смесей?
6. Какие вы знаете методы формования асбоцементных изделий?
7. Приведите химический и минеральный составы хризотил-асбеста.

Глава 9

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

9.1. Получение битумов и дегтей

Органические вяжущие вещества представляют собой смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных, изменяющие свои физико-механические свойства в зависимости от температуры. Эти вещества хорошо сцепляются с поверхностью камня, песка, бетонов, кирпича и многих других твердых материалов, имеют повышенную водонепроницаемость, пластичность и устойчивы к атмосферным воздействиям.

К органическим вяжущим веществам относятся битумные и дегтевые материалы.

Битумы подразделяются на природные и нефтяные. Природные битумы встречаются в виде местных скоплений (озер) или они пропитывают горные породы (известняки, доломиты, песчаники). Производство искусственных битумов основано на технологии переработки нефти или остаточных нефтепродуктов после извлечения из нефти горючих и смазочных веществ.

Дегтевые материалы образуются в результате сухой перегонки сырья, главным образом твердых видов топлива.

Природные битумы с содержанием минеральных примесей свыше 20 % по массе называются *природными асфальтами*, а без минеральных примесей — асфальтитами.

Природные битумы добывают в основном из горных пород — известняков, доломитов, песчаников, сланцев, пропитанных этим битумом. Из асфальтовых пород природный битум извлекают горячей водой (выварка в котлах) или с помощью органических растворителей, например трихлорэтиленом.

При содержании битума в породе в количестве менее 2...3 % ее перемалывают в порошок. Получаемый асфальтовый порошок является ценным компонентом асфальтового бетона.

Нефтяные битумы — это продукты переработки нефти. Основным этапом технологии на нефтеперерабатывающем заводе является разделение нефти на отдельные фракции по их температуре кипения. В результате фракционированной перегонки нефти получают горючие

вещества (бензин, керосин и др.), смазочные масла (веретенное, машинное и др.), а также гудрон или остатки, направляемые для получения нефтяного битума. Нефтяное сырье подвергают дополнительной обработке, после которой образуется битум, обладающий необходимой вязкостью и другими ценными техническими свойствами.

В зависимости от технологии производства различают нефтяные битумы остаточные, получаемые путем дальнейшего глубокого отбора масел из гудронов; окисленные, получаемые окислением (продувка воздуха) гудронов; крекинговые, получаемые окислением (продувка воздуха) крекинг-остатков, образующихся при переработке мазута так называемым крекинг-процессом, т.е. с расщеплением углеводородов при высоких температурах (до 450...600 °С) и больших давлениях (до 0,5 МПа); экстрактные, получаемые путем осаждения наиболее тяжелой асфальтосмолистой части гудрона пропаном или другими слабыми растворителями (деасфальтизацией); кислотные, получаемые нейтрализацией кислых гудронов как остатков от очистки горючих и смазочных масел при помощи серной кислоты.

Вещественный состав дегтя принято определять с помощью реакционной разгонки. При постепенном нагревании деготь разделяют на жидкие фракции и твердый остаток — пек. Остаток от фракционной разгонки — пек — состоит из углеродистых и смолистых тяжелых веществ. От сырого дегтя, полученного при коксовании или полукоксовании угля, отгоняется легкая и частично средняя фракции, поэтому применяемый в технике деготь часто называют отогнанным.

Часто употребляют так называемый составленный каменноугольный деготь, получаемый искусственным сплавлением пека с тяжелым или антраценовым маслом. Пек выпускают трех марок: мягкий, средний и твердый.

9.2. Битумы, их состав, структура и свойства

Битумы — вещества, состоящие из смеси высокомолекулярных углеводородов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. Битумы обладают характерным свойством — при нагревании первоначальная вязкость уменьшается, а при охлаждении снова восстанавливается.

Основными групповыми углеводородами в составе битума являются масла, смолы, асфальтены, асфальтогеновые кислоты и их ангидриды.

Масла представляют собой флюоресцирующие вязкие компоненты битума с плотностью менее единицы. Они состоят в основном из нафтенных и полинафтенных. Молекулярная масса масел равна 100...500, а их содержание в битумах колеблется в диапазоне 45...60 %.

Смолы — вещества темно-коричневого цвета. Молекулярная масса смол — около 500...1000.

Рис. 9.1. Прибор для определения глубины проникания иглы (пенетрометр):

1 — подставка; 2 — игла; 3 — кнопка; 4 — шкала

Асфальтены и их модификации — карбены и карбоиды — твердые, хрупкие и неплавкие вещества с плотностью более единицы. Молекулярная масса их равна 1 000 ... 5 000 и выше. Для асфальтенов, выделяемых из природных битумов, характерно высокое содержание серы в соединениях (до 10 %). В нефтяных битумах серы содержится до 8 %, а в асфальтенах этих битумов — до 2 %. Общее содержание асфальтенов в разных по вязкости битумах составляет от 5 до 30 % и более.

Асфальтогеновые кислоты относятся к группе полинафтоновых кислот; они могут быть высоковязкими или твердыми.

Основными свойствами, характеризующими качество битумов, являются вязкость, пластичность, температуры размягчения и хрупкости.

Вязкость битумов определяют на пенетрометре (рис. 9.1) путем погружения иглы в испытуемый битум под определенной нагрузкой и при определенной температуре. Чем больше глубина погружения (проникания) иглы в битум, тем меньше вязкость.

По стандарту пластичность битумов характеризуется условно по растяжимости, определяемой на приборах, называемых дуктилометрами (рис. 9.2). Как правило, растяжимость битума возрастает при увеличении содержания смол. Важно, чтобы битумы обладали некоторой растяжимостью (сохраняли пластические свойства) при

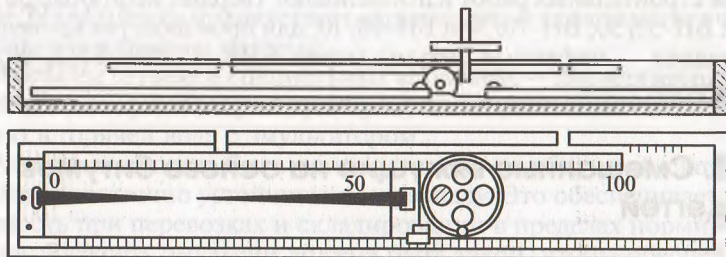
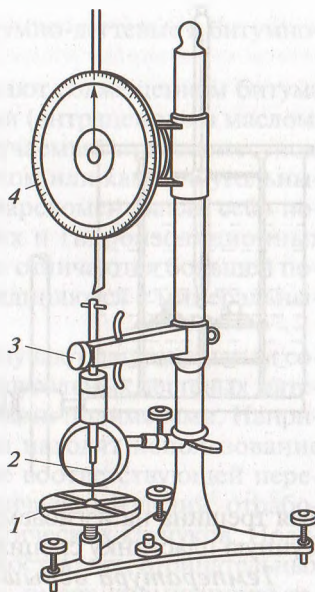


Рис. 9.2. Прибор для определения растяжимости битума (дуктилометр)

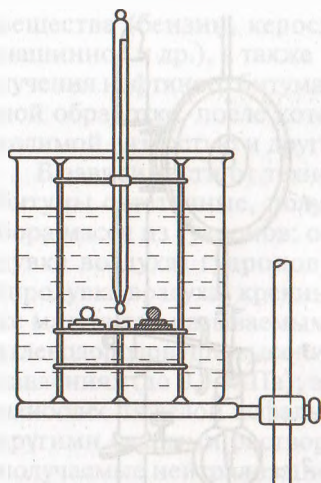


Рис. 9.3. Прибор для определения температуры размягчения битума («Кольцо и шар»)

низких температурах, поэтому по стандарту ее определяют при двух температурах: 25 и 0 °С.

Температура размягчения, определяемая на стандартном приборе «Кольцо и шар» (рис. 9.3), соответствует такому состоянию битума при его постепенном нагревании, при котором слой в стандартном кольце вязко деформируется под воздействием свободно лежащего металлического шарика.

Температурой хрупкости называется температура, при которой образуется первая трещина на изгибаемом тонком слое битума, нанесенном на латунную пластинку специального прибора.

Температура вспышки характеризует степень огнеопасности битума при разогревании в котлах. Она определяется в момент вспышки паров, выделяемых в открытом тигле из битума с приближением огня. Недостатком битумов является также повышенная хрупкость при отрицательной температуре.

Нефтяные битумы должны отвечать определенным техническим требованиям в зависимости от их назначения. Для дорожного строительства предусмотрены битумы улучшенные нефтяные дорожные вязкие (БНД) пяти марок: БНД-200/300, БНД-130/200, БНД-90/130, БНД-60/90 и БНД-40/60. Числа означают допустимые пределы отклонений глубины проникания иглы пенетromетра при 25 °С. Кроме того, нормируются глубина проникания при 0 °С, растяжимость, температура размягчения, температура хрупкости и другие свойства. Выпускаются также жидкие дорожные битумы трех классов: БГ, СГ и МГ (соответственно быстрогустеющие, густеющие со средней скоростью и медленногустеющие жидкие битумы).

Для строительных работ изготавливают твердые нефтяные битумы марок БН-50/50, БН-70/30 и БН-90/10; для производства кровельных материалов — нефтяные битумы марок БНК-45/180, БНК-90/40 и БНК-90/30.

9.3. Смешанные вяжущие на основе битумов и дефтей

Смешанные вяжущие создаются в целях снижения отрицательного влияния свойств отдельных вяжущих. В практике строительства

наибольшее распространение получили битумно-дегтевые и битумно-дегтеполимерные вяжущие.

Битумно-дегтевые (БД) вяжущие получают совмещением битума с дегтем или дегтесодержащими продуктами (антраценовым маслом, пеком). Чаще используют гидрокам, получаемый при совместном окислении смеси битума или гудрона с пеком или каменноугольными маслами. Битумно-дегтевые вяжущие зарекомендовали себя положительно при производстве кровельных и гидроизоляционных материалов, при изготовлении мастик. Они отличаются большей погодоустойчивостью, чем дегти, и лучше соединяются с минеральными материалами.

Битумно-дегтеполимерные вяжущие получают рациональным совмещением нефтяных битумов или каменноугольных дегтевых материалов чаще с каучуком или каучукоподобными полимерами. Например, в практике дорожного строительства находят использование битумно-резиновые вяжущие, получаемые соответствующей переработкой отходов производства резинотехнических изделий, отработанных автомобильных покрышек и синтетических каучуков. Полученный материал отличается меньшей хрупкостью при отрицательных температурах, более устойчив к старению, имеет повышенную теплоустойчивость.

9.4. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты

Битумные и дегтевые эмульсии и пасты представляют собой разновидности вяжущих материалов жидкой (эмульсии) или сметанообразной консистенции (пасты). Их приготавливают в основном из двух не смешивающихся между собой жидкостей: битума (или дегтя) и воды. Для обеспечения устойчивости к распаду системы в ее состав вводят эмульгатор, представляющий собой поверхностно-активное вещество, которое резко снижает поверхностное напряжение на границе раздела «битум (деготь) — вода». Устойчивость эмульсии (пасты) обеспечивает механически прочная оболочка, образующаяся вокруг мельчайших (до 0,1 мм) частичек диспергированного битума или дегтя. Такая пленка препятствует укрупнению и слиянию этих частиц и создает устойчивую систему.

Эмульсии готовят в специальных аппаратах — диспергаторах, обеспечивающих равномерное распределение расплавленного битума (дегтя) в горячей воде с эмульгатором.

Эмульсии должны быть однородными, с небольшой скоростью распада, достаточно устойчивыми к распаду. Это обеспечивает их сохранность при перевозках и складировании в пределах нормируемых сроков. Вязкость эмульсии должна быть такой, чтобы обеспечить ее легкий разлив по поверхности в холодном состоянии. Для снижения вязкости эмульсий и паст перед нанесением их разбавляют водой.

Эмульсии обладают преимуществом перед горячим битумом и дегтем — они легко и хорошо распределяются по поверхностям зерен минеральных материалов, что позволяет снижать расход вяжущего (до 30 %).

Возможность их использования в холодном виде (при положительной температуре в любую погоду) предопределяет их широкое использование в гидроизоляционных работах при приклеивании рулонных материалов, устройстве гидро- и пароизоляционных покрытий, грунтовок под гидроизоляцию и при выполнении дорожных работ. В практике строительства больше востребованы битумные эмульсии и пасты.

При работе с битумными, а особенно с дегтевыми, эмульсиями и пастами необходимо строго выполнять правила охраны труда, личной гигиены и противопожарных мероприятий.

9.5. Асфальтовые бетоны и растворы

Для приготовления асфальтовых растворов и бетонов применяют асфальтовое вяжущее, представляющее собой смесь нефтяного битума с тонкомолотыми минеральными порошками (известняка, доломита, мела, асбеста, шлака). Минеральный наполнитель повышает температуру размягчения битума.

Для производства асфальтовых бетонов используют крупный заполнитель в виде щебня из изверженных и осадочных горных пород и мелкий заполнитель в виде кварцевого песка.

Асфальтовые бетоны применяют в гидротехническом, дорожном и аэродромном строительстве.

Асфальтовые бетоны укладывают в горячем или холодном состоянии. Наиболее распространены горячие асфальтобетонные смеси, имеющие при укладке температуру 140 ... 170 °С. Для их приготовления предварительно высушенные и подогретые до 180 ... 200 °С минеральные составляющие бетона (тонкомолотый наполнитель, песок и щебень) загружают в смеситель, в котором их перемешивают с расплавленным до 150 ... 170 °С битумом. Готовые горячие смеси привозят на специальных машинах и после укладки уплотняют катками. После остывания, через 1 ... 2 ч, асфальтобетон затвердевает, приобретая плотность и прочность.

Асфальтовые бетоны, укладываемые в холодном состоянии, готовят на жидких битумах и битумной эмульсии. Жидкий битум подогревают до 100 ... 120 °С и смешивают с высушенными и подогретыми до той же температуры заполнителями. Асфальтобетонную смесь охлаждают до 60 °С, развозят на места и укладывают при температуре окружающей среды не ниже 5 °С. Бетон готовят и на битумной эмульсии, смешивая вяжущие и заполнители без подогрева.

В дегтебетон в качестве вяжущего вещества входит деготь (или пек). Водостойкость, износ и долговечность дегтебетона ниже, чем асфальтового бетона.

Контрольные вопросы

1. Что собой представляют битумы и дегти?
2. Какие вы знаете методы получения битумов и дегтей?
3. Назовите вещественный состав битумов.
4. Что собой представляют масла, смолы, асфальтены?
5. Назовите свойства битумов.
6. Какие существуют смешанные вяжущие на основе битумов и дегтей?
7. Какие вы знаете битумные и дегтевые эмульсии и пасты?
8. Назовите составы асфальтобетона и асфальтораствора.

Глава 10

БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

10.1. Общие сведения

Кровельные гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей выпускают в виде рулонов, мастик, эмульсий и паст (для обмазочных склеивающих работ). Все рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы подразделяются на основные и безосновные. Основные материалы получают путем обработки основы битумами, дегтями и их смесями.

Наиболее широко в качестве основы применяют кровельный картон (для производства рубероида, пергамина, толя), однако более прочными и долговечными являются рулонные материалы на основе асбестового картона (гидроизол), стеклоткани и стеклохолста (стеклорубероид), алюминиевой фольги (фольгоизол).

Безосновные материалы в виде полотнищ заданной толщины получают прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей органических вяжущих с наполнителями и добавками.

Герметизирующие материалы используются преимущественно для уплотнения наружных швов (стыков) между элементами сборных конструкций зданий и сооружений.

10.2. Рулонные битумные и дегтевые материалы, имеющие основу

Кровельный картон, применяемый в качестве основы для производства рулонных кровельных материалов, должен иметь хорошую впитывающую способность, обеспечивающую полную пропитку его расплавленными битумами или дегтями, а также определенную прочность на разрыв. Он выпускается разной толщины в рулонах шириной 1 000, 1 025 и 1 050 мм. В зависимости от качественных показателей и массы 1 м кровельный картон (по ГОСТ 3135 — 75) подразделяется на марки: А-500, А-400, А-300, Б-400, Б-350, Б-300, В-400, В-350, В-300.

Рубероид — кровельный материал, получаемый пропиткой кровельного картона расплавленными мягкими битумами, имеющими температуру размягчения не ниже 40 °С, с последующим покрытием материала с обеих сторон тугоплавкими битумами с температурой размягчения не менее 85 °С. В покровный слой обычно еще вводится минеральный наполнитель. В соответствии с назначением, видом посыпки и массы 1 м кровельного картона рубероид подразделяется на следующие марки: РКК-500А, РКК-400А, РКК-400Б, РКК-400В, РКМ-350Б, РКМ-350В, РПМ-300А, РПМ-300Б, РПМ-300В, РПП-350Б, РПП-350В, РПП-300А, РПП-300Б, РПП-300В.

Допускается выпуск кровельного рубероида с чешуйчатой посыпкой марок РКЧ-350Б и РКЧ-350В, по качественным показателям соответствующего рубероиду марок РКМ-350Б и РКМ-350В и предназначенного для верхнего слоя кровельного ковра. Буква Р означает рубероид, К и П — соответственно кровельный и подкладочный, К, М, П, Ч — виды посыпки (соответственно крупнозернистая, мелкозернистая, пылевидная, чешуйчатая), а число означает массу (в граммах) 1 м² кровельного, не пропитанного битумом картона.

Пергамин кровельный изготавливают пропиткой кровельного картона расплавленными мягкими битумами (БНК-45/180). Пергамин не имеет покровного слоя и выпускается двух марок: П-350, П-300 с площадью рулона 20 или 40 м². Пергамин применяют как подкладочный материал под рубероид, а также для гидроизоляции и пароизоляции на горячих битумных мастиках.

Стеклорубероид — кровельный и гидроизоляционный материал, получаемый нанесением пластифицированного биостойкого тугоплавкого битумного вяжущего на обе стороны стекловолокнистого холста. Битумное вяжущее должно состоять из сплава битумов, пластификатора, антисептика и наполнителя. Лицевая поверхность стеклорубероида покрывается сплошным слоем крупнозернистой или чешуйчатой посыпки, а нижняя поверхность кровельного стеклорубероида и обе поверхности гидроизоляционного стеклорубероида покрываются мелкой или пылевидной посыпкой.

В зависимости от вида посыпки на лицевой стороне и назначения стеклорубероид выпускают следующих марок: кровельный с крупнозернистой посыпкой (С-РК), кровельный с чешуйчатой посыпкой (С-РЧ).

Металлоизол — рулонный водонепроницаемый гидроизоляционный материал, в котором основой служит алюминиевая фольга толщиной 0,05 и 0,10 мм, покрытая с обеих сторон битумной мастикой. В зависимости от толщины фольги выпускают металлоизол двух марок: МА-550 и МВ-270. Применяют его для оклеечной гидроизоляции подземных сооружений.

Гидроизол — беспокровный биостойкий материал, изготавливаемый пропиткой асбестовой бумаги нефтяными битумами с температурой размягчения не ниже 50 °С. Асбестовая бумага используется с

массой 1 м не менее 400 г. Гидроизол выпускают марок ГИ-Г и ГИ-К (площадью 20 м²). Марку ГИ-Г применяют для оклеечной гидроизоляции подземных и других сооружений, а также в качестве противокоррозионного покрытия металлических трубопроводов, работающих при температуре до 40 °С.

Гидроизол марки ГИ-Г более гибкий и более прочный на разрыв, обладает меньшим водопоглощением и более высокой водонепроницаемостью.

Марка ГИ-К (кровельный) предназначена главным образом для гидроизоляции плоских кровель. Гидроизол из-за асбестовой основы не гниет и долговечнее рубероида.

Толь кровельный и гидроизоляционный — рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона дегтями. Для пропитки и покровного слоя используют обычно каменноугольные или сланцевые дегтевые продукты, не содержащие летучих веществ, отгоняющихся при температуре ниже 130 °С. В соответствии с назначением, видом посыпки и массы 1 м² кровельного картона толь подразделяется на шесть марок. Толь с песочной посыпкой ТКП-350 и ТКП-400 имеет на обеих сторонах покровную пленку из пропиточной массы и слой кварцевого песка, его применяют для верхнего и нижнего слоев кровельного ковра.

Толь с крупнозернистой посыпкой ТКК-350 и ТКК-400 имеет на обеих сторонах плотный покровный слой более тугоплавких дегтепродуктов с минеральным наполнителем и, кроме того, на лицевой стороне имеет еще значительный слой крупнозернистой посыпки, а на нижней — слой мелкозернистой или пылевидной минеральной посыпки, он предназначен для верхнего слоя кровельного ковра.

Толь гидроизоляционный с покровной пленкой ТГ-300 и ТГ-350 имеет на обеих сторонах покровную пленку пропиточного состава, на лицевой стороне — защитный слой мелкозернистой минеральной посыпки, а на нижней стороне — мелкозернистую или пылевидную минеральную посыпку. Применяется этот вид толя для гидроизоляции или пароизоляции строительных конструкций и нижних слоев кровельного ковра.

Изол — гидроизоляционный и кровельный рулонный материал, получаемый путем прокатывания на каландрах смеси из битумно-резинового вяжущего (получаемого путем термомеханической обработки девулканизированной резины и нефтяного битума), асбеста, пластификатора и антисептика. Изол выпускают двух марок: И-БД (без полимерной добавки) и И-ПД (с полимерной добавкой), в рулонах толщиной 2 мм и площадью 10 и 15 м². Применяют его для оклеечной изоляции стен подвалов, подземных сооружений, фундаментов, для антикоррозионной защиты трубопроводов, покрытия двух- и трехслойных пологих и плоских кровель. Этот материал обладает повышенной деформационной способностью, водонепрони-

цаем, биостоек, эластичен, что позволяет использовать его в интервале температур от -35 до $+150$ °С. Выпускается также мастика «изол» для приклеивания рулонного изола.

Бризол изготавливают вальцеванием и последующим каландрированием смеси, состоящей из нефтяного битума, дробленой резины (из изношенных покрышек), асбеста 7-го сорта и пластификатора. Выпускают бризол двух марок: Бр-С — бризол средней прочности ($R_p \geq 0,8$ МПа); Бр-П — бризол повышенной прочности ($R_p \geq 1,5$ МПа).

Бризол — эффективный антикоррозионный материал, применяемый для защиты подземных стальных трубопроводов от воздействия агрессивных грунтовых вод, а также для гидроизоляции подземных сооружений.

Битумно-полимерный материал (ГМП) — это безосновный гидроизоляционный материал, изготавливаемый вальцеванием и каландрированием смеси битумов высоких марок, полиизобутилена, фенолоформальдегидной смолы и пылевидно-волоконистых наполнителей (талык, асбест). Этот материал используется для пароизоляции и гидроизоляции тоннелей, плотин, а также для покрытий плоских кровель и антикоррозионных покрытий металлических трубопроводов.

Он выпускается марок ГМП-8, ГМП-10, ГМП-12.

При устройстве многослойных кровельных и гидроизоляционных покрытий рулонный материал приклеивают к основанию, а также склеивают между собой специальными мастиками. Мастики могут также применяться в виде обмазочной и штукатурной гидроизоляции. Они представляют собой пластичные вещества, получаемые смешиванием органических вяжущих веществ с минеральными наполнителями и добавками (пластифицирующими и др.). В зависимости от применяемого вяжущего мастики подразделяются на битумные, дегтевые, битумно-дегтевые, гидрокамовые, битумно- и дегтеполимерные и битумно-резиновые.

По способу изготовления и применения различают мастики горячие, которые применяют в расплавленном виде, и холодные, которые применяют без предварительного подогрева.

10.3. Герметизирующие материалы

Строительные герметики — это материалы, предназначенные для герметизации стыков наружных стеновых панелей в крупнопанельном домостроении, осадочных и температурных швов в строительных конструкциях, мест примыкания оконных и дверных блоков, мест сопряжения сборных кровельных настилов и др. Герметики применяются также в сопряжениях сборных элементов тоннелей, коллекторов, резервуаров, гидротехнических мелиоративных сооружений, вентиляционных шахт. Деформационные швы с уплотнениями

устанавливают в бетонных и железобетонных сооружениях плотин, в облицовках каналов, водохранилищ и др.

Выпускаемые промышленностью герметизирующие материалы подразделяются на три группы: профильные эластичные прокладки, пастоэластичные (невывсыхающие) мастики и эластичные вулканизирующиеся пасты.

Уплотняющие прокладки выпускают в виде полос и жгутов с различными профилями поперечного сечения. Наибольшее применение в строительстве получили профильные прокладки (пороизол, гернит, УГС, УП-50), пенополиуретановые прокладки и каучуковые уплотнительные ленты.

Пороизол — пористый, гнилостойкий и долговечный материал, эластичный при температуре от +80 до -50 °С; изготавливается вулканизацией газонаполненной резины, модифицированной нефтяными дистиллятами. В зависимости от назначения выпускается в виде упругих полос прямоугольного сечения 40 × 20 и 30 × 40 мм, лент или жгутов диаметром 10, 20 и 45 мм. Производится пороизол двух марок: М — с незакрытыми порами на поверхности (водопоглощение — 5 %); П — с защитным протектором из монолитной озоностойкой пленки (водопоглощение — 1 %). Пороизол М при укладке в стыки покрывается пленкой мастики «изол» для закрытия пор на поверхности материала; пороизол марки П применяется без какой-либо дополнительной обработки. Предназначается пороизол для герметизации горизонтальных и вертикальных стыков наружных стеновых панелей.

Гернит — резиновая пористая прокладка серо-коричневого цвета с воздухо- и водонепроницаемой пленкой на поверхности. Изготавливают его на основе стойкого, негорючего полихлоропренового каучука найрита в виде прокладок диаметром 20, 40, 60 мм и длиной 3 м.

Выпускают пористый гернит П и плотный гернит С, обладающий большей прочностью при растяжении и лучшими деформативными свойствами.

Гернит применяется для уплотнения горизонтальных и вертикальных стыков наружных панелей и как уплотнитель стыков между тубингами в тоннелях метрополитена.

Уплотнители горизонтальных стыков (УГС) представляют собой мягкие пористые эластичные ленты (сечением 4 × 5 см). Изготавливают их из амортизированной резины или отходов резиновой промышленности, полиизобутилена, порообразователя и наполнителя. Применяют УГС только в горизонтальных стыках, так как он медленно восстанавливает свой первоначальный объем.

Полиизобутиленовая пленка УП-50 толщиной 0,5 мм применяется для герметизации вертикальных и горизонтальных стыков наружных панелей. Пленку выполняют двухслойной, общей толщиной 1 мм; ее приклеивают невывсыхающим вязким клеем КД-50.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные рулонные битумные и дегтевые материалы.
2. Назовите обмазочные и склеивающие материалы на основе битумов и дегтей.
3. Назовите представителей герметизирующих материалов.
4. Назовите основные гидроизоляционные и кровельные материалы.
5. Назовите бесосновные гидроизоляционные и кровельные материалы.
6. Где преимущественно используются герметизирующие материалы?
7. Чем отличается рубероид от пергамина?
8. Назовите дегтевые кровельные материалы.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПЛАСТМАСС

11.1. Общие сведения

Пластическими массами называются материалы, содержащие высокомолекулярные соединения — полимеры. Молекулы высокомолекулярных соединений состоят из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего макромолекулы таких соединений построены путем многократного повторения определенных структурных конфигураций.

Пластмассы получают обычно из связующего вещества и наполнителя, вводя в состав исходной массы те или иные специальные добавки: пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и красители.

Связующим веществом в пластмассах служат различные полимеры: синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы.

Для производства полимеров имеются огромные запасы сырья. Исходными материалами для их получения являются природный газ и так называемый попутный газ, сопровождающий выходы нефти. В газообразных продуктах переработки нефти содержатся этилен, пропилен и другие газы, перерабатываемые на предприятиях в полимеры.

Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля и содержащий фенол и другие компоненты.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна. В виде наполнителей слоистых пластмасс широко применяют также бумагу, ткани, древесный шпон и другие листовые материалы. Наполнители значительно уменьшают потребность в дорогом полимере и тем самым намного удешевляют изделия из пластмасс. Кроме того, наполнители улучшают ряд свойств изделий — повышают теплостойкость и твердость, а волокна ткани и листовые материалы сильно повышают сопротивление растяжению и изгибу, действуя подобно арматуре в железобетоне.

Пластификаторы — это вещества, добавляемые к полимеру для повышения его высокоэластичности и уменьшения хрупкости.

11.2. Связующие вещества

Синтетические полимеры в зависимости от метода получения подразделяются на полимеризационные и поликонденсационные. *Полимеризационные полимеры* (полиэтилен, полиизобутилен, полистирол, полиметилметакрилат и т. п.) получают преимущественно методами полимеризации. Полимеризации могут подвергаться только такие мономеры, в молекулах которых содержатся кратные связи (или циклические группировки). За счет этих связей (или за счет раскрытия цикла) у молекул исходного вещества образуются свободные валентности, которыми они соединяются между собой в макромолекулы. Поскольку в процессе полимеризации не отщепляются атомы и атомные группы, химический состав полимера и мономера одинаков.

Поликонденсационные полимеры (фенолоальдегидные, мочевиноальдегидные, эпоксидные, полиэфирные, полиамидные и т. п.) получают методами поликонденсации. При поликонденсации макромолекулы образуются в результате химического взаимодействия между функциональными группами, находящимися в молекулах исходных веществ. Это взаимодействие сопровождается отщеплением молекул побочных продуктов: воды, хлористого водорода, аммиака и др. В связи с этим химический состав получаемого полимера отличается от состава исходных низкомолекулярных веществ.

По внутреннему строению различают линейные и пространственные (с поперечными связями и сетчатые) полимеры.

Линейные полимеры состоят из длинных нитевидных макромолекул, связанных между собой слабыми силами межмолекулярного взаимодействия. Однако наличие в структурных единицах составляющих полимерполярных группировок атомов усиливает взаимодействие между цепями.

В *пространственных (трехмерных) полимерах* прочные химические связи между цепями приводят к образованию единого пространственного каркаса. Пространственные структуры гораздо хуже деформируются, чем структуры из линейных молекул. При образовании сплошной пространственной структуры полимер приобретает свойства твердого упругого тела (типа эбонита).

Различие во внутреннем строении линейных полимеров и полимеров с жестким пространственным каркасом отчетливо проявляется при нагревании. Линейные полимеры при нагревании размягчаются и переходят в вязкоупругое (каучукоподобное) состояние, поскольку межмолекулярные силы и водородные связи между их цепями преодолеваются при умеренном повышении температуры. Они являются термопластичными.

Термопластичными (термопластами) называются полимеры, способные обратимо размягчаться при нагреве и отверждаться при охлаждении, сохраняя основные свойства.

В пространственных полимерах с жестким каркасом ковалентные связи между цепями имеют прочность того же порядка, что и прочность связей внутри цепи. Для разрыва таких связей тепловым движением требуется высокая температура, которая может вызвать разрыв связей не только между цепями, но и внутри цепей. Разрыв наименее прочных связей, существующих внутри цепей, является началом деструкции (химического разложения) полимера. Такой процесс необратим. Эти полимеры являются термореактивными.

Термореактивными (или *реактопластами*) называются полимеры, которые будучи отвержденными, не переходят при нагреве в пластическое состояние.

Полимеризационные полимеры. *Полиэтилен* ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$)_n получают путем полимеризации этилена. Полиэтилен представляет собой твердый белый роговидный продукт. Его выпускают в виде гранул размером 3...5 мм или в виде белого порошка.

Технические свойства полиэтилена зависят от молекулярной массы, разветвленности цепи и степени кристалличности. Полиэтилен — один из самых легких полимеров; его плотность меньше плотности воды (0,92...0,97 г/см³). В сочетании с высоким пределом прочности при растяжении (12...32 МПа) это дает высокий коэффициент конструктивного качества. Высокие прочностные свойства полиэтилена благоприятно сочетаются с незначительным водопоглощением (0,03...0,04 %), высокой химической стойкостью и морозостойкостью. Следует учитывать особенности полиэтилена, свойственные всем линейным полимерам: низкий модуль упругости (150...800 МПа), малая твердость, ограниченная теплостойкость (108...130 °C), большой коэффициент теплового расширения.

Полиэтилен применяют для изготовления гидроизоляционных материалов, труб, предметов санитарно-технического оборудования.

Поливинилхлорид (ПВХ) является продуктом полимеризации винилхлорида. Мономер ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ, обладающий эфирным запахом. Винилхлорид (хлорвинил) получают из ацетилена или из дихлорэтана.

Высокие механические свойства поливинилхлорида определили главные области его применения в строительстве. Этот полимер используют в основном для производства разнообразных материалов для чистых полов: однослойного безосновного линолеума, линолеумов на тканевой и тепловой основах, многослойных линолеумов, плиток для полов. Из поливинилхлорида изготавливают гидроизоляционные и отделочные декоративные материалы.

Ценным свойством поливинилхлорида является стойкость к воздействию кислот, щелочей, спирта, бензина, смазочных масел. Поэтому его широко применяют для производства труб, используемых в системах водоснабжения, канализации и технологических трубопро-

водов. Из него изготавливают плитуса, поручни, ячеистые теплоизоляционные материалы.

Недостатками поливинилхлорида являются резкое понижение прочности при повышении температуры, а также ползучесть при длительном действии нагрузки.

Перхлорвинил получают хлорированием поливинилхлорида в хлорбензоле до содержания 60... 80 % хлора. Перхлорвиниловые составы хорошо зарекомендовали себя в качестве фасадных красок. Устойчивость перхлорвинила к агрессивным средам (кислотам, щелочам и др.) обеспечивает их долговечность. Температура размягчения перхлорвинила — 85... 100 °С.

Полистирол является одним из наиболее применяемых полимеров. Его получают путем полимеризации мономера — стирола $C_6H_5CH=CH_2$. Стирол (винилбензол) получают из этилена и бензола.

При обычной температуре полистирол представляет собой твердый прозрачный материал, похожий на стекло, пропускающий до 90 % видимой части спектра. Выпускают полистирол в виде гранул (размером 6... 10 мм), мелкого и крупнозернистого порошка, а также в виде бисера (при суспензионном методе производства) с влажностью до 0,2 %.

Обладая высокими механическими свойствами ($R_p = 35... 60$ Па; $R_{сж} = 80... 110$ МПа), полистирол водостоек, хорошо сопротивляется воздействию концентрированных кислот (кроме азотной и ледяной уксусной кислот), противостоит растворам щелочей (с концентрацией до 40 %).

Полистирольные облицовочные плитки долговечны, их применяют (взамен керамических плиток) для облицовки стен ванных комнат, санузлов, кухонь, лабораторных помещений и т. п. Однако полистирольные пленки уступают полиэтиленовым и поливинилхлоридным пленкам, они более хрупки.

К недостаткам полистирола, ограничивающим его применение, относятся: невысокая теплостойкость, хрупкость, проявляющаяся при ударной нагрузке.

Полиметилметакрилат, называемый также органическим стеклом, является продуктом полимеризации метилового эфира метакриловой кислоты. Метилметакрилат синтезируют в виде бесцветной прозрачности жидкости, подвергая сложной химической переработке исходные сырьевые продукты (нефтяные углеводороды, природный газ и др.).

Особенностью органического стекла являются его исключительная прозрачность, бесцветность, способность пропускать ультрафиолетовые лучи, светостойкость и атмосферостойкость. Органическое стекло пропускает 73,5 % ультрафиолетовых лучей, обычное силикатное стекло — лишь 0,6 %, зеркальное силикатное — 3 %, а кварцевое стекло — 100 %. Поэтому органическое стекло применяют для остек-

бления окон больниц, витрин, теплиц, парников, фонарей производственных помещений, декоративных ограждений и т.п. При температуре выше 90°C полимер становится эластичным и хорошо формируется. Полиметилметакрилат легко обрабатывается резанием, шлифовкой.

Техническое органическое стекло имеет высокую прочность ($R_{сж} = 140$ МПа). Ударная вязкость органического стекла почти не снижается в интервале температур от 60 до 183 °C. Однако недостаточная абразиво- и теплостойкость (80 °C) ограничивают применение органического стекла. Этот полимер не стоек в растворах кислот и щелочей, легко растворяется в органических растворителях (ацетон и т.п.), при соприкосновении с огнем горит ярким пламенем.

Поливинилацетат получают в результате полимеризации винилацетата (сложного эфира уксусной кислоты и винилового спирта).

Поливинилацетатные смолы бесцветны, эластичны, светостойки, хорошо прилипают к поверхности различных материалов, поэтому их используют для изготовления эмульсионных красок, клеев, мастик. Водные дисперсии полимера применяют для устройства бесшовных полов, а также вводят в цементные бетоны и растворы в целях увеличения их водонепроницаемости и химической стойкости.

Полиизобутилен ($-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$)_n — продукт полимеризации изобутилена $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$, получаемого из продуктов переработки нефти. Полимер представляет собой эластичный каучукоподобный материал. В отличие от каучуков полиизобутилен не способен к реакции вулканизации («сшивке» молекул). Он легкий, как и полиэтилен, но значительно эластичнее.

Полиизобутилен способен выдержать относительное удлинение 1 000 ... 2 000 %. Он водостоек, на него не действуют кислоты, щелочи. Высокая морозостойкость обусловлена низкой температурой стеклования (–75 °C). Полиизобутилен в сочетании с наполнителями (сажей, графитом, тальком) применяют в разнообразных материалах, служащих для упрочнения горизонтальных и вертикальных швов в панельных зданиях.

Индено-кумароновый полимер получают в результате полимеризации ароматических соединений: кумарона, индена, стирола и их гомологов, находящихся в сыром бензоле и фенольной фракции каменноугольного дегтя. Полимер применяют для лаков, из него изготавливают плитки для пола.

Поликонденсационные полимеры. Фенолоальдегидные полимеры получают в результате реакции поликонденсации фенолов (фенола, резорцина, крезол и др.) с альдегидами (формальдегидом, фурфуролом, лигнином и т.п.). Фенолоформальдегидный полимер первый получил широкое применение в технике.

Свойства и характер получаемого продукта реакции поликонденсации фенола с альдегидами определяют химическое строение реа-

гирующих молекул, их молярное соотношение и кислотность реакционной среды. В зависимости от этих факторов получают либо термопластичные (новолачные), либо термореактивные (резольные) полимеры.

Новолачные полимеры (новолаки) с линейным строением молекул и термопластичными свойствами получают при избытке фенола и конденсации в кислой среде.

Термореактивные (резольные) полимеры с трехмерным строением молекул образуются при избытке формальдегида и конденсации в щелочной среде.

Фенолоформальдегидные полимеры хорошо совмещаются с наполнителями (древесной стружкой, бумагой, тканью, стеклянным волокном); при этом получают пластики более прочные и менее хрупкие, чем сами полимеры. Поэтому фенолоформальдегидные полимеры широко применяются в качестве связующего при изготовлении древесно-стружечных плит, бумажно-слоистых пластиков, стеклопластиков и разнообразных изделий из минеральной ваты.

Эти же полимеры используют для получения клеев, бакелитного лака, водостойкой фанеры. Из твердых резольных полимеров приготавливают пресс-порошки и фаолит, из которых производят трубы, листы, плитки и электротехнические изделия (здесь используются высокие диэлектрические свойства полимера). Широкому распространению фенолоформальдегидных полимеров в технике способствует их невысокая стоимость.

Карбамидные (мочевиноформальдегидные), или аминоформальдегидные, полимеры изготавливают из мочевины и формальдегида. Карбамидные полимеры бесцветны, хорошо окрашиваются в различные цвета. Эти полимеры дешевы, применяют их для изготовления теплоизоляционных материалов (ячеистых пластмасс и сотопластов), слоистых и волокнистых пластиков и клеев.

Кремнийорганические полимеры представляют собой особую группу полимеров. Особенностью строения макромолекулы полимера является наличие кремнийкислородной (силоксановой) связи, как указывалось ранее.

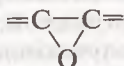
В кремнийорганическом полимере молекулы построены из кремнеземистого скелета с органическими ответвлениями (радикалами). Поэтому такой полимер выгодно сочетает в себе лучшие свойства силикатных материалов (высокую теплостойкость) и обычных синтетических полимеров (эластичность и др.). Кремнийорганические полимеры получают из низкомолекулярных кремнийорганических соединений алкил (арил) хлорсиланов и др.

Низкомолекулярные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей (ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94) используют в качестве водоотталкивающих фасадных красок; эти же жидкости добавляют в бетон в целях придания ему гидрофобных свойств.

Высокомолекулярные полимеры линейной структуры являются синтетическими каучуками, которые применяются в виде различных герметизирующих и изоляционных паст и клеев.

Высокомолекулярные полимеры шитой структуры обладают жесткостью и теплостойкостью при температуре более 400 °С. На их основе изготавливают жароупорные лаки и эмали, используют при производстве пенопластов и клеев, а в виде связующих и пропиточных составов — при изготовлении слоистых и волокнистых пластиков.

Эпоксидные полимеры получили свое название в связи с наличием в их молекуле эпоксидной группы:



Основным сырьем для эпоксидных полимеров является эпихлоргидрин, получаемый из глицерина и пропилена. В большинстве случаев эти полимеры представляют собой жидкости различной вязкости.

Эпоксидные смолы характеризуются высокой химической стойкостью, за исключением сильных окислителей и влажного хлора. Материалы на их основе (клеи, краски, мастики, растворы и бетоны) отличаются высокой прочностью и универсальной клеящей способностью к бетону, металлу, керамике, дереву, стеклу и др. Эти замечательные свойства у них сочетаются с высокой теплостойкостью (100... 150 °С).

Полиэфирные — это группа полимеров, получаемых в результате поликонденсации многоосновных кислот со спиртами. Широкое применение получил, например, глифталевый полимер. Распространенность сырья и его невысокая стоимость позволяют применять полиэфирные полимеры для изготовления светопрозрачных и цветных покрытий, санитарно-технических изделий, клеев, фасадных красок и лаков. Полиэфирные полимеры стойки к хлору и концентрированным растворам кислот, разрушающим фурановые и эпоксидные полимеры. Однако при длительном воздействии воды прочность полиэфирного полимера снижается (до 40 %), уменьшается и его адгезионная способность.

Полиамидные полимеры, получаемые в результате реакции поликонденсации двухосновных кислот и диаминов, сходны с полиэфирными. Их применяют, например, в виде влагоизолирующих пленок.

Полиуретаны готовят из изоцианатов и многоатомных спиртов, содержащих две и более гидроксильные группы. Линейные полиуретаны применяют для изготовления волокон, пленок, листовых материалов, которые выдерживают высокую влажность и температуру до 110 °С.

Полиуретановые каучуки синтезируют из диизоцианитов и полиэфиров, причем в зависимости от вида полиэфира получают мягкие эластичные и жесткие материалы.

Полимеры, получаемые путем модификации природных высокомолекулярных веществ (целлюлозы и белков), имеют определенное значение для строительства. Из ацетилцеллюлозы вырабатывают прочные и водостойкие лаки для окрашивания древесины и металла.

Синтетические каучуки являются продуктами полимеризации и сополимеризации ненасыщенных углеводородов. Для получения синтетических каучуков в качестве мономеров применяют изопрен, бутадиен (дивинил), хлорпрен, изобутилен и др.

В зависимости от исходных мономеров выпускают многочисленные разновидности каучуков: изопреновый, бутадиеновый, хлорпреновый, бутадиен-стирольный и др.

Синтетические каучуки применяют для изготовления клеев и мастик (служат для приклеивания линолеума, плиток пола и т. п.). Каучуки необходимы при производстве разнообразных герметизирующих материалов.

В качестве компонентов герметиков широко используют бутилкаучуки и хлорпреновые каучуки. Синтетические каучуки служат также для модификации других полимеров в целях придания им упругих свойств.

11.3. Материалы на основе полимеров

Полимербетоны (ПБ) представляют собой искусственные камневидные материалы, получаемые на основе синтетических смол, отвердителей, химически стойких заполнителей и наполнителей и других добавок. Они предназначены для применения в несущих и ненесущих, монолитных и сборных химически стойких строительных конструкциях и изделиях в основном на промышленных предприятиях с наличием различных высокоагрессивных сред, для изготовления крупногабаритных вакуумных камер, радиопрозрачных, радионепроницаемых и радиационностойких сооружений, изготовления базовых деталей в станко- и машиностроительной промышленности и др.

Полимербетоны и армополимербетоны классифицируются по виду полимерного связующего, средней плотности, виду арматуры, химической стойкости и прочностным характеристикам.

В качестве крупных заполнителей применяют кислотостойкие щебень или гравий. В качестве крупных пористых заполнителей применяют керамзит, шунгизит и аглопорит.

В качестве мелких заполнителей следует применять кварцевые пески. Допускается использование отсева при дроблении химически стойких горных пород с максимальной крупностью зерен 2...3 мм. Кислотостойкость мелких заполнителей, так же как и щебня, должна быть не ниже 96 %, а содержание пылевидных, илистых или глиняных частиц, определяемых отмучиванием, не должно превышать 2 %.

Для приготовления полимербетонов в качестве наполнителей следует применять андезитовую муку, кварцевую муку, маршалит, графитовый порошок, допускается применение молотого аглопорита. Удельная поверхность наполнителя должна быть в пределах 230... 300 м²/кг.

В качестве водосвязующей добавки при приготовлении полимербетонов на связующем КФ—Ж применяют гипсовое вяжущее или фосфогипс, который является отходом производства фосфорной кислоты.

Наполнители и заполнители должны быть сухими с остаточной влажностью не более 1 %. Не допускаются к применению наполнители, загрязненные карбонатами, основаниями и металлической пылью. Кислотостойкость наполнителей должна быть не ниже 96 %.

Поливинилхлоридный линолеум изготавливают из поливинилхлорида, наполнителей, пластификаторов, пигментов и других добавок. Выпускают его на тканевой основе и безосновным. Безосновный линолеум может быть одно-, двух- или многослойным. Кроме того, выпускают тепло- и звукоизоляционный линолеум на войлочной или пористой основе.

Поливинилхлоридный линолеум имеет большую прочность, хорошую сопротивляемость истиранию, не подвержен гниению, имеет малую теплопроводность и гигиеничен.

Указанные ранее типы линолеумов выпускаются длиной 12 м, шириной 1,4... 1,6 м, толщиной от 2 до 6 мм. Они имеют следующие свойства: водопоглощение за 24 ч — 4... 5 % по массе; твердость по шариковому твердомеру — 0,3... 0,5 мм; упругость — не менее 50 %.

Поливинилхлоридный линолеум производят обычно двумя способами: вальцево-каландровым (безосновный линолеум) и промазным. Для изготовления поливинилхлоридного линолеума в качестве связующего применяют поливинилхлорид, получаемый путем полимеризации хлористого винила эмульсионным способом. В качестве пластификатора обычно используют дибутилфталат $C_6H_4(COOC_4H_9)_2$. Наполнителями могут быть тальк, барит (тяжелый шпат), каолин, асбест.

Для придания линолеуму цвета применяют минеральные краски, мумию, сурик железный (красный цвет), охру, крон свинцовый, крон цинковый (желтый и оранжевый), ультрамарин (синий цвет), сажу газовую (черный цвет), белила цинковые и литопон (белый цвет). В состав композиции вводят также стабилизатор (для стабилизации свойств поливинилхлорида), трансформаторное масло (в качестве разбавителя композиционной массы) и стеарат кальция (для уменьшения прилипания к вальцам в сырьевой массе).

В качестве основы применяют кордельную, полукордельную, джутовую ткань. Тепло- и звукоизоляционные линолеумы выпускают на специальной войлочной или пористой основе.

Вальцево-каландровый способ производства безосновного линолеума состоит из следующих основных операций: приготовление композиционной массы, вальцевание и каландрирование.

Приготовление композиционной массы осуществляется в смесителе, в который при работающей мешалке последовательно загружают дибутилфталат, трансформаторное масло, краситель, стеарат кальция, поливинилхлорид, стабилизатор и наполнитель. Смесь перемешивают в течение 2 ч при температуре 80 °С, после чего выдерживают для набухания и созревания в емкостях при нормальной температуре в течение 24 ч.

Затем подготовленную массу обрабатывают на смесительных вальцах при температуре 130...165 °С до получения пластика с гладкой поверхностью. После этого материал срезают с вращающегося вала и направляют на обогреваемые паром каландры. Каландрирование осуществляют при температуре 150...165 °С. При этом происходят формирование непрерывной ленты линолеума необходимой толщины и ширины, уплотнение массы и удаление из нее воздуха. С каландров лента поступает на холодильные барабаны, а оттуда — на разбраковочный стол для обрезки кромок и разрезки полотна на куски определенной длины, сортировки и упаковки.

Примерный состав линолеумной массы однослойного безосновного линолеума (% по массе) следующий: поливинилхлорид — 30...40; наполнитель (асбест) — 50...60; пластификатор (дибутилфталат) — 10...15; технологические добавки — 1...2; краситель — 1...2.

Изготовление линолеума на тканевой основе промазным способом состоит из следующих основных операций: подготовка сырья и материалов; приготовление линолеумной массы; нанесение линолеумной массы на войлочную основу; термообработка; охлаждение; сортировка и упаковка.

Сначала приготавливают пасту из поливинилхлорида (60 %), пластификатора (дибутилфталата) и разбавителя — минерального масла (40 %). Затем готовят линолеумную массу из поливинилхлоридной пасты (45 %), порошка поливинилхлорида (9 %), пигмента, тертого на пластификаторе (3 %), и наполнителя (барит 43 %). Эти компоненты сначала перемешивают в течение 2 ч в смесителе, а затем направляют в краскотерку для лучшего смешивания компонентов.

Полученная масса поступает в грунтовальный агрегат для однократного нанесения слоя или для нанесения шести-семи тонких слоев на ткань с термической обработкой каждого слоя. Термообработка производится в сушильной камере при 160...190 °С, где происходит образование пленки на поверхности линолеумной массы, а затем на вальцах с температурой 140...145 °С. После этого линолеум поступает на холодильные валики с температурой до 25 °С, где он постепенно охлаждается. Заключительными процессами являются продольная обрезка кромок, поперечная разрезка полотна, разбраковка, сматывание в рулоны и упаковка их в бумагу или ткань.

Для приклеивания линолеума применяют следующие мастики: кумароно-каучуковую, битумную, резинобитумную — изол, кани-фольную, казеино-цементную.

Поливинилхлоридный теплоизоляционный линолеум на волокнистой основе представляет собой двухслойный отделочный материал: верхний слой — поливинилхлоридная пленка; нижний слой — антисептированная неткановолокнистая подкладка. Применяют его для покрытия полов в жилых зданиях, больницах и детских учреждениях, а также в производственных учреждениях, где требуются теплые полы. Укладывают линолеум в виде сварных ковров размером «на комнату» непосредственно на железобетонные перекрытия, не приклеивая к ним, и укрепляют по периметру плинтусом.

Поливинилхлоридную пленку изготавливают из поливинилхлоридной смолы, пластификатов и технологических добавок. Неткановолокнистую основу изготавливают из лубяных волокон (вытряска из чесальных машин — 100 %) вязально-прошивочным способом.

Поливинилхлоридный теплозвукоизоляционный линолеум на волокнистой основе производят двумя способами: промазным (путем намазки массы на основу) и вальцево-каландровым (дублирование поливинилхлоридной пленки с основой). Технология производства линолеума на волокнистой основе промазным способом аналогична технологии, рассмотренной ранее. Отличие заключается в применении волокнистой основы взамен тканевой. При вальцево-каландровом способе производства волокнистая основа дублируется на барабанном прессе с одной или несколькими поливинилхлоридными пленками, образующими лицевой слой.

Линолеум на волокнистой основе выпускают на двух технологических линиях: на одной изготавливают поливинилхлоридные пленки, на другой — дублируют пленки с волокнистой основой. Для лучшего сцепления войлочной основы и поливинилхлоридной пленки перед дублированием на основу наносят клеящую поливинилхлоридную пасту слоем толщиной 0,2 мм.

Линолеум на волокнистой основе производят в рулонах длиной 25...30 м, шириной — 1,6...1,7 м и толщиной — 3,0...3,5 мм, со средней плотностью 800...900 кг/м³, истираемостью 0,03 г/см², пределом прочности на растяжение 13,0...15,0 МПа, звукоизоляцией от ударного звука — до 2 дБ.

Ворсолин — теплозвукоизоляционное покрытие полов — представляет собой нетканый двухслойный материал: верхний слой — петельный ворс (или беспетлевой) из синтетической пряжи одноцветной или многоцветной (смесь капрона с медно-аммиачными волокнами в соотношении 1 : 1); нижний слой — поливинилхлоридная пленочная основа.

Ворсолин изготавливают в виде рулонов длиной 12...20 м и шириной 10 м. Ворсолин применяют для покрытия полов непосредствен-

но по железобетонному или несущему основанию размером «на комнату».

Технологический процесс производства релина состоит из дробления старой резины; изготовления битумно-резиновой смеси для нижнего слоя; каландрирования битумно-резиновой смеси в полотно; изготовления цветной резиновой смеси для верхнего слоя; каландрирования цветной резиновой смеси в полотно; дублирования двух слоев и вулканизации материалов; охлаждения, вылеживания, раскроя, отбраковки и упаковки.

Релин выпускают в рулонах длиной не менее 9 м, шириной 1,0... 1,4 м, толщиной $(3 \pm 0,2)$ мм, с износостойкостью не более 0,05 г/см², твердостью по шариковому твердомеру — не более 1 мм, упругостью не менее 5 %. Релин изготавливают одноцветным и многоцветным (мраморовидным).

Цветостойкость релина высокая (например, после пребывания в воде в течение 30 мин при температуре 50 °С цвет его практически не меняется). Релин водостоек, имеет повышенную износоустойчивость, существенно не меняет своих свойств при колебаниях температуры от -25 до +85 °С, обладает малой звукопроницаемостью, химической стойкостью и высокими диэлектрическими свойствами.

Методы настилки релина аналогичны методам настилки других видов линолеума. Релин настилают как путем наклейки, так и без наклейки (мастикой заклеивают только швы, а края закрепляют плинтусом). Релин предназначен для покрытия полов в жилых, общественных и промышленных зданиях с повышенной влажностью.

Пенополистирол можно получить несколькими способами: прессовым, беспрессовым (из гранул), автоклавным и т. д. Наиболее распространены первые два способа.

Прессовым методом пенополистирол марки ПС-1 изготавливают на основе эмульсионного полистирола марок Б или В; в качестве порообразователя применяют порофор ЧХЗ-57, причем на 100 частей полистирола берут две — пять частей (по массе) порофора ЧХЗ-57.

Производство пенопласта ПС-1 прессовым методом начинают со смешения полимера с газообразователем в шаровой мельнице, снабженной рубашкой охлаждения, в течение 12... 24 ч до получения однородной смеси.

Приготовленную композицию прессуют на гидравлических прессах в закрытых пресс-формах при температуре 120... 180 °С и давлении 12... 20 МПа. При этом частицы полимера сплавляются в монолитную массу, а газообразователь разлагается. Выделяющиеся газы частично растворяются в полимере, образуя насыщенный раствор, а избыток газа распределяется в нем равномерно в виде мельчайших ячеек. После выдержки заготовка охлаждается и извлекается из пресс-формы. Спрессованные заготовки вспениваются при температуре 100... 105 °С в среде насыщенного водяного пара.

Пенопласт ПС-1 выпускают в виде прямоугольных плит длиной 1,0... 1,2 м, шириной 0,5 м и толщиной 5,0... 8,0 мм. Пенопласт можно получить с различной объемной массой (60... 220 кг/м³) в зависимости от количества вводимого в смесь газообразователя.

Пенопласт ПС-4 получают на основе эмульсионного полистирола тех же марок, но в качестве пенообразователя применяют смесь углекислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и бикарбонат натрия (NaHCO_3) . Для этого берут 100 частей полистирола, 1,5 части порофора ЧХЗ-57, 3 части углекислого аммония, 2 части бикарбоната натрия и 4 части (по массе) этилового спирта. Исходную смесь прессуют при температуре 120... 180 °С и удельном давлении 15... 20 кПа. Вспенивание заготовки происходит при температуре 100... 105 °С в среде неочищенного водяного пара. Пенопласт ПС-4 выпускают в виде прямоугольных плит размером не менее 500 × 500 мм и толщиной 5... 60 мм.

Плиты марок ПС-1 и ПС-4 легко поддаются обработке, склеиваются между собой и с другими материалами.

Беспрессовый метод получения пенополистирола заключается во вспенивании не отдельного блока (заготовки), а небольшого гранул с последующим их спеканием (склеиванием). Технологический процесс производства пенополистирола марки ПС-Б осуществляется в следующем порядке. Пенистый полистирол, полученный полимеризацией стирола суспензионным способом в присутствии инициатора и легколетучего порообразователя (изопентана), подвергают предварительному вспениванию путем нагрева гранул до 100 °С в кипящей воде, паром или смесью пара с воздухом.

Следующим процессом является подсушивание вспененных гранул на открытом воздухе и выдерживание их в течение 24 ч. Окончательное вспенивание производят несколькими способами: в формах при действии пара; в автоклавах при давлении 0,12... 0,15 МПа в течение 10... 15 мин; в формах, которые проходят через посты загрузки, прогрева, остывания и извлечения изделий; между движущимися непрерывными лентами, образующими прямоугольный канал для вспенивания; методом совмещенного формования в массивной форме, в которую подают острый пар, и т.д.

Пенопласт ПС-Б изготавливают в виде прямоугольных плит длиной 0,8... 3,0 м, шириной 0,8... 1,8 м и толщиной до 100 мм, со средней плотностью 18... 100 кг/м³, водопоглощением не более 3 % (по объему), пределом прочности при 10%-ном линейном сжатии 0,13... 0,70 МПа.

Жесткий пенополивинилхлорид используют главным образом в качестве тепло- и звукоизоляционного материала для среднего слоя трехслойных панелей стен и плит покрытий жилых, общественных и промышленных зданий. В некоторых случаях он выполняет роль заполнителя, воспринимающего часть нагрузки. Жесткий пенопласт ПХВ-1 изготавливают прессовым методом на основе поливинилхлоридного полимера марки М, смеси газообразователей порофора ЧХЗ-57, углекислого аммония и бикарбоната натрия. Состав пено-

пласта ПХВ-1 следующий (частей по массе): поливинилхлорида — 100; метилметакрилата — 25; порофора ЧХЗ-57 — 0,3... 0,8; углекислого аммония — 10... 16; бикарбоната натрия — 8.

Метилметакрилат вводят в первой стадии прессования для повышения текучести. Он к концу прессования в основной массе полимеризуется и его пластифицирующее действие прекращается. В процессе вспенивания заготовки низкомолекулярный полиметилметакрилат и небольшое количество мономера способствуют получению пенопласта с малой объемной массой.

Технология получения пенопласта ПХВ-1 аналогична технологии получения пенополистирола, изготовленного прессовым методом. Технологические параметры следующие: смешение — 18... 20 ч; прессование при температуре 160... 170 °С и удельном давлении 15... 18 МПа. При получении пенопласта с объемной массой менее 70 кг/м³ применяют вспенивание, которое производят в паровой камере в формах, имеющих конфигурацию и размеры изделия. Для охлаждения используют воду.

Пенопласт ПХВ-1 выпускают в виде прямоугольных плит длиной и шириной не менее 0,5 м и толщиной до 60 мм с объемной массой 40... 130 кг/м³, пределом прочности на сжатие — 0,2... 1,0 МПа и очень малым водопоглощением.

Контрольные вопросы

1. Назовите связующие вещества в пластмассах.
2. Из каких компонентов состоят пластмассы?
3. Что такое полимеризационные и поликонденсационные полимеры?
4. Приведите примеры термопластичных и термореактивных полимеров.
5. Для чего вводят наполнители в пластмассы?
6. Назовите состав, структуру, свойства и области применения полимербетонов.
7. В чем заключаются отличительные особенности полимерцементных бетонов?
8. Назовите изделия на основе полимеров.

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

12.1. Общие сведения

Древесина является одним из основных строительных материалов. Древесина обладает уникальными свойствами: высокой прочностью и упругостью, малой средней плотностью, низкой теплопроводностью. Древесина морозостойка, не растворяется в воде и органических растворителях. Древесина легко обрабатывается, элементы древесины легко соединяются с помощью клея, врубок, гвоздей, болтов и пр.

Наряду с положительными свойствами древесина обладает многими недостатками: гигроскопичностью, анизотропностью (различные свойства в разных направлениях), способностью к загниванию и возгоранию, наличием различных пороков.

При использовании древесины в строительстве появляется значительное количество отходов, на долю которых приходится до 50 % всей заготавливаемой древесины. Отходы нашли применение в производстве целлюлозы, картона, бумаги, искусственного волокна, органических кислот, пластмасс и изделий в виде древесно-стружечных, древесно-волоконистых плит, фибролита, арболита и т. д.

12.2. Макроструктура древесины

Древесина ствола состоит из ряда концентрических годовых колец. В свою очередь, каждое годовое кольцо включает в себя внутренний слой ранней (или весенней) древесины и внешний слой поздней (или летней) древесины.

Древесина, образовавшаяся весной и в начале лета, состоит из крупных тонкостенных клеток. Поздняя древесина, образовавшаяся летом и в начале осени, состоит из клеток меньшего размера и имеет более темный цвет, большие плотность и прочность, чем ранняя древесина.

На поперечном разрезе ствола дерева видны сердцевина, ядро и заболонь (рис. 12.1).

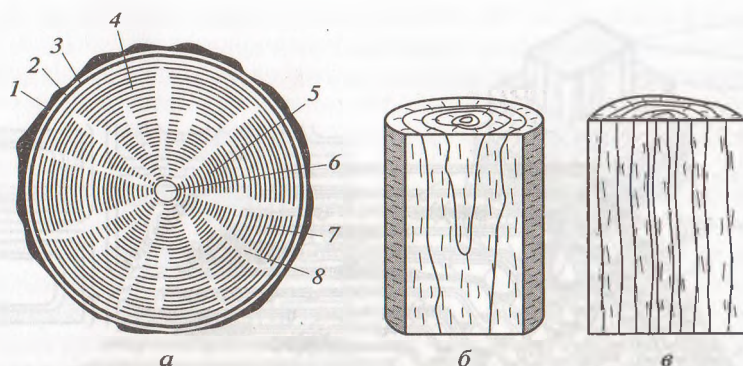


Рис. 12.1. Строение древесины:

а — срез торцевой: 1 — кора; 2 — луб; 3 — камбий; 4 — заболонь; 5 — ядро; 6 — сердцевина; 7 — годовые слои; 8 — сердцевинные лучи; *б* — срез тангенциальный; *в* — срез радиальный

Сердцевинная трубка представляет собой рыхлую первичную ткань, которая состоит из тонкостенных клеток, имеет малую прочность и легко загнивает.

Ядро, или спелая древесина, — внутренняя часть ствола дерева. Древесина ядровой части ствола обладает большей прочностью и стойкостью к загниванию.

Заболонь состоит из колец более молодой древесины, окружающих ядро. По клеткам заболони растущего дерева перемещается влага. Древесина заболони имеет большую влажность, легко загнивает, склонна к короблению.

Древесные породы подразделяются:

1) на *ядровые*, имеющие ядро и заболонь (дуб, ясень, платан, сосна, лиственница, кедр и др.);

2) *спелодревесные*, имеющие спелую древесину (она не отличается по цвету от заболони) и заболонь (ель, пихта, осина, бук и др.);

3) *заболонные*, у которых отсутствует ядро и нельзя заметить существенного различия между центральной и наружной частями древесины ствола (береза, клен, ольха, липа).

12.3. Микроструктура древесины

Древесина состоит из сросшихся между собой клеток, формы и размеры которых весьма разнообразны (рис. 12.2). Различают в древесине следующие клетки: опорные — либриформы у лиственных пород и трахеиды у хвойных, проводящие сосуды у лиственных и трахеиды у хвойных пород. Сердцевинные лучи видны на поперечном разрезе ствола дуба, клена, бука и некоторых других лиственных по-

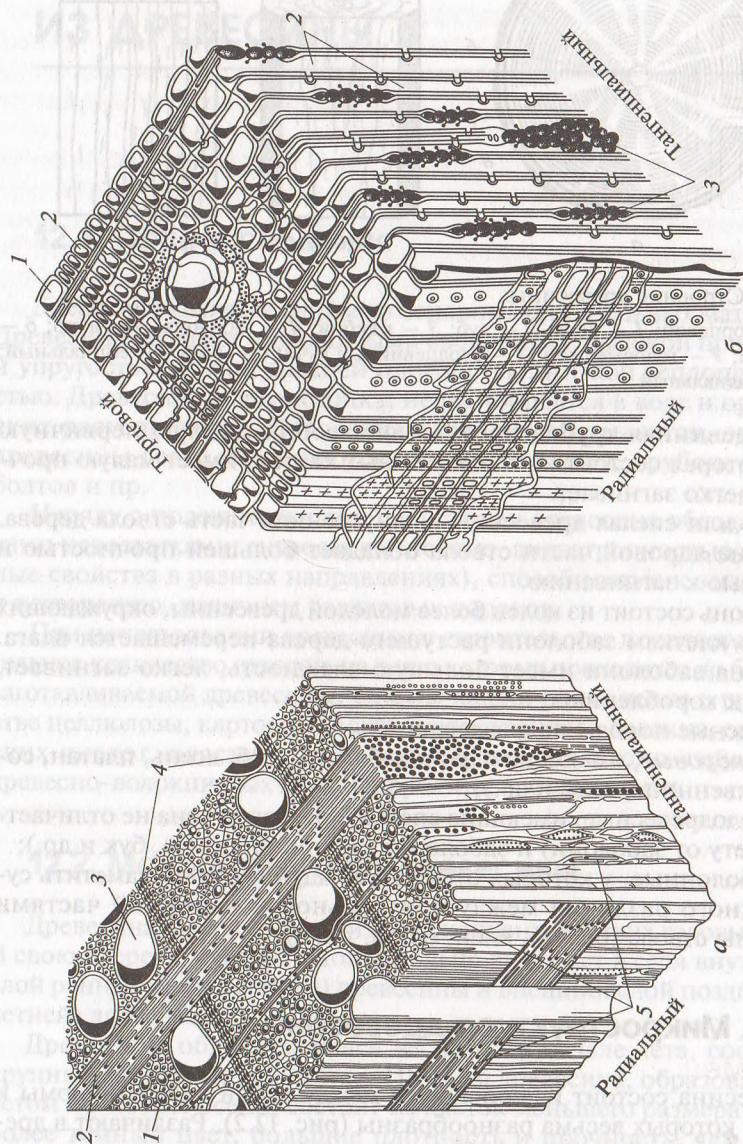


Рис. 12.2. Микроструктура лиственных и хвойных пород:

а — дуб: 1 — мелкий сосуд поздней зоны; 2, 5 — сердцевинные лучи; 3 — крупный сосуд ранней зоны; 4 — годичный слой; *б* — сосна: 1 — ранние трахеиды; 2 — поздние трахеиды; 3 — сердцевинные лучи

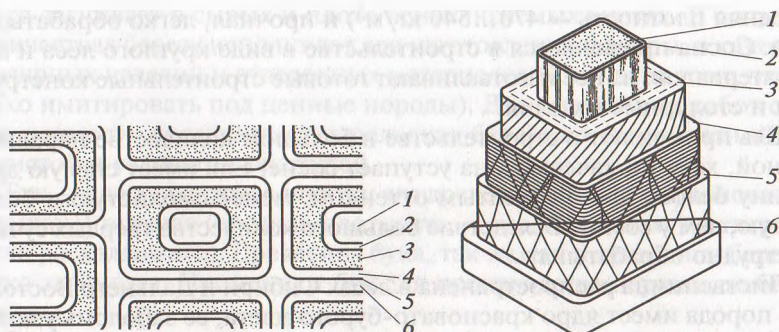


Рис. 12.3. Строение стенки клетки древесины:

1 — вакуоль; 2 — внутренний слой; 3 — второй слой; 4 — средний слой; 5 — внешний слой; 6 — межклеточный элемент

род в виде узких радиальных полосок (см. рис. 12.1). Древесина легко раскалывается по сердцевинным лучам, по ним же проходят трещины, образующиеся при высыхании лесных материалов. Это объясняется тем, что сердцевинные лучи состоят из коротких тонкостенных клеток, слабо связанных между собой.

Стенка клетки состоит из нескольких слоев, различающихся по своему составу и толщине (рис. 12.3). Вакуоль 1 ограничена внутренним очень тонким слоем 2, первичные волокна (фибриллы) целлюлозы расположены в нем вдоль оси клетки. Второй слой 3 гораздо толще внутреннего и состоит из множества пучков фибрилл целлюлозы, расположенных по спирали. В межфибрильном пространстве находится немного лигнина. В среднем слое 4 фибриллы целлюлозы расположены более или менее правильно, покрывая витками предыдущий слой. В межфибрильном пространстве расположен лигнин. Следующий слой 5 состоит из переплетающихся между собой фибрилл целлюлозы. Межклеточный элемент 6 не содержит целлюлозы. Он имеет субмикроскопическую толщину и при делении клетки сначала образуется как разделительная стенка между вновь возникающими клетками, состоящая из протопектина совместно с лигнином.

12.4. Основные породы древесины, применяемые в строительстве

12.4.1. Хвойные породы

Сосна относится к ядровой породе. Ядро у нее обычно бурокрасного цвета, а заболонь желтого цвета. Древесина сосны мягкая

(средняя плотность — $470 \dots 540 \text{ кг/м}^3$) и прочная, легко обрабатывается. Сосна применяется в строительстве в виде круглого леса и пиломатериалов; из нее изготавливают готовые строительные конструкции и столярные изделия.

Ель применяют в строительстве в большом количестве наравне с сосной, хотя по качеству она уступает сосне. Ель имеет спелую древесину белого цвета с желтым оттенком, менее смолистую и более легкую, чем у сосны. Вследствие большого количества твердых сучков ель трудно обрабатывать.

Лиственница распространена в лесах Сибири и Дальнего Востока. Эта порода имеет ядро красновато-бурого цвета, ее заболонь узкая и по окраске резко отличается от ядра. Древесина лиственницы плотная (средняя плотность — $630 \dots 790 \text{ кг/м}^3$), твердая и прочная, менее подвержена гниению, чем древесина сосны. Поэтому лиственница особенно ценится в гидротехническом строительстве и мостостроении; из нее изготавливают шпалы, рудничные стойки. В мебельном и фанерном производстве эта порода также широко используется.

Кедр имеет мягкую и легкую древесину; его механические свойства хуже, чем у сосны. Применяют кедр в виде круглого леса и пиломатериалов, для столярных изделий и отделки мебели — в виде декоративной фанеры.

Пихта представляет собой древесину, сходную с древесиной ели, но не имеющую смоляных ходов. Она легко загнивает, поэтому ее не применяют во влажных условиях эксплуатации.

12.4.2. Лиственные породы

Дуб имеет плотную древесину (средняя плотность — около 720 кг/м^3), очень прочную и твердую. Ядро темно-бурого цвета, резко отличается от желтоватой заболони. Многочисленные крупные сердцевинные лучи видны на всех разрезах и придают древесине дуба своеобразную текстуру. Дуб применяют в ответственных конструкциях (шпонки, нагели и т. п.) в гидротехнических сооружениях, мостостроении. Дубовый паркет, мебель, столярные изделия, ножевая фанера для столярно-отделочных работ — характерные области применения дуба. Особенно ценится мореный дуб черного или темно-серого цвета.

Ясень имеет тяжелую (средняя плотность — $660 \dots 740 \text{ кг/м}^3$) древесину, гибкую и вязкую, но менее прочную, чем у дуба. Благодаря красивой текстуре он ценится в мебельном производстве и столярно-отделочных работах.

Ильмовые породы (ильм, вяз, карагач) имеют прочную, твердую и гибкую древесину. Большей частью их используют в столярном производстве для изготовления мебели и строганой фанеры.

Береза — заболонная порода, распространенная в наших лесах, имеет тяжелую (средняя плотность — около 650 кг/м^3) древесину, но

легко загнивает в сырых и плохо вентилируемых местах. В больших количествах березу используют для изготовления фанеры, в качестве столярных изделий и отделочных материалов (благодаря тому, что ее легко имитировать под ценные породы). Для отделочных работ особую ценность представляет карельская береза со своеобразной извилистой и узловатой текстурой.

Бук — спелодревесная порода; его древесина (белая с красноватым оттенком) тяжелая (средняя плотность — около 650 кг/м^3) и твердая, легко раскалывается. Древесина бука, так же как и древесина березы, легко загнивает. Применяют бук для производства паркета, мебели, фанеры.

Габ имеет древесину, похожую на буковую, но более тяжелую. Используют габ в тех же целях, что и бук.

Осина — заболонная порода, широко распространенная в наших лесах. Ее древесина с зеленым оттенком легкая (средняя плотность — $420 \dots 500 \text{ кг/м}^3$), мягкая, склонная к загниванию. Осина служит исходным сырьем для изготовления фанеры, древесных плит. В значительных количествах осину применяют в спичечной, бумажной промышленности, а также для изготовления тары.

Ольха — заболонная порода с мягкой древесиной, склонной к загниванию. Применяют ее в основном там же, где и березу.

Липа — спелодревесная мягкая порода, используемая для изготовления фанеры, мебели, тары.

12.5. Физические свойства древесины

Плотность древесины изменяется незначительно, так как древесина всех деревьев состоит в основном из одного и того же вещества — целлюлозы. Поэтому плотность древесины можно принять равной $1,54 \text{ г/см}^3$.

Средняя плотность древесины разных пород (и даже древесины одной и той же породы) колеблется в широком диапазоне, поскольку строение и пористость растущего дерева зависят от почвы, климата и других природных условий. С увеличением влажности объемная масса древесины возрастает. Свежесрубленная древесина значительно тяжелее древесины воздушно-сухой, имеющей влажность 15 %.

Пористость древесины хвойных пород колеблется от 46 до 81 %, лиственных — от 32 до 80 %.

В древесине различают гигроскопическую влагу, связанную в стенках клеток, и капиллярную влагу, которая свободно заполняет полости клеток и межклеточное пространство. Предел гигроскопической влажности (в среднем он составляет около 30 %) соответствует полному насыщению стенок клеток древесины водой. Полная влажность древесины, считая вместе гигроскопическую и капиллярную влагу, значительно превышает 30 %. Например, у свежесрублен-

ного дерева она может колебаться от 40 до 120 %, а при выдерживании древесины в воде ее влажность может возрасти до 200 %. При длительном нахождении влажной древесины на воздухе она постепенно высыхает и достигает равновесной влажности.

Равновесная влажность зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха. Для определения равновесной влажности пользуются номограммой, где по оси абсцисс отложена температура воздуха от -20 до $+100$ °С, по оси ординат — относительная влажность воздуха от 0 до 100 % (рис. 12.4). Каждая из наклонных прямых представляет собой геометрическое место точек, соответствующих одной и той же равновесной влажности древесины.

Равновесная влажность воздушно-сухой древесины составляет 8... 12 %, поэтому до такой влажности высушивают паркетную клепку, древесину, идущую на изготовление столярных изделий, и т. п.

Показатели свойств (средней плотности, прочности), полученные при испытании древесины различной влажности, для возможности сопоставления приводят к стандартной влажности, равной 12 %.

Колебания влажности волокон древесины влекут за собой изменение размеров и формы досок, брусьев и других изделий из древесины. При увлажнении сухой древесины до достижения ею предела гигроскопичности стенки древесных клеток утолщаются, разбухают, что приводит к увеличению размеров и объема деревянных изделий. Как видно из рис. 12.5, свободная влага, заполняющая полости кле-

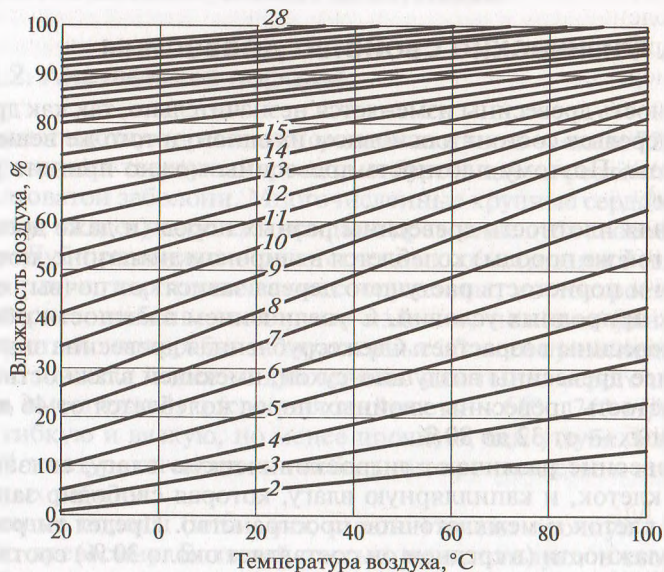
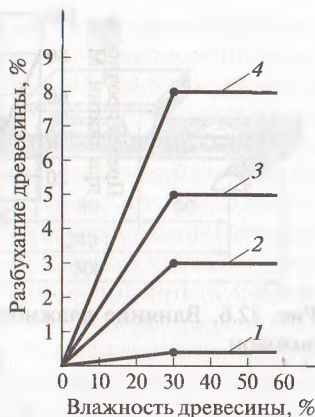


Рис. 12.4. Номограмма равновесной влажности древесины (2... 28 % — величины равновесной влажности древесины)

Рис. 12.5. Влияние влажности древесины на разбухание:

1 — вдоль волокон; 2 — поперек волокон в радиальном направлении; 3 — поперек волокон в тангенциальном направлении; 4 — объемное



ток, на размерах древесины не отражается. Усушка древесины происходит за счет удаления связанной влаги из стенок клеток, т.е. если влажность древесины становится меньше предела гигроскопичности, то усушка достигает максимального значения при полном удалении влаги, содержащейся в клеточных стенках.

Вследствие неоднородности строения древесина усыхает в различных направлениях неодинаково (см. рис. 12.5). Вдоль оси ствола (вдоль волокон) максимальная линейная усушка невелика — около 0,1 % (или 1 мм на 1 м), в радиальном направлении она составляет 3...6 % (3...6 см на 1 м), а в тангенциальном — 6...12 % (6...12 см на 1 м). Усушка и разбухание древесины — свойства отрицательные, они вызывают коробление и растрескивание лесных материалов.

Коробление деревянных изделий является следствием разницы в усушке древесины в тангенциальном и радиальном направлениях и неравномерности высыхания. Неравномерность усушки и коробления вызывает появление внутренних напряжений в древесине и растрескивание пиломатериалов и бревен. Широкие доски коробятся больше, чем узкие, поэтому для настилки пола и столярных изделий применяют доски шириной 10...12 см.

Для предотвращения коробления и растрескивания деревянных изделий используют древесину с той равновесной влажностью, которая будет в условиях эксплуатации.

Теплопроводность сухой древесины незначительна ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$): для сосны поперек волокон — 0,17; вдоль волокон — 0,34. Теплопроводность древесины зависит от ее пористости, влажности и направления потока теплоты. Теплозащитные свойства древесины широко используют в строительстве.

12.6. Механические свойства древесины

Механические свойства древесины определяют путем испытания малых чистых (без видимых пороков) образцов древесины. Минимальное количество образцов для проведения испытания вычисляют

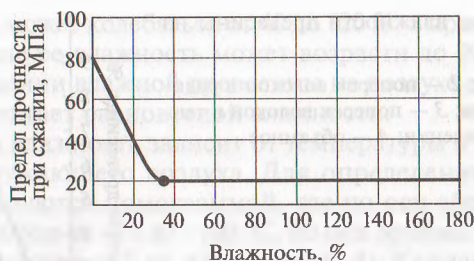


Рис. 12.6. Влияние влажности древесины на прочность при сжатии вдоль волокон

по формулам в зависимости от коэффициента вариации изучаемого свойства.

Показатели свойств древесины должны быть пересчитаны на влажность 12 %. Как видно из рис. 12.6, прочность древесины понижается, когда ее влажность возрастает от 0 до 30 % (до предела гигроскопичности). При этом в интервале влажности от 8 до 20 % понижение прочности прямо пропорционально приросту влажности:

$$R_{12} = R_W [1 + a(W - 12)],$$

где R_{12} — предел прочности образца влажностью 12 % в момент испытания; R_W — предел прочности образца влажностью W в момент испытания; a — коэффициент снижения прочности древесины при увеличении ее влажности на 1 %, равный 0,03.

После того как древесина достигла предела гигроскопичности (30 %), дальнейшее увеличение не влияет на ее прочность. Поэтому предел прочности образца с влажностью, равной и большей предела гигроскопичности, пересчитывают к влажности 12 %.

Прочность при статическом изгибе древесины очень высокая — примерно в 1,8 раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон и составляет около 70 % от прочности при растяжении.

Поэтому древесина (балки, настилы и т.п.) чаще всего работает на изгиб.

Прочность древесины при скалывании имеет большое значение при устройстве врубок и клеевых швов в деревянных конструкциях.

Для определения предела прочности при скалывании используют специальные образцы и приспособления.

Предел прочности при скалывании вдоль волокон для основных древесных пород составляет 6,0... 13,0 МПа, а при скалывании поперек волокон — в 3—4 раза выше. Кроме этих испытаний может

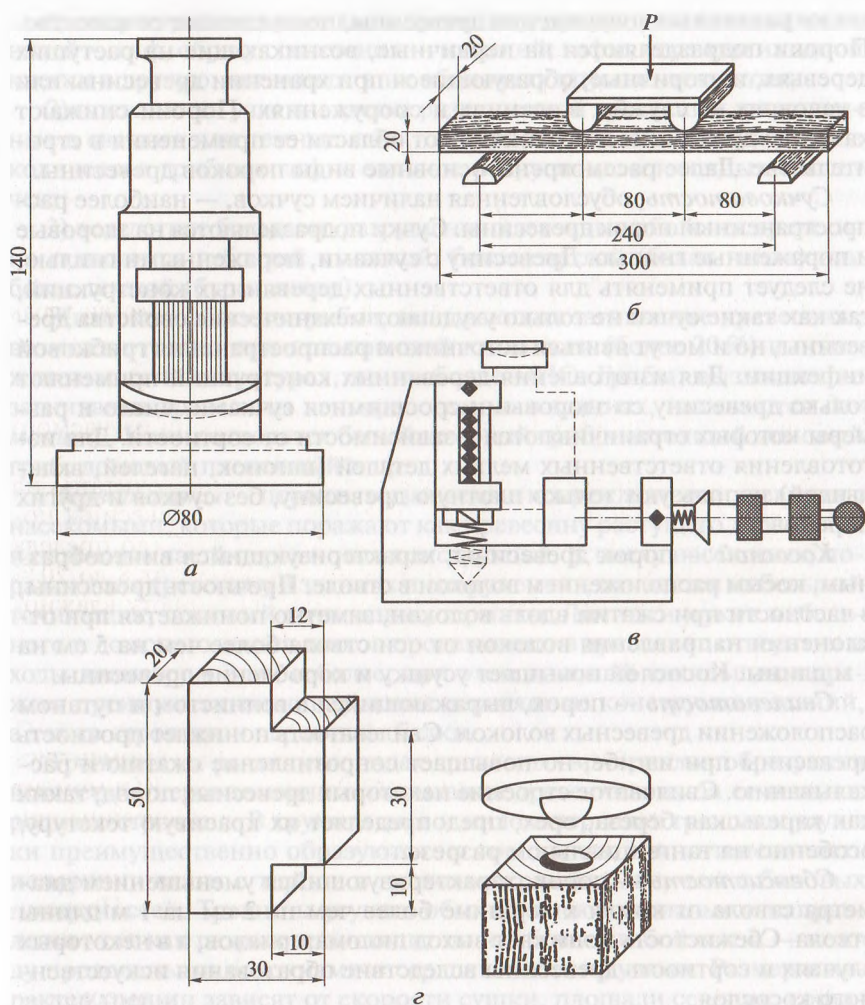


Рис. 12.7. Схемы испытания древесины:

а — на прочность при сжатии; *б* — на прочность при изгибе; *в* — на прочность при скалывании вдоль волокон; *г* — на твердость

проводится определение предела прочности древесины при перерезании поперек волокон (рис. 12.7).

12.7. Пороки древесины

Пороками древесины называются отклонения строения древесины от нормального, нарушение внешней формы ствола дерева, а

также различные повреждения древесины, понижающие ее качество. Пороки подразделяются на первичные, возникающие на растущих деревьях, и вторичные, образующиеся при хранении древесины или в условиях ее службы в зданиях и сооружениях. Пороки снижают качество древесины и ограничивают области ее применения в строительстве. Далее рассмотрены основные виды пороков древесины.

Сучковатость, обусловленная наличием сучков, — наиболее распространенный порок древесины. Сучки подразделяются на здоровые и пораженные гнилью. Древесину с сучками, пораженными гнилью, не следует применять для ответственных деревянных конструкций, так как такие сучки не только ухудшают механические свойства древесины, но и могут явиться источником распространения грибковой инфекции. Для изготовления деревянных конструкций применяют только древесину со здоровыми сросшимися сучками, число и размеры которых ограничиваются в зависимости от сортности. Для изготовления ответственных мелких деталей (шпонок, нагелей, вкладышей) используют только плотную древесину, без сучков и других пороков.

Косослой — порок древесины, характеризующийся винтообразным, косым расположением волокон в стволе. Прочность древесины, в частности при сжатии вдоль волокон, заметно понижается при отклонении направления волокон от оси ствола более чем на 5 см на 1 м длины. Косослой повышает усушку и коробление древесины.

Свилеватость — порок, выражающийся в волнистом и путаном расположении древесных волокон. Свилеватость понижает прочность древесины при изгибе, но повышает сопротивление сжатию и раскалыванию. Свилеватое строение некоторых древесных пород, таких как карельская береза, орех, предопределяет их красивую текстуру, особенно на тангенциальном разрезе.

Сбежистость — порок, характеризующийся уменьшением диаметра ствола от комля к вершине более чем на 2 см на 1 м длины ствола. Сбежистость понижает выход пиломатериалов, а в некоторых случаях и сортность древесины вследствие образования искусственного косослоя.

Завиток — порок, характеризующийся местным искривлением годичных слоев. Завиток понижает прочность древесины, в частности при сжатии вдоль волокон и при изгибе.

Плесени и гнили — пороки древесины, вызываемые жизнедеятельностью различных грибов. Некоторые их виды могут поражать древесину растущего дерева (на корню); в этом случае по принятой классификации вызываемые ими пороки следует отнести к первичным.

Большую опасность для долговечности деревянных конструкций и частей инженерных сооружений представляют гнили, поражающие древесину в условиях службы ее в зданиях и сооружениях. Процесс поражения древесины гнилью можно разделить на три стадии:

1) споры грибов, проникая в древесину, прорастают в виде тонких нитей — гиф, образуя сплетения — мицелий; гифы, переходя из одной клетки в другую, оставляют в их оболочках круглые отверстия;

2) появляются участки слегка разрушенной древесины, окрашенные в светлые или темные тона, причем наблюдаются значительное количество грибных гиф и сильное разрушение клеточных оболочек;

3) вследствие большого разрушения клеточных оболочек древесины становится губчатой и мягкой, более светлой (белая гниль) или более темной (бурая гниль).

Жизнеспособность грибов, вызывающих загнивание древесины, возможна только при повышенной влажности (более 20 %) и положительных температурах, но не более 60 °С. Грибы, вызывающие загнивание древесины непосредственно в зданиях, называются *домовыми*. К ним относятся белый домовый гриб, настоящий домовый гриб, домовый пленочный и др.

Червоточины — пороки, вызываемые повреждениями древесины насекомыми, которые поражают как древесину растущего дерева, так и наземные части деревянных конструкций. К числу насекомых, поражающих древесину в зданиях и сооружениях, относятся мебельный точильщик, домовый точильщик, термиты. Личинки жуков мебельного и домового точильщиков проделывают в древесине отверстия и ходы диаметром 2 мм и более; при этом домовый точильщик поражает преимущественно наружные деревянные конструкции зданий, а также стропила и чердачные балки.

Трещины на различных видах древесных материалов образуются вследствие неравномерного высыхания древесины из-за ее неоднородного строения. В круглом лесе и пиломатериалах трещины усушки преимущественно образуются на торцах, так как интенсивность испарения влаги с торцов в несколько раз больше, чем с боковых поверхностей. Трещины усушки обычно имеют радиальное направление, так как разрыв происходит по наиболее слабой связи — между продольными волокнами и сердцевинными лучами. Размер и характер трещин зависят от скорости сушки, площади сечения, сортамента и породы дерева. Трещины снижают сортность древесины, так как понижают ее прочность, особенно на растяжение поперек волокон и на скалывание вдоль волокон.

12.8. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания

Для повышения качества древесины ее подвергают сушке различными способами. Естественную сушку осуществляют на открытом воздухе под навесами или в закрытых помещениях до воздушно-сухого

состояния, т.е. до влажности 15...20 %. Атмосферная сушка — это длительный (несколько недель и даже месяцев) и трудно регулируемый процесс, но она проста и не требует затрат на подогрев теплоносителя.

Искусственную сушку производят в сушильных камерах, в электрическом поле высокой частоты, в горячих жидких средах и контактным способом. Ее можно проводить в любое время года до любой конечной влажности и в короткие сроки (несколько дней или даже часов). При этом обеспечивается высокое качество высушенной древесины за счет полной регулируемости процесса и исключается возможность поражения древесины грибной инфекцией и насекомыми.

Камерную сушку проводят в сушильках периодического и непрерывного действия. В качестве теплоносителя используют подогретый воздух, пар, дымовые газы.

Сушка в электрическом поле высокой частоты обусловлена индукционным нагревом древесины, помещенной между электродами, к которым подводится ток высокой частоты. Будучи диэлектриком, древесина быстро и равномерно прогревается по всей толщине в высокочастотном поле и высушивается в 10—20 раз быстрее, чем при камерной сушке. Этот вид сушки требует большого расхода электроэнергии и в 3—4 раза дороже камерной сушки, поэтому чаще применяют более эффективную сушку — комбинированную камерную и высокочастотную.

Сушка в нагретых жидких средах, в частности в петролатуме¹, производится следующим образом. При нагревании до 130...140 °С петролатум превращается в подвижную жидкость, в которую и погружается просушиваемая древесина. Находящаяся в древесине влага превращается в пар и удаляется. В петролатуме древесина сушится в несколько раз быстрее (несколько часов), чем в сушильных камерах, причем материал не растрескивается и не коробится. Недостатками такого способа сушки являются большой расход петролатума и загрязнение им древесины. По стоимости этот способ сопоставим с камерной сушкой.

Для сушки тонких сортиментов древесины (например, шпона, фанеры) используют контактную сушку, которая осуществляется между периодически смыкающимися горячими плитами пресса или на роликовых установках.

Для предупреждения загнивания древесины принимают ряд конструктивных мер, цель которых — предохранить ее от увлажнения (древесину изолируют от грунта, камня и бетона, делают каналы для проветривания, защищают деревянные конструкции от атмосферных осадков и т.п.). Когда мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения, ее пропитывают *антисептиками* — химическими веществами, которые убивают

¹ *Петролатум* — отход, получаемый при депарафинизации нефтяных масел, в воде не растворяется и не смешивается.

грибы или создают среду, в которой их жизнедеятельность становится невозможной.

Антисептики должны обладать высокой токсичностью (ядовитостью) по отношению к дереворазрушающим грибам, но быть безвредными для людей и животных; сохранять высокую токсичность в течение заданного срока; легко проникать в древесину, не ухудшая ее физико-механических свойств и не вызывая коррозию металлических креплений; быть стойкими при повышенных температурах и в процессе обработки древесины, не должны иметь неприятного запаха. Они должны иметь невысокую стоимость и быть не дефицитными материалами.

Для антисептирования древесины используют водорастворимые, органикорастворимые и маслянистые антисептики, а также антисептические пасты.

Водорастворимые антисептики применяют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации защищена от непосредственного увлажнения и вымывающего действия воды.

Фтористый натрий (NaF) — порошок белого цвета, без запаха. Применяют его в растворах 3—4%-ной концентрации для антисептирования деревянных элементов, а также материалов и изделий из древесных стружек, опилок, камыша. При соприкосновении с известковыми, цементными и гипсовыми материалами фтористый натрий теряет свои ядовитые свойства, переходя в нерастворимый фтористый кальций.

Кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6) — белый или серый порошок, по действию сходный с фтористым натрием. Он применяется совместно с кальцинированной содой, фтористым натрием и в силикатных пастах.

Кремнефтористый аммоний ($(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$) — легко растворимый порошок белого цвета, без запаха, по токсичности превосходит фтористый натрий, повышает огнестойкость древесины, но вызывает слабую коррозию металла.

Препарат ББК-3 — смесь борной кислоты и буры. Он хорошо растворим, практически безвреден для людей.

Препараты ХХЦ (смесь хлористого цинка и натриевого или калиевого хромпика) и МХХЦ (смесь хлористого цинка, хромпика и медного купороса) трудно вымываются водой, но окрашивают древесину в желто-зеленый цвет и корродируют черные металлы, а при больших концентрациях немного снижают прочность древесины.

Препарат ГР-48 — антисептик на основе пентахлорфенола, без запаха, хорошо растворяется в воде. Его применяют в растворе 1—1,5%-ной концентрации для поверхностной защиты пиломатериалов (в частности, от синевы и плесени).

Органикорастворимые антисептики типа ПЛ (растворы пентахлорфенола в легких нефтепродуктах) и типа НМЛ (растворы нафтената меди в легких нефтепродуктах) являются высокотоксичными

антисептиками, хорошо проникающими в древесину. Препараты второго типа окрашивают древесину в зеленый цвет и затрудняют ее склеивание. В качестве растворителей применяют зеленое масло, мазут, керосин и сольвентнафту. Препараты ПЛ применяют также для усиления токсичности маслянистых антисептиков.

Из *маслянистых антисептиков* наиболее широко используют масло каменноугольное (креозотовое и антраценовое) и сланцевое. Оба этих продукта — жидкости темно-коричневого цвета с резким запахом и сильными антисептическими свойствами. Водой они не выщелачиваются, металл не корродируют, но окрашивают древесину в темно-бурый цвет. Основное назначение — глубокая пропитка деревянных элементов, находящихся на открытом воздухе, в земле или воде (шпалы, части мостов, сваи, подводные сооружения и др.).

Антисептирующие пасты приготавливают из водорастворимого антисептика (фтористого или кремнефтористого натрия), связующего вещества (битума, глины, жидкого стекла и др.) и наполнителя (чаще всего торфяного порошка). Антисептическими пастами защищают элементы из древесины с начальной влажностью не менее 40 % и элементы, увлажнение которых происходит в процессе эксплуатации (концы балок, столбов и др.). Элементы открытых сооружений, обработанные пастой, защищают гидроизоляционным покрытием. Растворяясь в воде, антисептик, входящий в состав пасты, проникает внутрь древесины и предохраняет ее от загнивания.

Пропитку древесины антисептиками осуществляют: поверхностной обработкой, в горячих ваннах и под давлением. При *поверхностной обработке* раствор антисептика наносят на поверхность древесины кистями или краскопультом 2—3 раза. Иногда практикуют погружение сухой древесины в ванну с раствором антисептика, что позволяет пропитать ее немного глубже.

Наибольший эффект достигается при пропитке древесины по методу *горячих ванн*. Древесину или элементы конструкций сначала погружают в горячий раствор антисептика с температурой 90...95 °С. При этом воздух, находящийся в порах и сосудах древесины, нагревается, расширяется и частично удаляется. Затем древесину переносят в ванну с холодным раствором или откачивают горячий раствор, а в ванну подают холодный с температурой 20...30 °С. В ванне с холодным раствором объем оставшегося в древесине воздуха уменьшается, вследствие чего внутри древесины создается разрежение, за счет которого и происходит впитывание антисептика.

Пропитка под давлением осуществляется в специальных герметических цилиндрах-автоклавах. Сначала в автоклаве создается вакуум, благодаря чему из древесины удаляется воздух. Затем автоклав наполняют подогретым антисептиком и доводят жидкостное давление до 0,6...1,5 МПа. Создание вакуума, а затем жидкостного давления обеспечивает быструю и наиболее глубокую, часто сплошную, пропитку древесины.

Основной способ борьбы с дереворазрушающими насекомыми на складах лесоматериалов — содержание склада в соответствии с санитарными требованиями, а также своевременная окорка круглых лесоматериалов. Однако древесина поражается насекомыми и в сооружениях. В этом случае борьба с ними ведется химическими средствами, путем обработки древесины ядовитыми веществами — инсектицидами, убивающими насекомых и их личинки.

Древесину обрабатывают инсектицидами пропиткой, опрыскиванием, обмазкой, опылением порошками или окуриванием газами. Для этих целей используют уже описанные маслянистые антисептики и препараты на органических растворителях, а также порошок и пасту ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), раствор хлорофоса (диметилтрихлоро-ксиэтилфосфоната), хлородан в виде дуста и эмульсии и другие вещества, а также некоторые газы (хлорпикрин).

Возгорание древесины происходит при температуре 260...290 °С, а при нагреве выше 350 °С газы, выделяющиеся из древесины, способны возгораться даже при отсутствии открытого пламени. При длительном нагреве эти температуры понижаются. Для предупреждения возгорания принимают специальные меры:

- конструктивные (удаление деревянных элементов от источников нагревания, устройство огнестойких перегородок и стен);
- покрытие деревянных элементов штукатуркой или облицовкой малотеплопроводными и негорячими материалами (асбестовыми и др.);
- окрашивание деревянных конструкций огнезащитными красками или пропитка древесины специальными веществами — антипиренами.

Огнезащитные краски содержат связующее вещество, наполнители и антипирены. Например, в силикатных красках связующим служит растворимое стекло, а наполнителем — кварцевый песок или мел, магнезит. При нагревании составные компоненты таких красок размягчаются и образуют стекловидные пленки, которые предотвращают доступ кислорода воздуха к древесине и защищают ее от нагревания.

Для защиты от огня скрытых деревянных элементов зданий и сооружений (стропил, обрешетки и др.) используют огнезащитные пасты на основе глин, извести, гипса, суперфосфата, которые после высыхания образуют негорячий слой толщиной 2...3 мм.

Огнезащитное действие антипиренов основано на том, что одни из них при нагревании древесины создают оплавленную пленку, закрывая доступ кислорода к древесине, а другие при высокой температуре выделяют негорючие газы, оттесняющие воздух от поверхности древесины и одновременно разбавляющие горючие газы, выделенные из самой древесины при нагревании. В качестве антипиренов применяют буру ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), хлористый аммоний, фосфорнокислые натрий и аммоний, серноокислый аммоний.

12.9. Лесные материалы и изделия из древесины

Круглые лесоматериалы — это отрезки стволов деревьев с обрубленными сучьями с корой или без коры (рис. 12.8). В зависимости от диаметра ствола в верхнем отрубе различают: бревна (диаметр более 12 см), подтоварник (диаметр 8... 11 см) и жерди (диаметр 3... 7 см). По назначению бревна подразделяются на строительные и пиловочные.

Бревна строительные изготавливают преимущественно из сосны, лиственницы, кедра, реже — из ели и дуба. Они предназначены для несущих строительных конструкций: свай, элементов свайных опор, пролетных строений мостов, гидротехнических сооружений, опор воздушных линий связи и т. п. Длина бревен составляет 3,0... 6,5 м с градацией через 0,5 м. В зависимости от качества древесины и дефектов обработки круглые лесоматериалы подразделяются на четыре сорта. В строительстве применяют преимущественно бревна 2-го и 3-го сортов.

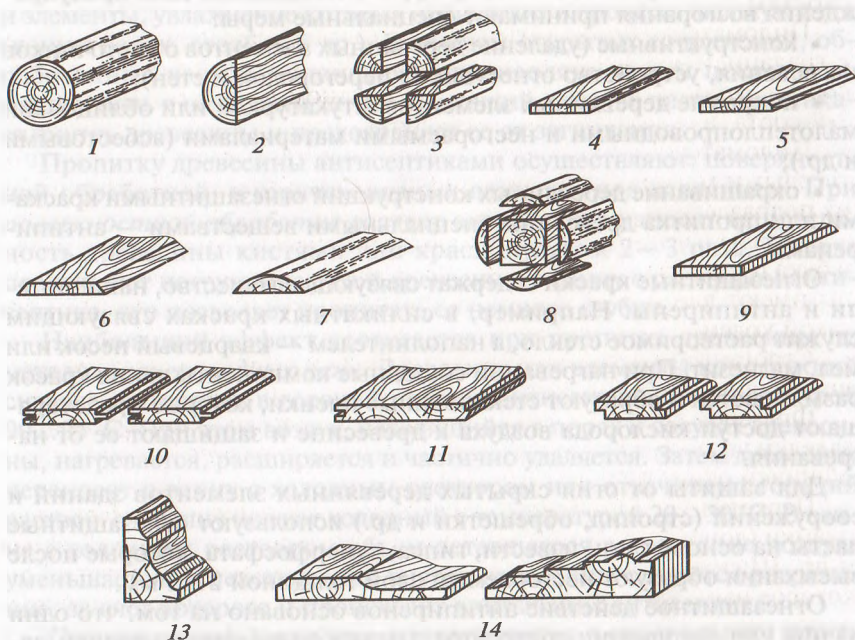


Рис. 12.8. Виды пиломатериалов:

1 — пиловочные строительные бревна; 2 — пластина; 3 — четвертины; 4, 5 — обрезные доски; 6 — необрезная доска; 7 — горбыль; 8 — брус; 9 — доска, остроганная с четырех сторон; 10 — шпунтованные доски с прямоугольным пазом и гребнем; 11 — шпунтованные доски с треугольным пазом и гребнем; 12 — фальцевые доски; 13 — плиты; 14 — наличник

Пиловочные бревна из стволов хвойных и лиственных пород используют для получения разнообразных пиломатериалов. Кряжи в виде толстых обрезков ствола дерева (диаметром больше 200 мм) являются сырьем для лущения в производстве фанеры и спичек. В фанерном производстве используют преимущественно березовые, ольховые и осиновые кряжи.

Пиломатериалы изготавливают путем продольной распиловки пиловочных бревен. Бревна могут распиливаться по диаметру (пластины) или по двум взаимно-перпендикулярным диаметрам (четвертина).

Доски имеют толщину 100 мм и менее, причем их ширина в 3 раза и более превышает толщину. Доска и бруски бывают обрезные (с пропиленными кромками) и необрезные (с непропиленными кромками). Бруски имеют толщину менее 100 мм, но в отличие от досок ширина брусков меньше их трехкратной толщины.

Брусья имеют ширину и толщину больше 100 мм. Их подразделяют на четырехбитные, опиленные с четырех сторон, и двухкантные, опиленные с двух противоположных сторон по параллельным плоскостям.

Пиломатериалы хвойных пород изготавливают длиной 1,0...6,5 м с градацией через 0,25 м. Доски и бруски подразделяются на пять сортов: отборный 1, 2, 3 и 4-й. В столярном деле используют 1-й и 2-й сорта, в строительстве — все сорта.

Пиломатериалы лиственных пород изготавливают из древесины твердых и мягких пород длиной 0,5...6,5 м с градацией через 0,5 м, их подразделяют на три сорта.

Шпалы изготавливают из сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты и бука путем обработки круглого леса на два или четыре канта. Шпалы имеют длину 2,5...2,7 м для широкой колеи; 1,35...1,8 м — для узкой колеи.

Строганные и шпунтовые доски и бруски имеют на одной кромке шпунт, а на другой — гребень для плотного соединения элементов.

Фрезерованные изделия — плинтусы и галтели — применяют для заделки углов между стенами и полом, а поручни и наличники — для обшивки оконных и дверных коробок.

Паркет бывает обыкновенный (планочный) и щитовой. Паркетные планки (дощечки) изготавливают из твердых пород: дуба, бука, ясеня и др. Щитовой паркет имеет основание из досок или брусьев, на которое наклеен паркет, набранный из отдельных планок. Паркетные доски состоят из реечного основания (которое позволяет избежать коробления), на которое наклеены паркетные планки. На кромках паркетных досок имеются паз и гребень для плотного соединения при настилке пола. Применение паркетных досок дает большие преимущества по сравнению со штучным паркетом. Их изготавливают заводским механизированным способом; устройство чистого пола из паркетных досок осуществляется значительно быстрее.

Столярные изделия — оконные и дверные коробки с вмонтированными в них оконными переплетами и дверными полотнами. Эти изделия изготавливают заводским путем и выпускают полностью отделанными.

Деревянные детали и сборные конструкции заводского изготовления поступают на строительство в готовом виде, а на строительной площадке производится лишь их сборка. В число деревянных деталей и сборных конструкций входят балки междуэтажных и чердачных перекрытий, щиты для наката перекрытий и перегородок, элементы сборных деревянных домов.

Дома заводского изготовления выпускают брусковые и каркасно-обшивные. В каркасно-щитовых домах для заполнения каркаса используют панели из фибролита или из древесно-волокнистых плит. Наружные стены могут быть облицованными (например, асбоцементными цветными плитками).

Каркасно-обшивной дом имеет каркас, собираемый из брусьев (вертикальные стойки, нижняя и верхняя обвязки). Каркас обшивают снаружи и внутри обрезными досками, пространство между которыми заполняют теплоизоляционным материалом. Балки пола и стропила, выполняемые из досок толщиной 50 мм, дополнительно укрепляют каркас. Дома заводского изготовления выпускают одно- и двухэтажными; их собирают на строительной площадке из готовых элементов.

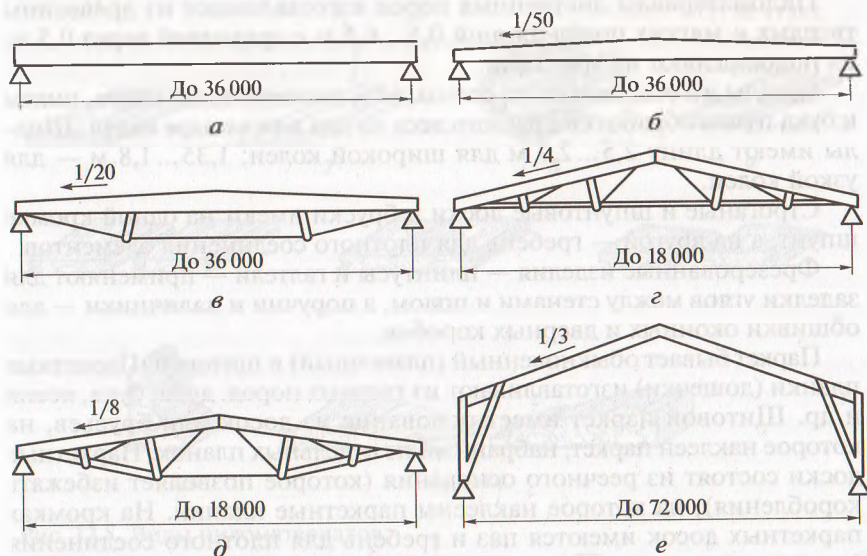


Рис. 12.9. Клееные конструктивные элементы из древесины:

a — балка прямолинейная постоянного сечения; *б* — балка двускатная; *в* — балка шпренгельная; *г* — металлодеревянная ферма треугольная; *д* — металлодеревянная ферма с нижним поясом ломаного очертания; *е* — рама трехшарнирная

Клееные изделия и конструкции выпускают домостроительные комбинаты (рис. 12.9). Клееные деревянные строительные конструкции отличаются меньшей массой, большей прочностью, водостойкостью, меньшей возгораемостью, чем обычные деревянные конструкции. Они почти не подвержены усушке и короблению и могут изготавливаться в виде балок, ферм, арок. В клееных конструкциях отдельные слои древесины располагают таким образом, чтобы ослабить влияние анизотропности древесины, а также уменьшить местное влияние трещин и сучков. Склеиванием древесных заготовок из маломерного по длине и сечению пиленого материала можно изготовить дверные полотна, оконные и дверные коробки, щиты для полов, а также крупные конструктивные элементы.

Контрольные вопросы

1. Назовите положительные и отрицательные свойства древесины.
2. Перечислите основные составляющие макро- и микроструктуры древесины.
3. Какие существуют формы связи воды в древесине?
4. Как влияет влажность древесины на ее физико-механические свойства?
5. Что такое стандартная влажность древесины?
6. Какова зависимость прочности древесины от ее влажности?
7. Какие вы знаете основные пороки древесины и как они влияют на область ее применения?
8. Как осуществляется защита древесины от гниения и возгорания?
9. Назовите основные виды деревянных материалов и изделий, применяемых в строительстве.
10. Назовите виды пиломатериалов и технологии их производства.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

13.1. Общие сведения

Теплоизоляционными называются материалы и изделия, применяемые в жилых, производственных и других зданиях, а также в тепловых установках, трубопроводах и камерах холодильников в целях уменьшения теплообмена с окружающей средой. Теплоизоляционные материалы характеризуются пористым строением, малой средней плотностью и небольшой теплопроводностью. Применение теплоизоляционных материалов позволяет уменьшить толщину и массу стен и других ограждающих конструкций, сократить расход основных конструкционных материалов и топлива.

По строению теплоизоляционные материалы подразделяются на рыхлые (волокнистые, порошкообразные и зернистые), жесткие (плиты, кирпич, скорлупы и т.д.) и гибкие (маты, полужесткие плиты, листы, рулоны и т.д.). По исходному сырью различают теплоизоляционные материалы органические и неорганические. По средней плотности в сухом состоянии (кг/м^3) материалы подразделяются на марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 500, 600.

13.2. Строение и свойства теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы имеют высокопористое строение, они создаются из веществ, имеющих аморфное строение, так как кристаллические вещества хорошо проводят теплоту. Теплопроводность уменьшается в 10 и более раз, если использовать материалы, получаемые путем быстрого охлаждения расплава (примером являются стеклянные и минеральные волокна).

Воздух наименее теплопроводен из всех сред, не считая безвоздушного пространства. Теплопроводность сухого воздуха, заключенного в мелких порах, составляет лишь $0,023 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$. На рис. 13.1

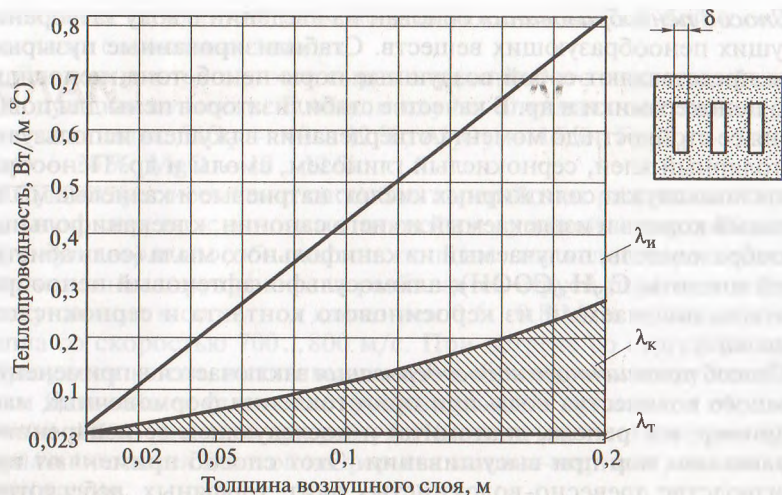


Рис. 13.1. Графики зависимостей теплопроводности от толщины воздушных слоев

показано увеличение теплопроводности воздушного слоя вследствие резкого возрастания теплопередачи конвекцией и излучением по мере увеличения размера воздушного слоя. Поэтому в теплоизоляционных материалах стремятся получать поры в виде мелких ячеек либо тонких воздушных слоев, разделяющих волокна.

Теплота через воздушный слой передается теплопроводностью (λ_t), конвекцией (λ_k) и излучением (λ_i), поэтому эквивалентная теплопроводность слоя (λ_Σ) состоит из трех слагаемых:

$$\lambda_\Sigma = \lambda_t + \lambda_k + \lambda_i.$$

В настоящее время применяют следующие основные способы создания высокопористого строения материала. *Способ газообразования* основан на введении в сырьевую смесь компонентов, которые способны вызвать химические реакции с выделением газа. Газы, стремясь выйти из твердеющей массы, образуют пористую структуру материала: газобетона, газосиликата, газокерамики, ячеистого стекла, газонаполненной пластмассы и др.

В качестве химических газообразователей используются алюминиевая пудра и техническая перекись водорода (пергидроль). Алюминиевая пудра в результате реакции с гидроксидом кальция способствует выделению большого количества водорода. Пергидроль легко разлагается в щелочной среде с образованием кислорода. В обоих случаях вспучивается тестообразная масса. Аналогично в расплавленные стекла и смолы вводятся реагенты, способствующие образованию газов CO_2 , N_2 и др.

Способ пенообразования основан на введении в воду затворения вяжущих пенообразующих веществ. Стабилизированные пузырьки пены представляют собой воздушные поры пенобетона, пеносиликата, пенокерамики и др. В качестве стабилизаторов пены для повышения ее стойкости до момента отвердевания вяжущего используются столярный клей, сернокислый глинозем, смолы и др. Пенообразователями служат соли жирных кислот: натриевые и калиевые мыла, мыльный корень и извлекаемый из него сапонин; клееканифольный пенообразователь, получаемый из канифольного мыла (соль абиетиновой кислоты $C_{19}H_{39}COOH$); алюмосульфонафтенный пенообразователь, получаемый из керосинового контакта и сернокислого глинозема.

Способ повышенного водосодержания заключается в применении большого количества воды при приготовлении формовочных масс (например, из трепела, диатомита) и последующем ее испарении с сохранением пор при высушивании. Этот способ применяют при производстве древесно-волоконистых плит, торфяных, асбестотрепельных и других материалов.

Способ вспучивания заключается в нагревании до высоких температур некоторых горных пород и шлаков. Из сырья выделяются газы или водяные пары в основном в связи с отделением химически связанной или цеолитной воды. При способе вспучивания сырьем служат перлит и обсидиан, вермикулит, некоторые разновидности глин, особенно содержащие легкоплавкую закись железа (FeO). Эти и некоторые другие сырьевые материалы после вспучивания образуют соответствующие высокопористые теплоизоляционные материалы: вспученные перлит и вермикулит, керамзит, шлаковую пемзу и др.

Например, при быстром нагревании вермикулит (высокогидратированный алюмосиликат магния) расщепляется на отдельные слюдяные пластинки, которых в 1 см^3 насчитывается до 200 тыс. шт. При этом зерна вермикулита сильно вспучиваются вследствие обильного выделения из минерала при нагревании химически связанной воды. Раздвигая пластинки, поры увеличивают объем зерен в 20—30 раз и более. Вспученный вермикулит характеризуется малой насыпной плотностью ($80 \dots 150\text{ кг/м}^3$), низкой теплопроводностью ($0,09 \dots 0,12\text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$).

Обжиг производится во вращающихся и шахтных печах при быстром подъеме температуры до $800 \dots 1\,000\text{ }^\circ\text{C}$ и последующем охлаждении. Аналогичное увеличение объема при вспучивании происходит и при быстром нагревании в печах перлита. Насыпная плотность вспученного перлитового щебня составляет $160 \dots 500\text{ кг/м}^3$. Пористость вспученного перлита может достигать 88...90 % и более.

Большое распространение получили минеральная стеклянная вата и изделия из них. Сырьем для минеральной ваты служат пегматиты, туфы и другие горные породы и металлургические шлаки, а для из-

готовления стеклянной ваты используют стеклянный бой и отходы стекла на стекольных заводах.

Для оценки пригодности сырья определяют его химический состав и модуль кислотности. В общем случае оптимальный химический состав шихты: SiO_2 — 40...42 %; Al_2O_3 — 12 %; Fe_2O_3 — 3...4 %; CaO — 30 %; MgO — 10...12 %.

Существует несколько способов переработки расплавов в минеральную вату, но к основным относятся дутьевой и центробежный. При *дутьевом способе* расплав попадает на желоб и рассекатели. Вертикальная струя расплава разбивается струей пара или воздуха, поступающих к соплу под давлением 0,6...0,8 МПа и выходящих из сопла со скоростью 700...800 м/с. При встрече со струей расплава образуются капли, вытягивающиеся в цилиндрики и грушевидные тела. Дальнейшее удлинение грушевидных тел приводит к образованию нитей из расплава при раздуве. Часть волокон не успевает оформиться и остается близкой по форме к каплям-шарикам, называемым *корольками*.

С увеличением давления и скорости истечения уменьшается количество нежелательных корольков в вате. Волокна, образовавшиеся при раздуве, увлекаются в специальную камеру и там осаждаются. В нижней части камеры установлен сетчатый конвейер, оканчивающийся валиками для подпрессовки ваты. Для придания эластичности волокна опрыскивают синтетическим связующим или битумом, что позволяет придавать вате форму матов, плит и др.

При переработке расплава *центробежным способом* струя направляется на горизонтально расположенный диск с радиальными насечками (канавками). Диск насажен на вертикальный вал, который от мотора передает вращательное движение диску со скоростью 3 500...4 000 об./мин. Под влиянием центробежной силы струя, стекающая по канавкам с диска, разбрасывается в виде тончайших нитей, прижимаемых сжатым воздухом к корпусу установки. Волокно из центробежной установки переносят к прессу и прессуют его в кипы или направляют на формование изделий.

Качество минеральной ваты характеризуется средней плотностью от 50 до 125 кг/м³, пористостью — до 90 %, теплопроводностью — 0,038...0,043 Вт/(м · °С) при температуре (25 ± 5)°С.

Дутьевым и центробежными способами получают также стекло-вату, а направленное стекловолокно — способом непрерывного вытягивания нити из отверстий (фильер) жароупорной пластины (фильерный способ). Получаемые нити отличаются высокой прочностью на растяжение — при диаметре 4...5 мкм прочность составляет до 50 МПа.

Способом распушения получают асбест, а затем асбестовый материал, являющийся хорошим теплоизолятором, особенно в виде асбестовых бумаги, картона, войлока, а также пластичных смесей и изделий на основе вяжущих.



Рис. 13.2. Графики зависимостей теплопроводности λ от средней плотности $\rho_{\text{ср}}$:

1 — неорганические материалы; 2 — органические материалы

Известен еще один способ поризации теплоизоляционных материалов — *способ выгорающих органических веществ*, вводимых в сырье как порообразующие добавки, в частности при производстве керамических теплоизоляционных изделий. К керамическому сырью — диатомиту, трепелу, глине — добавляют опилки, дробленый уголь, торф, линнин, а для мелкой и ранвомерной пористости — нафталин, который при нагревании полностью улетучивается (возгоняется).

На выгорании органического «ядра» из сферической минеральной оболочки основано производство полого шарообразного заполнителя — керамического вакулита. Этот способ позволяет использовать невспучивающееся сырье, учитывая дефицитность вспучивающихся глин. Насыпная плотность вакулита — до 300 кг/м^3 . Используют его в теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных легких бетонах.

Теплопроводность теплоизоляционных материалов зависит от средней плотности (рис. 13.2). Прочность теплоизоляционных материалов при сжатии невелика — $0,2 \dots 2,5 \text{ МПа}$.

13.3. Неорганические теплоизоляционные материалы

Рыхлые материалы. В строительстве в качестве рыхлых теплоизоляционных материалов используют минеральную и стеклянную вату, вспученные перлит и вермикулит, измельченные диатомит и трепел, гранулированные доменные и котельные шлаки и золы, а также пемзу и другие пористые рыхлые горные породы.

Минеральная и стеклянная вата состоит из тонких спутанных между собой волокон диаметром от 5 до 12 мкм. Основные преимущества минеральной ваты — малая средняя плотность и соответ-

ствующие ей низкая теплопроводность, огнестойкость и малая гигроскопичность.

Вспученный перлит и вермикулит применяют в качестве засыпок для высокотемпературной теплоизоляции.

Жесткие теплоизоляционные материалы и изделия. К жестким теплоизоляционным материалам и изделиям относятся скорлупы и сегменты из пропитанной синтетическими смолами уплотненной минеральной ваты, подвергаемые для отверждения смол тепловой обработке; минеральные плиты, скорлупы и сегменты на битумном связующем; плиты, скорлупы и сегменты из ячеистых бетонов; плиты, скорлупы и сегменты из вспученного вермикулита или перлита на основе минеральных вяжущих с добавкой асбеста или без него; плиты, кирпич, скорлупы и сегменты, получаемые обжигом отформованных смесей, состоящих из вспученного перлита, глины или диатомита; совелитовые плиты, изготавливаемые формованием и тепловой обработкой смесей, состоящих из основного углекислого магния, углекислого кальция и асбеста; плиты из пеностекла; плиты из крупнопористых керамзитопластбетона и керамзитобетона, из ячеистой керамики и др.

Жесткие теплоизоляционные материалы и изделия применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, поверхностей промышленного оборудования, холодильников и трубопроводов.

Гибкие материалы и изделия. К гибким теплоизоляционным материалам относятся маты, полужесткие плиты и скорлупы, изготавливаемые из пропитанной синтетическими смолами минеральной или стеклянной ваты с последующими уплотнением и тепловой обработкой; плиты полужесткие из минеральной ваты на битумном связующем; маты прошивные, получаемые прошивкой слоя минеральной ваты или стекловаты, уложенного в оболочку из бумаги или металлической сетки; войлок — уплотненная минеральная вата, пропитанная битумом, и др.

Гибкие теплоизоляционные материалы характеризуются низкой теплопроводностью в сухом состоянии ($0,046 \dots 0,080 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$) и используются для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

13.4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

Жесткие материалы. К жестким материалам и изделиям относятся древесно-волоконистые плиты; камышитовые плиты из прессованного камыша, скрепленного рядами проволоочных основ, положенных поперек стеблей и стянутых проволоочными сшивками (чем больше степень прессования, тем больше объемная масса и теплопроводность, но тем больше прочность и меньше сгораемость плит;

при частом увлажнении камышитовые плиты подвергаются загниванию); торфяные плиты, скорлупы, сегменты, изготавливаемые путем формования и сушки малоразложившегося торфа; плиты, скорлупы и сегменты из пористых пластмасс, подразделяемые по виду применяемых смол на полистирольные, поливинилхлоридные и фенолформальдегидные.

Пористые пластмассы (поропласты) используют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при нагреве в эксплуатационных условиях до 60 °С.

Гибкие материалы. К гибким теплоизоляционным органическим материалам относятся строительный войлок, получаемый из грубой шерсти и отходов шерстяных производств; гофрированный картон; маты из пористого полиуретана.

Строительный войлок, выпускаемых в виде полотнищ длиной 1 000...2 000 мм, шириной 500...2 000 мм и толщиной 12 мм, не подвергается гниению, не горит, гигроскопичен, перед использованием антисептируется. Пористый полиуретан — газонаполненная полиуретановая смола, свойство которой можно изменять путем использования различных наполнителей.

Гибкие материалы применяют для теплоизоляции отдельных частей конструкций и поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

Контрольные вопросы

1. Чем характеризуются теплоизоляционные материалы?
2. Каковы особенности строения и свойств теплоизоляционных материалов?
3. Назовите принципы создания теплоизоляционных материалов.
4. Какие вы знаете способы получения минеральной стекловаты и изделий из нее?
5. Назовите представителей неорганических теплоизоляционных материалов и изделий.
6. Назовите представителей органических теплоизоляционных материалов и изделий.
7. Назовите теплоизоляционные материалы, применяемые для горячих поверхностей.
8. Назовите теплоизоляционные материалы для строительных конструкций.

АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

14.1. Общие сведения

Акустические материалы предназначены для снижения уровня звука в производственных и общественных зданиях. Акустические материалы подразделяются в зависимости от назначения на звукопоглощающие и звукоизоляционные, или прокладочные и вибропоглощающие.

Частоты колебаний, выражаемые в герцах, могут быть низкими, средними и высокими, что обусловлено числом колебаний в 1 с: при низкой частотности — 16... 500 Гц; при средней — 500... 2 000 Гц; при высокой — 2 000... 15 000 Гц и выше (1 Гц = 1 колебание в секунду). Количество энергии, переносимой звуковой волной за 1 с через площадку площадью 1 см², перпендикулярную направлению движения волны, называется силой звука и выражается в ваттах на 1 см (Вт/см).

Отделочные материалы частично поглощают звук внутри помещений, например промышленных цехов или технических устройств (вентиляционных воздуховодов и др.). Отделочные звукопоглощающие материалы также оптимизируют условия слышимости в помещениях, например в зрительных залах, лекционных аудиториях, радиовещательных студиях и т. п.

Большая или меньшая часть звуковых волн обычно отражается от конструкций, выполненных из отделочных звукопоглощающих материалов. В результате в помещении сохраняется звучание даже после прекращения действия источника звука. Такое явление называется *реверберацией*. Прокладочные материалы используют под упругими полами междуэтажных перекрытий, предохраняя тем самым помещения от распространения материального (ударного) переноса звука.

Числовую величину поглощения звука оценивают коэффициентом, который показывает долю энергии звуковой волны, поглощаемой 1 м поверхности материала в открытом проеме. Чем больше коэффициент звукопоглощения, тем выше соответствующая эффективность строительного материала в конструкции.

Уровень шума нормируется уровнем звукового давления, т. е. избыточного давления, вызываемого распространением звуковой вол-

ны в воздухе. Звуковое давление измеряется в децибелах (дБ) в частотах 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 3 000, 8 000 Гц.

14.2. Свойства и виды звукопоглощающих материалов

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения α , равный отношению количества поглощенной звуковой энергии к общему количеству звуковой энергии, падающей на материал в единицу времени. Все строительные материалы обладают способностью в той или иной степени поглощать звук, поэтому для них $\alpha > 0$, а наибольшее значение $\alpha = 1$. Звукопоглощающими материалами принято называть такие, коэффициент звукопоглощения которых на средних частотах более 0,2. Коэффициент звукопоглощения зависит от пористости материала.

Коэффициент звукопоглощения значительно повышается при возрастании пористости, поэтому звукопоглощающие материалы стремятся выпускать с пористостью 40...90 %. В этом отношении они сходны с теплоизоляционными материалами. Однако требования к характеру пор различны. Если в теплоизоляционном материале предпочитают замкнутые воздушные поры, то эффективность звукопоглощающего материала возрастает при наличии сквозных пор или специально предусмотренной перфорации. Звукопоглощение пористых материалов обусловлено потерями энергии звуковых волн благодаря вязкому трению в порах и переходу части механической энергии в тепловую.

Сопротивление продуванию является специфической характеристикой, позволяющей установить влияние структуры материала на коэффициент звукопоглощения. При низких частотах целесообразно иметь меньшее удельное сопротивление продуванию, т.е. следует применять рыхлый и толстый материал с крупными сквозными порами. Еще более эффективной является звукопоглощающая конструкция в виде тонкого слоя пористого материала, установленного на некотором расстоянии от стены для создания воздушного промежутка.

Из материалов с волокнистой структурой наибольшее значение имеют минераловатные плиты, изготавливаемые из минерального, стеклянного или асбестового волокна. В качестве связующего используют полимеры (преимущественно фенолформальдегидный и мочевиноформальдегидный), битумную эмульсию, крахмально-бентонитовое связующее.

Звукопоглощающие минераловатные плиты отличаются от теплоизоляционных более жестким скелетом и сквозной пористостью.

Плитам придают желобчатую, ноздреватую или трещиноватую декоративную фактуру; перфорация плит делается примерно на 2/3 толщины материала.

Декоративно-акустические плиты «акмигран» изготавливают из гранулированной минеральной ваты (76... 80 %), крахмала (10... 12 %) и бентонитовой глины (10... 15 %). Плиты имеют эстетичный вид; они являются эффективным звукопоглощающим материалом с коэффициентом звукопоглощения 0,8... 0,9 при среднем и высоком диапазонах частот.

Жесткие древесно-волоконистые плиты с щелевой перфорацией применяют успешно, если при изготовлении они были обработаны огнезащитным составом. Воздушный промежуток создается путем применения каркаса, устроенного из проволоки диаметром 1... 2 мм либо из деревянных реек, пропитанных огнезащитным составом, по которым прокладывается металлическая сетка.

Акустический фибролит получают из древесной стружки и минерального вяжущего вещества (портландцемента или гипса). Цементный акустический фибролит марок Ф-400 и Ф-500 в виде плит толщиной 30 мм, предназначенный для акустической отделки помещений, характеризуется коэффициентом звукопоглощения $\alpha = 0,08 \dots 0,27$ (частота — 63... 250 Гц); $\alpha = 0,36 \dots 0,54$ (частота — 500... 2 000 Гц); $\alpha = 0,60 \dots 0,63$ (частота — 4 000... 8 000 Гц) при установке на расстоянии 50 мм от ограждения.

Рулоны и маты изготавливают из минерального и органического (синтетического, хлопкового) волокна, небольшого количества связующего (полимера, битума, крахмала) или прошивают нитками, тонкой проволокой. Для защиты от пыли и повышения механической прочности маты и плиты покрывают тонкой пленкой (например, полиамидной) и декоративной стеклотканью; их средняя плотность — 50... 200 кг/м³.

Акустические бетоны и растворы изготавливают из пористых заполнителей, отличающихся небольшой плотностью (вспученного перлита, вермикулита, легких видов керамзита, природной и шлаковой пемзы). Используют также крошку глиняного кирпича и каолиновую крошку из отходов керамической промышленности. Вяжущим является цветной, белый или обычный портландцемент. Акустические бетоны применяют в виде плит или шумоглушащих блоков.

Гипсовые акустические плиты, армированные стекловолокном, со сквозной перфорацией, обычно оклеенные с тыльной стороны алюминиевой фольгой, используют в подвесных конструкциях.

Звукопоглощающие плиты «силапор» при монтаже потолков крепят в подвесных конструкциях либо приклеивают к потолку специальными мастиками.

Асбестоцементные перфорированные плиты имеют высокую прочность на изгиб, окрашиваются в любой цвет, несгораемы.

Керамические плиты и блоки могут изготавливаться из кирпичной крошки на жидком стекле. Блоки применяют для глушения шума промышленных установок при температуре до 500 °С, а плиты — для глушения шума в вентиляционных каналах.

При обычных температурных условиях хорошее звукопоглощение достигается при использовании поропластов, т. е. ячеистых пластмасс, имеющих сообщающиеся между собой поры. Например, коэффициент звукопоглощения пористого полиуретана толщиной 50 мм равен 0,9 при частоте 500 Гц.

Звукопоглощающие изделия из пористого материала с перфорированным покрытием нашли широкое применение; простота их устройства сочетается с возможностью получения наилучшей частотной характеристики звукопоглощения для любых конкретных условий. Можно подобрать диаметр отверстий перфорации, процент перфораций, диаметр толщины экрана, воздушного зазора и слоя пористого материала так, чтобы получить при данных частотах высокий коэффициент звукопоглощения.

Основным элементом изделия является пористый материал плотностью не более 100...140 кг/м³ в виде минераловатных плит, рулонов, акустических бетонных плит или полиуретанового поропласта. Для защиты от увлажнения рулоны, маты или мягкие плиты обертывают в ткань, пропитанную гидрофобным составом. Применяют также защитные тонкие синтетические пленки. Перфорированные покрытия делают из слоистого пластика, дюралюмина, оцинкованной листовой стали, асбестоцементных листов, гипсовых акустических плит.

14.3. Свойства и виды звукоизоляционных материалов

Изоляция от воздушного шума определяется звукоизолирующей способностью конструкции R и показывает, насколько снижается уровень звукового давления после прохождения звука через конструкцию. Звукоизолирующая способность определяется по формуле

$$R = 10 \lg I / \tau,$$

где τ — коэффициент звукопроницаемости, представляющий собой отношение звуковой мощности, прошедшей через ограждение, к звуковой мощности, падающей на него.

Стекловолокнистые изделия изготавливают из непрерывного стеклянного волокна, имеющего диаметр 10...30 мкм (стеклянная вата, стекловолокнистые маты и полосы), которые прошиваются или проклеиваются. Из штапельного стеклянного волокна длиной 20...40 см и толщиной 8...20 мкм получают плиты на полимерных связующих.

Маты и плиты выпускают плотностью 30 ... 250 кг/м³ и толщиной 10, 30, 40, 50 мм. Повышение тонкости стеклянного волокна увеличивает звукоизоляционные свойства материалов,

Минераловатные изделия изготавливают в виде мягких и полужестких плит плотностью 50 ... 150 кг/м³, используя связующее на основе полимеров (фенолоформальдегидного, мочевиноформальдегидного), а также поливинилацетатную эмульсию.

Асбестовые изделия выпускают в виде матов из асбестового волокна с добавкой вяжущего (например, цемента, жидкого стекла). Толщина асбестовых плит — 15 ... 40 мм, а асбестовых матов — до 80 мм. Для звукоизоляции применяют древесно-волоконистые плиты со средней плотностью 150 ... 250 кг/м³.

Прокладки с губчатой структурой — это упругие материалы с малым модулем упругости, имеющие большую сквозную пористость. Их изготавливают из пористой резины, эластичных полимеров: полиуретановых смол (поролонов), полихлорвинила обычного (ПХВ) и эластичного (ПХВЭ). Средняя плотность губчатой резины составляет 100 ... 750 кг/м³, поролонов — 30 ... 75 кг/м³, ПХВ — 60 ... 350 кг/м³ (в зависимости от марки).

Звукоизоляционные мягкие покрытия полов значительно улучшают изоляционные свойства перекрытий. Безосновный линолеум лишь незначительно улучшает звукоизоляцию перекрытия от ударного шума. Более эффективны двухслойные покрытия, особенно линолеум на подоснове из пенополиуретана или ворсовая нейлоновая ткань на губчатой резине.

Звукоизоляционные материалы применяют в виде слоев, полосовых и штучных прокладок. Звукоизоляция перекрытия значительно улучшается при устройстве звукоизоляции по типу «плавающего» пола. «Плавающий» пол отделяется от несущей конструкции перекрытия и стен прокладками из звукоизоляционного материала, не имея с ними жестких контактов. С помощью упругих прокладок из звукоизоляционных материалов звук изолируют по внутренним стенам и перегородкам. Прокладки устанавливают в местах примыкания и сопряжения ограждающих конструкций и перекрытий.

Машины, инженерное и бытовое оборудование помещений вызывают вибрацию строительных конструкций. Для уменьшения шума от вибрации необходимо проведение комплекса мероприятий. Виброизоляция фундаментов машин достигается установкой амортизаторов (в виде пружин и упругих прокладок), располагаемых между фундаментами и полом. Хорошая виброизоляция получается тогда, когда частота собственных колебаний установки на амортизаторе будет по меньшей мере в 3—4 раза меньше частоты вынужденных колебаний.

Для изоляции трубопроводов от строительных конструкций осуществляется их подвеска к потолку или прокладка по стойкам, которые должны опираться на несущую конструкцию через звукоизоля-

ционные прокладки. В местах прохода через стены и перекрытия трубопровод тщательно изолируют минеральной ватой или другим подобным изоляционным материалом, который предотвращает образование акустических мостиков.

Контрольные вопросы

1. Назовите разновидности акустических материалов.
2. Как оценивают численную величину поглощения звука?
3. Как оценивают уровень шума?
4. Назовите акустические характеристики звукопоглощающих материалов.
5. Чем отличаются звукопоглощающие минераловатные плиты от теплоизоляционных?
6. Назовите представителей звукоизоляционных материалов.
7. Как оценивается звукоизолирующая способность?
8. Как осуществляют звукоизоляцию машин, инженерного и бытового оборудования?

Глава 15

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

15.1. Общие сведения

Лакокрасочными материалами называются составы, наносимые в жидком виде тонким слоем на окрашиваемую или лакируемую поверхность и образующие прочно сцепляющуюся с ней твердую пленку.

Строительные конструкции покрывают лакокрасочными материалами с целью предохранить материал конструкции от разрушающего действия атмосферных влияний, вредных паров и газов и от загнивания; придать наружной поверхности конструкции красивый внешний вид; защитить материал (главным образом дерево) от возгорания; улучшить санитарно-гигиенические условия в помещениях (например, периодическая окраска помещений школ, больниц, операционных санитарных узлов и пр.).

К лакокрасочным материалам относятся пигменты, связующие вещества и растворители, масляные краски, эмалевые краски, известковые краски, клеевые краски, лаки и политуры.

15.2. Пигменты

Пигментами называются окрашенные химические соединения, нерастворимые в воде, пленкообразующих веществах и органических растворителях и способные в порошкообразном состоянии смешиваться с жидкими связующими с образованием красочных составов.

Пигменты подразделяются на органические и минеральные, а минеральные, в свою очередь, на природные и искусственные.

Качество пигментов характеризуется:

- *укрывистостью* — способностью закрывать грунт, по которому наносится краска рабочей консистенции, приготовленная на олифе и испытуемом пигменте; чем тоньше слой краски, закрывающей грунт, тем выше укрывистость пигмента;
- *красящей способностью* — способностью передавать свой цвет смеси с белыми, черными или синими пигментами;

• *маслоемкостью* — количеством олифы, которое следует добавить в 100 г пигмента, чтобы получить красящую пасту требуемой консистенции: чем меньше олифы требует пигмент для получения пасты, тем больше его содержится в краске и тем выше его укрывистость;

• *дисперсностью* — чем мельче частицы пигмента, тем выше его укрывистость и красящая способность (до определенной степени дисперсности). Красочные покрытия, в которых пигменты при общей их большой удельной поверхности имеют полифракционный состав, характеризуются наибольшей плотностью пленки при малом расходе связующего;

• *светостойкостью* — способностью сохранять свой цвет под воздействием света;

• *атмосферостойкостью* — способностью противостоять, не изменяя цвета, воздействию кислорода воздуха, сернистых и других газов, а также попеременному увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию;

• *химической стойкостью* к действию кислот и щелочей;

• *огнестойкостью* — способностью не разрушаться и не изменять цвет при высоких температурах.

Тот или иной пигмент, как и красящий состав в целом, выбирают с учетом назначения и условий службы покрытий. По цветам пигменты подразделяются на ахроматические (белые, серые и черные) и хроматические (всех других цветов).

Из природных белых пигментов в строительстве широко применяют мел, однако он непригоден для получения масляных красок, так как с маслом образует пленки грязно-желтого цвета. Из искусственных белых пигментов для строительных красочных составов используют:

• *цинковые белила*, представляющие собой оксид цинка (ZnO), характеризуются недостаточно высокой атмосферостойкостью и поэтому применяются в красочных составах, предназначенных для покраски по дереву, металлу и штукатурке внутри помещения;

• *свинцовые белила* — основная углекислая соль свинца ($2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$). Свинцовые белила укрывисты, атмосферо- и светостойки и применяются в красочных составах для наружных покрасок и антикоррозионных покрытий металлических конструкций. Существенный недостаток этого пигмента — высокая токсичность, что ограничивает его применение;

• *титановые белила* — диоксид титана (TiO_2) или смесь оксида титана с оксидом цинка. Они отличаются высокой кроющей способностью и применяются в чистом виде или в смеси с наполнителями: сернокислым барием, сернокислым кальцием, тальком и др. Титановые белила атмосферо- и светостойки, а также стойки к воздействию кислот, щелочей и высоких температур. Они не ядовиты; их используют как для отделки внутренних помещений, так и для окраски поверхностей, подвергающихся атмосферным воздействиям;

- *сернистые белила* (литопон) — смесь сернистого цинка (ZnS) с сернокислым барием (BaSO_4). Литопон — наиболее доступный пигмент, так как для его получения расходуется почти в 5 раз меньше цинка, чем для получения такого же количества цинковых белил. Литопон недостаточно атмосферостоек и поэтому применяется только в красочных составах, предназначенных для покрасок внутри помещений.

В качестве черных пигментов в красящих составах наиболее часто применяют сажу, перекись марганца и графит. Сажа характеризуется высокими красящей способностью и укрывистостью, а также стойкостью к действию щелочей и кислот;

- *перекись марганца* (MnO_2) — пигмент черного цвета, отличающийся высокой кроющей способностью. Получают его из природной марганцевой руды;

- *графит* — пигмент серовато-черного цвета с характерным металлическим блеском, стойкий к воздействию высоких температур и кислот.

Из красных пигментов для строительных красочных составов наиболее широко применяют мумию, сурик свинцовый, крон красный.

Мумия — природный железоокисный пигмент с содержанием от 20 до 70 % оксида железа (Fe_2O_3). В зависимости от количества Fe_2O_3 цвет пигмента изменяется от светлого до темного коричневатокрасного. Мумия обладает хорошей кроющей способностью и высокими свето- и атмосферостойкостью.

Сурик свинцовый (Pb_3O_4) — самый тяжелый пигмент, хорошо противостоит действию щелочей и применяется преимущественно для антикоррозионных грунтовочных покрытий по стали.

Крон красный — основной хромовокислый свинец ($\text{Pb}_2\text{CrO}_4 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$) — пигмент ярко-оранжевого цвета, обладающий высокой светостойкостью.

В строительных красочных составах в качестве желтых пигментов применяют охру, крон свинцовый и крон цинковый.

Охра — смесь гидратов оксида железа с глиной — один из наиболее стойких и дешевых пигментов. Разновидностью охр являются болотные руды, встречающиеся в природе в порошкообразном виде. Охры атмосферо- и светостойки, хорошо противостоят воздействию щелочей и слабых кислот.

Крон свинцовый представляет собой хроматы и сульфохроматы свинца. Цвет пигмента — от светло-лимонного до темно-желтого. Свинцовый крон обладает высокими кроющей способностью и антикоррозионными свойствами, ядовит.

Крон цинковый — смесь хромовокислого цинка с небольшим количеством хромового ангидрида. Для снижения стоимости в состав этого пигмента вводят тяжелый шпат BaSO_4 . Цинковые кроны в отличие от свинцовых более светостойки, но обладают значительно меньшей кроющей способностью. Введенные в состав антикоррози-

онных красок они хорошо защищают металлические конструкции от атмосферных воздействий и некоторых агрессивных сред.

Из синих пигментов в красочных составах наиболее широко применяют ультрамарин и лазурь. *Ультрамарин* — алюмосиликат натрия, содержащий серу. Он представляет собой порошок синего цвета, нерастворимый в воде и органических растворителях.

Лазурь — железная соль железистосинеродистоводородной кислоты ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN}_6)]_3$). Это светостойкий пигмент, обладающий антикоррозионными свойствами. Лазурь разрушается под действием щелочей, а поэтому не применяется в красочных составах, предназначенных для окраски по штукатурке и цементным растворам.

Из числа зеленых пигментов применяются зелень свинцовая хромовая, оксид хрома и зелень цинковая. *Зелень свинцовая хромовая* — механическая смесь желтого крона с лазурью и наполнителями. Она обладает высокой укрывистостью, интенсивностью окраски и антикоррозионными свойствами. Разрушается смесь в щелочной среде, поэтому не пригодна для красочных составов, предназначенных для окраски по штукатуркам.

Оксид хрома (Cr_2O_3) — пигмент, характеризующийся высокой химической стойкостью к действию щелочей и кислот, а также светостойкостью. Он хорошо смешивается со всеми связующими и широко применяется в красочных составах для окраски конструкций, работающих в условиях повышенных температур и в некоторых агрессивных средах.

Зелень цинковая — механическая смесь цинкового крона с берлинской лазурью и наполнителями. Она атмосфероустойчива, но разрушается под действием щелочей и кислот. Применяется зелень цинковая с масляными связующими, главным образом для покрытия металлических материалов, так как повышает их коррозионную стойкость.

15.3. Связующие вещества

В качестве связующих в красочных составах используют пленкообразующие вещества, например смолы, минеральные вяжущие (цемент, известь, жидкое стекло), а также клеи. *Пленкообразующими* называются природные или синтетические вещества, способные образовывать прочные пленки толщиной от размеров молекулы до сотен микрон.

Высокомолекулярные пленкообразующие вещества подразделяются на непревращаемые (пленки образуются из раствора в результате испарения растворителя) и превращаемые (образование пленок сопровождается переходом линейных молекул в трехмерные пространственные полимеры).

К непревращаемым пленкообразующим веществам относятся низкомолекулярные природные смолы, синтетические термопластич-

ные смолы, белковые вещества, эфиры целлюлозы. Превращаемыми веществами, образующими нерастворимые и неплавкие пленки, являются высыхающие растительные масла, синтетические термоактивные смолы типа резольных, формальдегидных и каучуки.

Растительные масла в лакокрасочных составах применяют преимущественно в виде *олиф* — продуктов, получаемых нагреванием до 150 °С высыхающих масел (льняное, конопляное и др.). В процессе варки в них вводят сиккативы — соли, оксиды или перекиси свинца, кобальта и других металлов, ускоряющие высыхание масел в покрытиях. Такие олифы называются натуральными. Образующиеся после их высыхания пленки высокоэластичны и атмосферостойки.

В качестве сырья для получения олиф используют и полувысыхающие (подсолнечное, соевое и др.) и невысыхающие масла (например, хлопковое), а также непищевое сырье — нефтяные углеводороды. Олифы, полученные из полувысыхающих и невысыхающих масел, называются полунатуральными; из непищевого сырья — искусственными. Последние по сравнению с натуральными образуют менее прочные и недостаточно атмосферостойкие пленки.

Для получения строительных красок применяют искусственные олифы следующих основных видов:

- *глифталевую* — раствор синтетической глифталевой смолы в органических растворителях с добавкой 35 % растительных масел;
- *карбоноль* — раствор алюминиевых и кальциевых солей оксикарбоновых кислот в лаковом бензине с добавлением скипидара и сольвент-нафта.

Качество натуральных и полунатуральных олиф определяется химическим составом растительных масел, представляющих смеси сложных эфиров — производных от глицерина $C_3H_5(OH)_3$ и жирных кислот.

Качество олиф характеризуется следующими показателями:

- *число омыления* — количество миллиграммов щелочи, необходимое для омыления 1 г масла (олифы). Чем выше в олифе содержание свободных и связанных кислот, тем больше число омыления; в качественных олифах оно не менее 185;
- *кислотное число* — количество в олифе (масле) жирных кислот в свободном состоянии, т. е. химически не связанных с глицерином; выражается количеством миллиграммов щелочи КОН, необходимым для нейтрализации свободных кислот в 1 г масла. Повышенное содержание в олифах свободных кислот может вызвать коррозию металлических материалов, окрашенных масляными красками. Кислотное число натуральных олиф не должно быть более 6...7;
- *эфирное число* — определяется как разность между числом омыления и кислотным числом;
- *йодное число* — показатель ненасыщенности растительных масел, т. е. содержания кратных (двойных) связей в органических соединениях, входящих в состав олиф (масел). Выражается количеством

граммов йода, связываемого 100 г масла (олифы). Чем больше йодное число, тем быстрее проходят процессы окислений и полимеризации и тем скорее высыхает олифа, образуя на окрашиваемой поверхности прочную, эластичную, нерастворимую в воде пленку.

15.4. Растворители, разбавители, пластификаторы и наполнители

Растворителями называются жидкости, применяемые для растворения твердых пленкообразующих веществ (например, смол, каучука и др.) в целях перевода их в жидкое состояние. В качестве растворителей используют жидкие органические соединения и их смеси, которые легко улетучиваются в процессе образования пленок. К ним относятся лаковый бензин (уайт-спирит), применяемый для растворения смол и некоторых олиф; каменноугольная сольвент-нафта, вследствие высокой токсичности применяемая только в смеси с другими растворителями; эфиры, используемые для растворения глифталевых смол и нитроцеллюлозы; скипидар и др. Эти жидкости, а также жидкости, которые самостоятельно не применяются для растворения пленкообразующих веществ, а предназначены для уменьшения вязкости связующих, называются *разбавителями*.

В качестве пластификаторов применяют нелетучие жидкости, понижающие вязкость связующих и повышающие пластичность пленок после высыхания.

Наполнителями называются высокодисперсные минеральные порошки, вводимые в состав красок в целях уменьшения расхода более дорогого пигмента. Наполнители, как правило, — это порошки белого цвета, нерастворимые в связующем.

15.5. Водные красочные составы

Водно-известковые и водно-цементные красочные составы.

В качестве связующего в строительных красках этого вида применяют водно-известковые или водно-цементные суспензии. Известковую суспензию приготавливают из известкового теста или свежепогашенной тонкомолотой извести-кипелки. В состав суспензии вводят щелочестойкие пигменты, а также поваренную соль или хлористый кальций в целях предотвращения быстрого высыхания, так как пленки отвердевают главным образом вследствие карбонизации $[\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}]$, для протекания которой требуется некоторое количество влаги. Качество покрытий улучшается с введением в известь в процессе гашения небольшого количества олифы, так как образующиеся при этом кальциевые мыла повышают

водостойкость затвердевших пленок. Известковые краски применяют для окраски кирпичных стен и штукатурок.

Более долговечны и атмосферостойчивы цементные краски. В их состав входят следующие компоненты (массовых частей): белый цемент — 75...90; известь-пушонка — 0...15; хлористый кальций — 2...4; стеарат кальция — 1; щелочестойкие пигменты — 2...8; асбестовая пыль — 1. В краску в качестве наполнителей могут вводиться тонкомолотый кварцевый песок (до 40 массовых частей) и трепел (до 5 массовых частей).

Для повышения водостойкости в краску добавляют гидрофобные добавки. Цементные краски применяют для отделки фасадов и внутренних помещений с повышенной влажностью.

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. Они могут поступать на строительство в виде густотертых цветных паст, состоящих из калиевого жидкого стекла и щелочестойких пигментов. На строительстве их разводят водой до требуемой консистенции.

Водно-клеевые составы. Сухие клеевые краски состоят из пигментов, наполнителей и тонкоизмельченного животного клея и до рабочей вязкости доводятся разведением водой. Водно-клеевые составы наносят на предварительно подготовленную поверхность (по грунтовке или шпаклевке). В грунтовочные составы входят медный купорос, животный клей и мел. Медный купорос растворяют в горячей воде, а затем смешивают с отдельно приготовленной мыльно-клеевой суспензией. Шпатлевочные составы содержат больше клея и мела.

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 и кальцинированной соды или других минеральных солей.

Казеин — белковое вещество, получаемое из молока. Он растворяется в слабых растворах щелочей и обладает большой клеящей способностью. Казеинаты кальция нерастворимы в воде, поэтому для повышения водостойкости казеиновых клеевых растворов в их состав вводят известь.

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.

15.6. Масляные краски, лаки и эмали

Масляные краски. *Масляными красками* называются красочные суспензии пигментов в олифе, в состав которых вводят также наполнители. По консистенции масляные краски подразделяются на густотертые и готовые к употреблению. Для получения густотертых красок пигменты тщательно растирают с олифой в специальных краскотерочных машинах, с тем чтобы все частицы пигмента были покрыты пленкообразующим веществом. Перед использованием густотертые краски разводят олифой до рабочей консистенции.

Состав масляных красок выбирают в зависимости от их назначения. Так, в масляные краски, предназначенные для антикоррозионной защиты открытых металлических конструкций (мостов, мачт и др.), вводят пигменты, содержащие соединения свинца (например, свинцовый сурик), свинцовые белила, крон свинцовый и другие, так как вследствие взаимодействия соединений свинца с жирными кислотами олифы образуются нерастворимые в воде свинцовые мыла, повышающие прочность и водостойкость покрытия. К тому же пигменты, содержащие соединения свинца, обладают высокой атмосферостойкостью и характеризуются хорошим сцеплением со сталью.

Масляные краски применяют для защиты стальных конструкций от коррозии, деревянных элементов от увлажнения, а также для окраски периодически увлажняемых поверхностей.

Наибольшей атмосферостойкостью и долговечностью обладают красочные составы на натуральных олифах. Красочные составы на искусственных олифах значительно дешевле, но менее атмосферостойки, поэтому их применяют преимущественно для окраски внутренних частей зданий (за исключением полов).

Лаки. *Лаки* — это растворы смол, битумов и других пленкообразующих веществ в летучих растворителях, наносимые на поверхность тонким слоем и образующие после высыхания твердые покровные пленки. В качестве пленкообразователей используют синтетические и природные смолы, битумы, дегти и нитроцеллюлозу. В качестве растворителей применяют лаковый бензин, сольвент-нафту, скипидар, различные спирты и эфиры (для растворения нитроцеллюлозы и глифталей).

Растворы смол или битумов в натуральных олифах или в растительных маслах называются *масляными лаками*. Масляные лаки с большим содержанием масел называются жирными; с низким содержанием — тощими. Жирные лаки по сравнению с тощими образуют более эластичные и атмосферостойкие пленки.

По виду смолы масляные лаки подразделяются на глифталевые, перхлорвиниловые, поливинилхлоридные и т.д.

Эмали. *Эмалевыми* называются краски, приготовленные растиранием пигментов на различных лаках, в частности на масляном. Густотертые эмалевые краски разводят до рабочей консистенции

жидким лаком с добавлением сиккатива и растворителей. После высыхания эмалевые красочные составы образуют блестящую пленку. В качестве пигментов в состав эмалевых красок вводят цинковые, титановые и литопонные белила, кроны, ультрамарин, сажу, железный сурик и некоторые органические пигменты.

По виду связующего эмалевые краски подразделяются на масляные (на масляных лаках), нитроэмали (на нитроцеллюлозных лаках), глифталевые (на глифталевых лаках), перхлорвиниловые и т. п.

Пленки эмалевых красок на масляных лаках, отвердевшие без нагревания, при длительном воздействии влаги постепенно разрушаются, поэтому эти краски применяют только для внутренних работ. Нитроэмали применяют как для внутренней окраски помещений с температурой не выше 40 °С, так для наружных работ (нитроглифталевые эмали). Перхлорвиниловые эмалевые краски образуют водо- и атмосферостойкие пленки и применяются для окраски фасадов зданий.

15.7. Система маркировки лакокрасочных материалов

Маркировка современных лакокрасочных материалов предусматривает указания о их важнейших технических характеристиках, позволяет ориентироваться во всем их многообразии по виду, назначению и эксплуатационным свойствам. Информация об этих свойствах содержится в технической документации и воспроизводится в виде шифров на этикетках тары, в которой готовый к употреблению материал поставляется потребителю.

Первая группа знаков шифра определяет вид лакокрасочного материала: краска, лак, эмаль, шпатлевка, грунтовка.

Если в состав вещества (например, масляной краски) входит один пигмент, то вместо обозначающего слова пишется наименование пигмента: «сурик», «белила цинковые», «охра» и т. д.

Вторая группа знаков (две прописные буквы) указывает на тип пленкообразующего вещества — его химическую основу и имеет следующие обозначения:

- на основе поликонденсационных смол: алкидноуретановые — АУ, глифталевые — ГФ, кремнийорганические — КО, фенольные — ФЛ, меламиновые — МЛ, мочевиновые (карбомидные) — МУ, пентафталевые — ПФ, полиэфирные насыщенные — ПЛ, этрифталевые — ЭТ, полиэфирные ненасыщенные — ПЭ, фенолоалкидные — ФА, циклогексановые — ЦГ, эпоксидные — ЭП, эпоксиэфирные — ЭФ;
- на основе полимеризационных смол: каучуковые — КЧ, масляно- и алкидностирольные — МС, нефтеполимерные — НП, перхлорвиниловые — ХВ, полиакрилатные — АК, поливинилацетальные — ВЛ, поливинилацетатные — ВА;

- на основе сополимеров: винилацетата — ВС, винилхлорида — ХС, фторопласта — ФП;
- на основе природных смол: битумные — БТ, канифольные — КФ, масляные — МА, шеллачные — ШЛ, янтарные — ЯН;
- на основе эфиров целлюлозы: ацетобутиратцеллюлозные — АБ, ацетилцеллюлозные — АЦ, нитрацеллюлозные — НЦ, этилцеллюлозные — ЭЦ.

Третий знак в шифре, обозначаемый одной цифрой (от 1 до 9), указывает на рекомендуемую область применения:

- 1 — атмосферостойкие (для наружных работ);
- 2 — ограничено атмосферостойкие (для внутренних работ);
- 3 — консервационные (защитные);
- 4 — водостойкие (в том числе к действию горячей воды);
- 5 — специальные (люминесцентные и пр.);
- 6 — масло- и бензостойкие;
- 7 — стойкие к действию агрессивных газов и жидкостей;
- 8 — термостойкие;
- 9 — электроизоляционные.

Между вторым и третьим обозначениями ставится дефис (например: эмаль МЛ-1 и т.д.).

Третья группа знаков для грунтовок и полуфабрикатных лаков обозначается одним нулем (0), а для шпатлевок — двумя нулями (00).

Четвертая группа знаков в шифре означает порядковый номер, присвоенный данному материалу при его разработке. Шифр может состоять из одной, двух или трех цифр, которые присоединяются к первой цифре (или двум нулям) без разделительного знака (например: «Грунтовка ГФ-0119» — грунтовка глифталевая с порядковым номером 119).

Пятая группа знаков (для пигментированных материалов) означает (полным словом) цвет лакокрасочного материала (например: «Эмаль МЛ-110 серо-белая»). При обозначении первой группы знаков для масляных красок, содержащих только один пигмент, вместо слова «краска» указывается наименование пигмента (например: «Сурик МА-15» и др.).

Для некоторых видов материалов между первой и второй группой знаков ставятся индексы: Б — без летучего растворителя; В — водо-разбавляемая; Д — водно-дисперсионная; ОД — органо-дисперсионная; П — порошковая.

У лакокрасочных материалов, полученных из смешанных пленкообразующих веществ, вторая группа знаков обозначается по компоненту, определяющему свойства материала.

Для масляных красок в четвертой группе знаков вместо порядкового номера ставится цифра, указывающая вид олифы, на которой изготовлена краска:

- 1 — натуральная олифа;
- 2 — олифа-оксоль;

- 3 — глифталевая олифа;
- 4 — пентафталевая олифа;
- 5 — комбинированная олифа.

В некоторых случаях для уточнения специфических свойств лакокрасочного покрытия после порядкового номера проставляется индекс в виде одной или двух прописных букв: В — высоковязкое; М — матовое; Н — с наполнителем; ПМ — полуматовое; ХС — холодной сушки; ПГ — пониженной горючести; ГС — горячей сушки.

В конце шифра указывается цвет покрытия.

В качестве примера далее приведена расшифровка некоторых видов аббревиатур (шифров):

- «ЛакБТ — 577» — лак битумный, специальный;
- «Лак ГФ — 166» — лак глифталевый, для внутренних работ;
- «Краска ВД — ВА-27 белая» — краска водно-дисперсионная белая, на поливинилацетатной дисперсии, для внутренних работ.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные компоненты лакокрасочных материалов.
2. Какие вы знаете виды пигментов и какие требования предъявляются к ним?
3. Что применяют в качестве связующих в лакокрасочных материалах?
4. Какие материалы применяют в качестве растворителей, разбавителей, пластификаторов и наполнителей?
5. Каковы состав и свойства водных красочных составов?
6. Каковы состав и свойства масляных красок, эмалей и лаков?
7. Как маркируются лакокрасочные материалы?
8. Какие требования предъявляются к пигментам, наполнителям и связующим лакокрасочных материалов?

Глава 16

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

16.1. Общие сведения

Металлами называются вещества, характеристиками которых при обычных условиях являются высокая прочность, пластичность, тепло- и электропроводность, металлический блеск. Для всех металлов характерна способность их атомов легко отщеплять внешние (валентные) электроны и переходить в положительно заряженные ионы (катионы). Оторвавшиеся от атомов свободные электроны непрерывно перемещаются между положительно заряженными ионами под влиянием самой небольшой разности потенциалов, вследствие чего они обладают высокой тепло- и электропроводностью.

Металлы подразделяются на черные (железо и его сплавы) и цветные. В строительстве используются не чистые металлы, а их сплавы. Они отличаются от металлов температурой плавления, теплопроводностью, электропроводностью, твердостью.

16.2. Получение чугуна

Чугун получают в ходе доменного процесса. Домна — высокая шахтная печь высотой до 30 м, шириной более 6 м. Загрузка рудой, коксом, флюсом послойная. Схема работы доменной печи представлена на рис. 16.1. В нижней части домны сгорает кокс: $C + O_2 = CO_2$. Углекислый газ, поднимаясь, соприкасается с раскаленным коксом и переходит в оксид углерода: $CO_2 + C = 2CO$. Поднимаясь выше, оксид углерода взаимодействует с раскаленной рудой: $CO + Fe_2O_3 = 2FeO + CO_2$, далее: $FeO + CO = Fe + CO_2$. Чугун стекает в нижнюю часть домны. Из домны чугун выпускают через специальное отверстие — летку. Температура чугуна в домне равна 1480...1520 °С. Содержание углерода в чугуне составляет 4,0...4,5 %.

Наряду с чугуном образуется также доменный шлак в результате использования флюсов, которые играют роль плавня, способствуя переводу пустой породы в шлак. Шлак легче чугуна и собирается выше его с последующим выпуском наружу из другого отверстия домны.

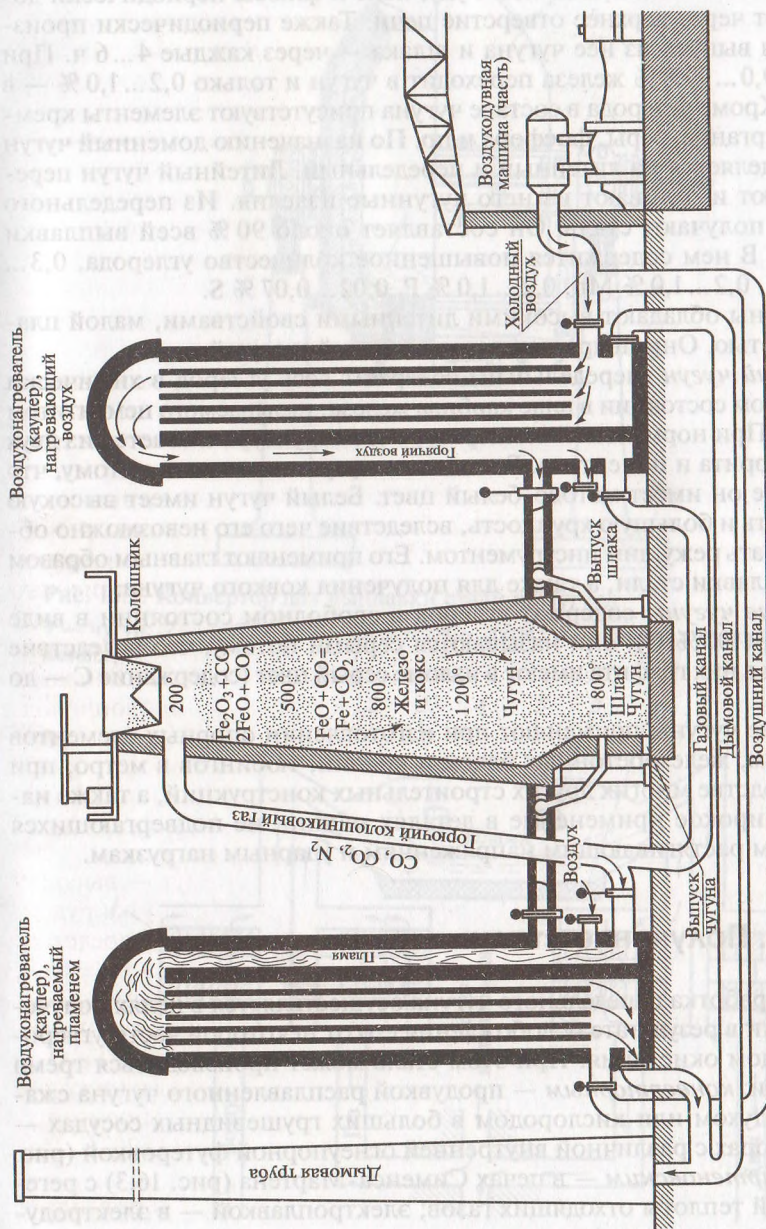


Рис. 16.1. Схема работы доменной печи

Запущенная в действие доменная печь функционирует непрерывно в течение нескольких лет. Руду, кокс и флюсы периодически добавляют через верхнее отверстие печи. Также периодически производится выпуск из нее чугуна и шлака — через каждые 4...6 ч. При этом 99,0...99,8 % железа переходит в чугун и только 0,2...1,0 % — в шлак. Кроме углерода в составе чугуна присутствуют элементы кремния, марганца, серы, фосфора и пр. По назначению доменный чугун подразделяется на литейный и переплавный. Литейный чугун переплавляют и отливают из него чугунные изделия. Из переплавного чугуна получают сталь. Он составляет около 90 % всей выплавки чугуна. В нем содержится повышенное количество углерода, 0,3...1,2 % Si, 0,2...1,0 % Mn, 0,2...1,0 % P, 0,02...0,07 % S.

Чугуны обладают высокими литейными свойствами, малой пластичностью. Они подразделяются на белый и серый.

Белый чугун (переплавный) содержит весь углерод в химически связанном состоянии в виде карбида железа, называемого цементитом (Fe_3C). При нормальной температуре его структура состоит из двух фаз: феррита и цементита. Белым этот чугун называется потому, что в изломе он имеет матово-белый цвет. Белый чугун имеет высокую твердость и большую хрупкость, вследствие чего его невозможно обрабатывать режущим инструментом. Его применяют главным образом для выплавки стали, а также для получения ковкого чугуна.

Серые чугуны содержат углерод в свободном состоянии в виде графита (100 % C); они называются серыми потому, что вследствие наличия в них графита имеют в изломе серый цвет (содержание C — до 3,8 %).

Серые чугуны применяют при изготовлении опорных элементов для ферм, железобетонных балок и колонн, трубнгов в метро, при производстве многих других строительных конструкций, а также находят широкое применение в деталях машин, не подвергающихся большим растягивающим напряжениям и ударным нагрузкам.

16.3. Получение стали

Переработка переплавного чугуна осуществляется в целях получения стали в результате освобождения его от некоторой части углерода методом окисления. При этом сталь может производиться тремя методами: *конверторным* — продувкой расплавленного чугуна сжатым воздухом или кислородом в больших грушевидных сосудах — конверторах с различной внутренней огнеупорной футеровкой (рис. 16.2); *мартеновским* — в печах Сименса-Мартена (рис. 16.3) с регенерацией теплоты отходящих газов; электроплавкой — в электроплавильных, индукционных или высокочастотных печах (рис. 16.4).

При плавке в мартеновских печах или при электроплавке добавляется в расплавленный чугун железная руда или скрап (отходы

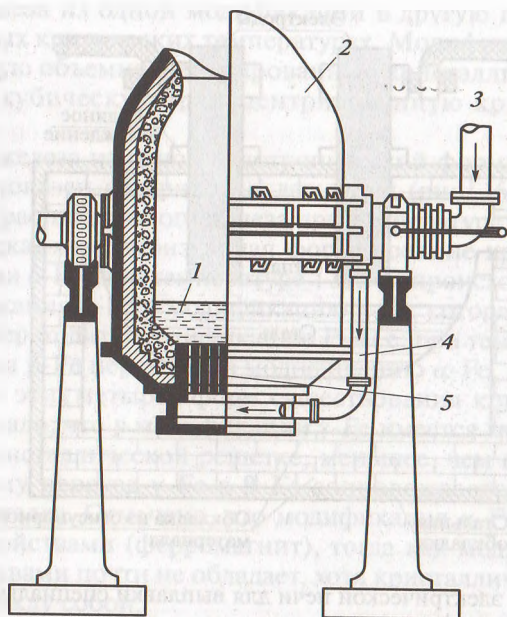


Рис. 16.2. Конвертор для выплавки стали из чугуна:

1 — чугун; 2 — набойка; 3 — воздух; 4 — дутье; 5 — фурмы для подачи воздуха в металл

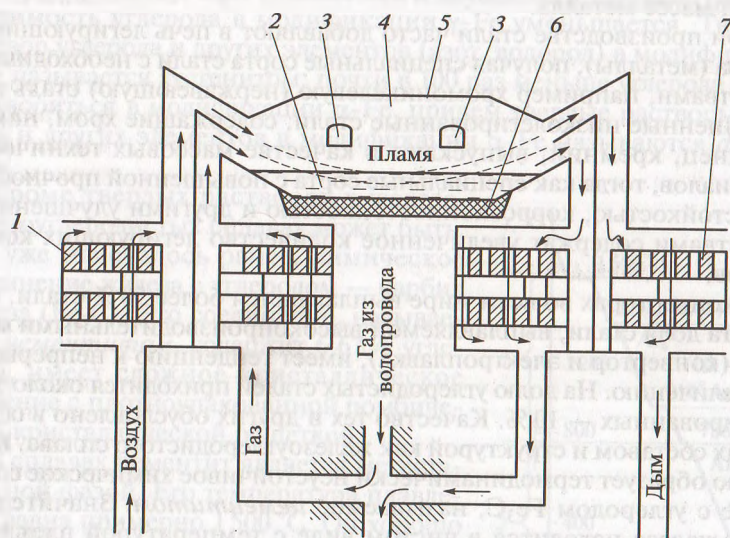


Рис. 16.3. Схема мартеновской печи:

1, 7 — регенераторы; 2 — расплавленный шлак и металл; 3 — завалочные окна; 4 — рабочее пространство; 5 — свод; 6 — под

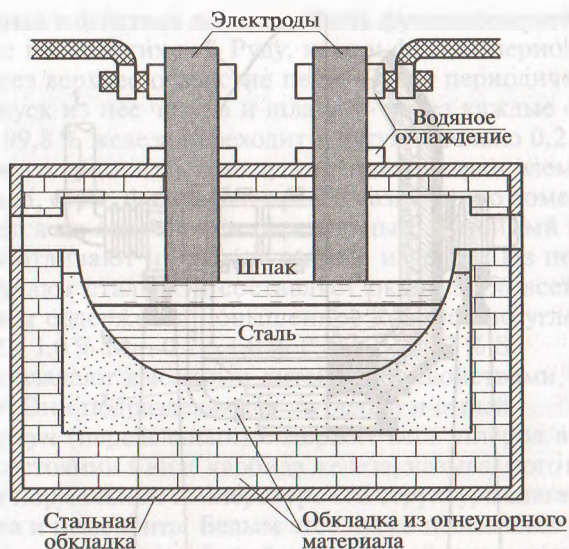


Рис. 16.4. Схема электрической печи для выплавки специальных сталей

ржавого железа, железный лом). Кислород добавляемых оксидов также выжигает примеси, а железо понижает содержание углерода в общей массе металла.

При производстве стали часто добавляют в печь легирующие вещества (металлы), получая специальные сорта стали с необходимыми свойствами, например хромоникелевую (нержавеющую) сталь и др. Упрочненные низколегированные стали, содержащие хром, никель, марганец, кремний, выпускают в качестве массовых технических материалов, тогда как специальные сорта с повышенной прочностью, жаростойкостью, коррозионностойкостью и другими улучшенными свойствами содержат увеличенное количество легирующих компонентов.

В конверторах во всем мире выплавляется более 50 % стали, причем эта доля стали, выплавляемой высокопроизводительными методами (конвертор и электроплавка), имеет тенденцию к непрерывному увеличению. На долю углеродистых сталей приходится около 90 %, а легированных — 10 %. Качество тех и других обусловлено в основном их составом и структурой как железоуглеродистого сплава. В нем железо образует термодинамически неустойчивое химическое соединение с углеродом Fe_3C , называемое *цементитом*. Значительная часть железа находится в чистом виде с температурой плавления 1539°C .

Железо имеет четыре полиморфные модификации: $\alpha\text{-Fe}$, $\beta\text{-Fe}$, $\gamma\text{-Fe}$ и $\delta\text{-Fe}$. Практическое значение имеют модификации $\alpha\text{-Fe}$ и $\gamma\text{-Fe}$.

Переход железа из одной модификации в другую происходит при определенных критических температурах. Модификация α -Fe имеет кубическую объемно-центрированную кристаллическую решетку; γ -Fe — кубическую гранецентрированную кристаллическую решетку.

Переход железа из одной аллотропической формы в другую схематически показан на кривой охлаждения (рис. 16.5). В процессе охлаждения расплавленного железа при температуре 1535 °C образуется площадка, характеризующая формирование кристаллической модификации δ -Fe; при температуре 1392 °C происходит полиморфная модификация δ -Fe в модификацию γ -Fe, которая при температуре 910 °C переходит в модификацию β -Fe; при температуре 768 °C модификация β -Fe переходит в модификацию α -Fe.

Изучение этих четырех форм существования кристаллического железа показало, что в модификации γ -Fe имеется межатомное расстояние в кристаллической решетке, меньшее, чем в модификации β -Fe, поэтому переход γ -Fe в β -Fe сопровождается увеличением объема кристалла. Отмечено, что модификация α -Fe обладает магнитными свойствами (ферромагнит), тогда как модификация β -Fe этими свойствами почти не обладает, хотя кристаллические решетки их сходны между собой.

Большое значение для практики имеет свойство модификации γ -Fe растворять до 2,14 % углерода при температуре 1147 °C с образованием твердого раствора и с внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку. При повышении и понижении температуры растворимость углерода в модификации γ -Fe уменьшается. Твердый раствор углерода и других элементов (азот, водород) в модификации γ -Fe называется аустенитом; почти в 100 раз меньше углерода может раствориться в модификации α -Fe, причем твердые растворы углерода и других элементов в модификации α -Fe называются *ферритом*.

Кроме твердых растворов в железе, железоуглеродистых сплавах может быть, как уже отмечалось ранее, химическое соединение железа с углеродом — карбид железа (Fe_3C). Это соединение, называемое *цементитом*, содержит 6,67 % углерода, имеет сложное кристаллическое строение с плотноупакованной ромбической кристаллической решеткой.

В сплавах цементит является метастабильной фазой. Его температура плавления равна примерно 1500 °C. Он хорошо

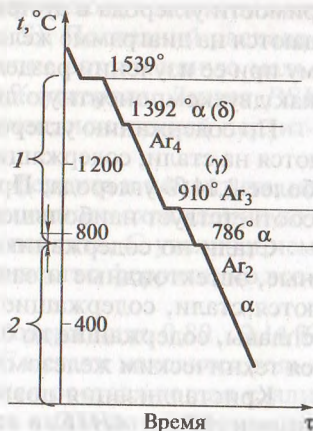


Рис. 16.5. Кривая охлаждения железа:

1 — немагнитного; 2 — магнитного

растворим в модификации γ -Fe, меньше — в δ -Fe и совсем мало — в α -Fe.

Феррит отличается мягкостью и пластичностью; его прочность невысока — предел прочности при растяжении 250 МПа; относительное удлинение — 50 %, твердость (НВ) — 800 МПа. Аустенит также имеет высокую пластичность, низкий предел прочности при растяжении. Твердость аустенита (НВ) — 1700...2200 МПа. Цементит обладает низкой пластичностью и высокой твердостью (НВ), равной 10 000 МПа, хрупкий.

16.4. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Более полную систему железоуглеродистых сплавов и процессов формирования структур сталей и чугунов в наглядной форме представляют на диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов. В частности, видно, как изменяется растворимость цементита в железе в зависимости от температуры.

На рис. 16.6 представлены фазовый состав сплавов и их структура в интервале по составу от чистого железа до цементита (6,67 % C). На оси абсцисс показано содержание углерода (C) в процентах по массе; на параллельной ей линии — содержание цементита; на оси ординат — температура.

Точка *A* на диаграмме отмечает температуру плавления чистого железа (1539 °C), а точка *D* — цементита (1500 °C). Линия *ABCD* является линией ликвидуса, а *AHIECF* — линией солидуса. Выше линии солидуса существует жидкий сплав (Ж) — жидкий раствор углерода. При охлаждении жидких сплавов сначала происходит кристаллизация, а затем, после отвердевания, — фазовые структурные превращения вследствие полиморфизма железа и изменения растворимости углерода в аустените и феррите. Все эти изменения наблюдаются на диаграмме железо — углерод, причем эту сложную диаграмму при ее изучении разделяют на части, рассматривая каждую из них как двухкомпонентную диаграмму.

По содержанию углерода железоуглеродистые сплавы подразделяются на стали, содержащие до 2,14 % углерода, и чугуны, содержащие более 2,14 % углерода. Принятая граница между сталями и чугунами соответствует наибольшей растворимости углерода в аустените.

Стали по содержанию углерода подразделяются на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. *Доэвтектоидными* называются стали, содержащие 0,02...0,80 % углерода. Малоуглеродистые сплавы, содержащие до 0,02 % (на диаграмме — точка *P*), называются техническим железом.

Кристаллизация доэвтектоидных сталей происходит между линиями *ABC* и *AHIE*; в этом интервале они состоят из жидкой фазы

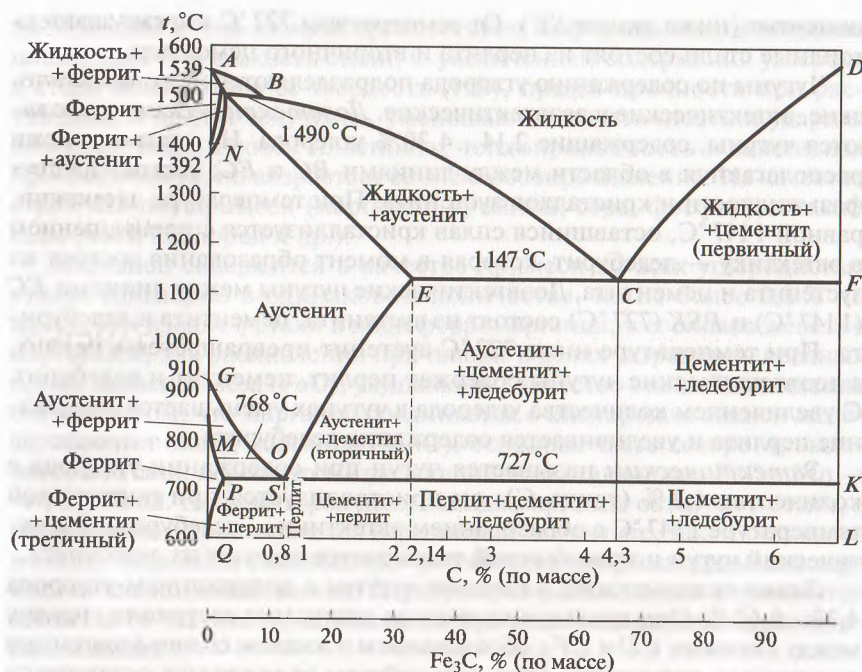


Рис. 16.6. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

и феррита или аустенита. После окончания кристаллизации доэвтектоидные стали состоят из аустенита, не изменяющегося при охлаждении вплоть до линии GOS , называемой линией верхних критических точек. При дальнейшем охлаждении сталей образуются зерна феррита, а количество аустенита уменьшается.

На линии PSK при температуре 727°C происходит эвтектоидное (перлитное) превращение аустенита (точка S). Последний распадается, выделяя феррит и цементит, образующие эвтектоидную мельчайшую смесь — перлит, содержащий 0,8 % углерода. Линия PSK называется линией нижних критических точек, или линией перлитных превращений.

Структура перлита состоит из пластинок феррита и цементита, на микрошлифе имеет вид перламутра. После полного охлаждения доэвтектоидные стали состоят из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода в стали снижается количество феррита, но возрастает содержание перлита.

Заэвтектоидными называются стали, содержащие 0,80 ... 2,14 % углерода. При температурах выше линии SE в стали находится только аустенит. С охлаждением эта структурная составляющая стали становится насыщенной углеродом и из нее выделяется вторичный

цементит (ниже линии *SE*). От температуры 727°C и ниже заэвтектоидные стали состоят из перлита и вторичного цементита.

Чугуны по содержанию углерода подразделяются на доэвтекктические, эвтекктические и заэвтекктические. *Дозэвтекктическими* называются чугуны, содержащие 2,14...4,30 % углерода. На диаграмме они располагаются в области между линиями *BC* и *EC*; состоят из двух фаз: жидкости и кристаллов аустенита. При температуре эвтектики, равной 1147°C , оставшийся сплав кристаллизуется с превращением в эвтектику — ледебурит, которая в момент образования состоит из аустенита и цементита. Дозэвтекктические чугуны между линиями *EC* (1147°C) и *PSK* (727°C) состоят из аустенита, цементита и ледебурита. При температуре ниже 727°C аустенит превращается в перлит, а доэвтекктические чугуны содержат перлит, цементит и ледебурит. С увеличением количества углерода в чугунах уменьшается содержание перлита и увеличивается содержание ледебурита.

Эвтекктическим называется чугун при содержании углерода в количестве 4,3 % (точка *C*); он кристаллизуется при постоянной температуре 1147°C с образованием эвтектики — ледебурита. Эвтекктический чугун и при обычной температуре состоит из ледебурита.

Заэвтекктическими называют чугуны с содержанием углерода 4,30...6,67 %. Они кристаллизуются по диаграмме состояния сплавов между линиями *CD* и *CF* с образованием в жидком сплаве кристаллов первичного цементита. При дальнейшем охлаждении оставшаяся жидкость затвердевает, образуя эвтектику — ледебурит. Заэвтекктические чугуны после отвердевания состоят из цементита и ледебурита. При температуре 727°C входящий в ледебурит аустенит распадается с образованием перлита; при дальнейшем снижении температуры заэвтекктические чугуны состоят из цементита (в виде пластин) и ледебурита. С увеличением количества углерода возрастает и содержание цементита.

16.5. Углеродистые стали

Углеродистые стали кроме основных компонентов железа (97,0...99,5 %) и углерода содержат примеси никеля, хрома, кремния, марганца, серы, фосфора, кислорода, азота, водорода или других элементов. Как уже отмечалось ранее, доэвтектоидные стали состоят из феррита и перлита, эвтектоидные — из перлита и вторичного цементита. После медленного охлаждения сталь при обычной температуре состоит из двух фаз: феррита и цементита, причем количество феррита уменьшается, а количество цементита повышается пропорционально содержанию углерода.

Присутствие этих фаз влияет на твердость стали, так как твердость цементита (по Бриннелю) составляет 8 000...8 500 МПа, у феррита — 800...900 МПа. Твердые частицы цементита затрудняют движение

дислокации и тем самым препятствуют деформациям, понижают пластичность и вязкость стали. С увеличением содержания углерода в стали повышается ее твердость (HB), предел прочности при растяжении и предел текучести, уменьшаются пластичность и ударная вязкость, понижаются плотность, теплопроводность и магнитная проницаемость, но возрастает ее электросопротивление. На качество стали влияют примеси (марганец, кремний, сера, фосфор), а также газы (азот, кислород и др.).

Марганец содержится в качестве примеси во всех углеродистых сталях примерно в одинаковом количестве, но не более 0,8 % по массе. Его вводят в стали в виде ферромарганца, т.е. сплава железа с марганцем, для раскисления при плавке в целях устранения вредных примесей железа (FeO), ухудшающих качество стали. Раскисление состоит в том, что марганец соединяется с кислородом закиси железа, образует оксид марганца (MnO), основная часть которого, выделяясь из стали, переходит в отделяющийся от стали шлак: $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$. Но некоторая доля оксида марганца остается в стали, а часть марганца растворяется в феррите и цементите, также оставаясь в стали. Марганец способствует устранению вредных примесей сернистых соединений железа. В результате раскисления улучшаются свойства (в частности, повышается прочность стальных горячекатаных изделий).

Кремния в углеродистой стали содержится обычно не более 0,35...0,50 %. Его вводят как примесь в сталь в виде ферросилиция, т.е. сплава железа с кремнием, с той же целью, что и марганец, для раскисления при плавке: $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$. Основная часть SiO_2 удаляется в виде шлака, но часть оксида кремния, не успевшая всплыть со шлаком, остается в стали. Остается и часть кремния, растворившаяся в феррите. Раскисление стали кремнием улучшает ее свойства, повышает плотность слитка, так как кремний дегазирует сталь.

Сера попадает в чугуны и стали из руд и печных газов (газ SO_2 — продукт горения топлива). Она является вредной примесью; ее допускается в стали не более 0,035...0,060 %. Сера образует с железом сульфид железа (FeS) с появлением легкоплавкой и хрупкой эвтектики (эвтектической смеси Fe + FeS). Последняя придает стали хрупкость при нагревании ее до 800 °С и выше, т.е. до температур красного каления. Такое явление называется *красноломкостью*.

Сталь, содержащая повышенное количество серы, не поддается горячей обработке давлением вследствие красноломкости. При обработке же стали прокатом или ковкой с нагреванием до 1 000...2 000 °С эвтектика расплавляется, вследствие чего нарушается связь между зернами стали. Возникают трещины и надрывы в местах расположения эвтектик. При введении в сталь марганца вредное влияние серы, красноломкость практически исключаются, так как марганец имеет более сильное химическое сродство с серой, чем железо, и тугоплавкий сульфид марганца (MnS).

Сернистые включения значительно понижают механические свойства стали, улучшают ее коррозионную стойкость и свариваемость, облегчают обработку стали резанием.

Фосфор содержится в железной руде, флюсах, топливе и является вредной примесью в стали. Его содержание ограничивается не более чем 0,025 ... 0,045 %. Он растворяется в феррите, искажая его кристаллические решетки, вследствие чего резко повышается температура перехода стали в хрупкое состояние, т.е. вызывает так называемую *хладноломкость* стали.

Фосфор повышает прочность и уменьшает пластичность и вязкость стали. Он неравномерно распределяется в стальном слитке (ликвация), вследствие чего некоторые средние участки стального слитка содержат повышенное количество фосфора, обладают значительно пониженной вязкостью.

В стали содержится небольшое количество газов (азота, кислорода и др.), ухудшающих ее свойства.

Содержание неметаллических включений и газов в стали значительно уменьшается при выплавке или разливе ее в вакууме.

16.6. Легирование стали

Легированными, или *специальными*, называются стали, в которые вводят легирующие элементы: Cu, Al, Si, Ti, V, Cr, Mb, W, Mo, Ni, Mn, Co и др. Легированием повышают коррозионную стойкость сталей, придают им стойкость в условиях низких и высоких температур и давлений, повышают прочность, твердость, износостойкость и т.д.

Легирующие элементы в стали могут находиться в свободном состоянии, в виде твердых растворов замещения в феррите, аустените и цементите, самостоятельных специальных карбидов, химических соединений с железом или друг с другом и с металлами (оксидов, сульфидов и др.). Более всего легирующие элементы образуют твердые растворы и карбиды. Большинство легирующих элементов растворяются в феррите и аустените с образованием твердых растворов замещения.

Легирующие элементы подразделяются на две группы: не образующие карбидов и карбидообразующие.

Элементы Mn, Cr, Mo, W, Ni, V образуют с углеродом карбиды: Mn_3C , Cr_7C_3 , Mo_2C , W_2C , NiC , VC и другие, повышающие твердость и прочность стали.

В легированных сталях содержатся три фазы: легированные феррит, аустенит и цементит. Легированные феррит и аустенит являются твердыми растворами легирующих элементов соответственно в модификациях α -Fe и γ -Fe, а легированный цементит является цементитом, в котором часть атомов железа замещена атомами легирующего элемента.

Преимущества легированных сталей особенно полно проявляются после термической обработки.

Легированные стали подразделяются:

- в зависимости от общего содержания легирующих элементов — на низколегированные (содержат до 2,5 %); среднелегированные (2,5... 10,0 %); высоколегированные (более 10 % легирующих элементов);
- по назначению — на конструкционные (машиностроительная, строительная); с особыми свойствами (коррозионно-стойкие или нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные и др.); инструментальные.

Легированные стали маркируют с обозначением каждой марки стали буквой и числом.

Низколегированные строительные стали применяют для изготовления строительных стальных конструкций (ферм, мостов, нефтепроводов, газопроводов и др.) и арматуры для железобетонных конструкций.

Стальные конструкции обычно являются сварными, поэтому для них применяют хорошо свариваемые малоуглеродистые (менее 0,22... 0,25 % С) низколегированные стали повышенной прочности с добавлением более дешевых легирующих элементов: кремния и марганца.

Низколегированные стали повышенной прочности обладают высокой пластичностью ($\delta = 23 \dots 25 \%$) и ударной вязкостью, повышенной прочностью; предел прочности при растяжении — 550... 600 МПа; предел текучести — 350... 450 МПа, а после термической обработки эти показатели становятся еще выше.

Кроме низколегированных сталей повышенной прочности применяют и низколегированные стали высокой прочности, имеющие предел текучести более 450 МПа. Например, сталь марки 18Г2АФ имеет ферритно-перлитную структуру со значительно измельченными зернами вследствие наличия в ней нитридов ванадия, что значительно повышает предел текучести (примерно выше на 100 МПа).

При воздействии внешней среды может происходить разрушение металла, называемое коррозией. *Коррозионностойкими (нержавеющими)* называются стали, обладающие высокой стойкостью к коррозии в агрессивных средах. Наиболее подвержены коррозии в различных средах (на воздухе, в воде и др.) железоуглеродистые и низколегированные стали. В этих случаях на поверхности металлов образуется неплотная оксидная пленка, не предохраняющая металл от дальнейшей коррозии.

При введении некоторых легирующих элементов в сталь скачкообразно повышается ее коррозионная стойкость, а при определенном количестве легирующего элемента возможно получение стали, практически не поддающейся коррозии.

Название нержавеющей стали дается в зависимости от введенного в нее легирующего элемента.

Наиболее широко применяются хромистые нержавеющие стали, а также хромоникелевые. В них главным легирующим элементом является хром. Хромистые стали содержат 0,08...0,40 % С и 13...17 % Cr и обладают полной коррозионной стойкостью на воздухе, в воде и некоторых кислотах, щелочах и солях благодаря тому, что на поверхности стали образуется плотная тонкая пленка оксида хрома, защищающая сталь от коррозии.

Сталь, содержащая менее 12 % Cr, подвержена коррозии. Обычные марки хромистых нержавеющих сталей: 08X13, 12X13, 20X13, 30X13, 40X13, 12X17, 08X17T, 14X17H2 (содержит 1,5...2,5 % Ni), 15X25T, 15X28.

Высокую коррозионную стойкость имеют и хромоникелевые стали. В качестве основных легирующих элементов в них вводят хром и никель. Их получают введением никеля в хромистую сталь, содержащую 0,12...0,14 % С и 17...20 % Cr. С введением никеля хромистая сталь приобретает аустенитную структуру, что уменьшает склонность зерен к росту, повышает коррозионную стойкость, предотвращает хладноломкость, улучшает механические свойства. Марки хромоникелевых нержавеющих сталей: 12X18H8, 12X18H9T, 10X14Г14НТ и др.

Коррозионностойкие стали применяют для изготовления строительных изделий и конструкций, эксплуатируемых в грунтовых и морских водах, газах и других агрессивных средах.

Жаростойкими (окалиностойкими) называются стали, стойкие к химическому разрушению (окислению) их поверхности в газовой среде при температуре выше 550 °С, работающие длительное время в ненагруженном или слабонагруженном состоянии. Окалиностойкость стали повышают легированием ее элементами, обладающими большим сродством к кислороду, чем железо, вследствие чего в благоприятном направлении изменяются состав и строение окалины.

При окислении стали, легированной алюминием, кремнием или хромом, имеющими большее сродство к кислороду по сравнению с железом, на ее поверхности образуется тонкая плотная пленка оксидов Al_2O_3 , SiO_2 или Cr_2O_3 , затрудняющая дальнейшее окисление.

С повышением содержания данных легирующих элементов повышается окалиностойкость стали, что позволяет нагревать ее до более высокой рабочей температуры.

Предельная температура эксплуатации жаростойких сталей составляет 900...1150 °С при содержании хрома 16...27 %, если действие нагрузки кратковременное. При высокой температуре металл может иметь высокую прочность, а при длительном ее воздействии прочность становится низкой.

Жаростойкие стали содержат 0,08...0,50 % С; они легируются главным образом хромом, а также молибденом, вольфрамом, ванадием.

Легированные инструментальные стали применяют в тех случаях, когда углеродистую сталь нельзя применять в связи с ее недостаточной стойкостью.

Тонкое лезвие (кромка) режущего инструмента работает под большим удельным давлением, в результате чего оно затупляется, изнашивается. Для обеспечения длительной надежной работы оно должно изготавливаться из металла с твердостью (HRC) выше 60. При больших скоростях резания, особенно твердых металлов, кромка режущего инструмента значительно нагревается (до красного каления). В этом случае режущая кромка должна быть из стали, обладающей красностойкостью (теплостойкостью), т. е. способностью сохранять высокую твердость при продолжительном нагревании.

У низколегированных инструментальных сталей высокая твердость сохраняется до температуры 250 °С, у высоколегированных — до 600 °С.

Марки низколегированных инструментальных сталей: X06, 85XФ, 9ХС, ХГ, ХГСВФ, В1 и др.

Твердые сплавы изготавливают на основе тугоплавких карбидов. Они обладают высокими прочностью, твердостью, износостойкостью, коррозионной устойчивостью и жаростойкостью. Разогрев кромки режущего инструмента из быстрорежущей стали допустим только до 650 °С, а из твердых сплавов разогрев возможен до 800... 1 000 °С.

Твердые металлокерамические сплавы готовят способом порошковой металлургии. Порошки карбидов вольфрама и титана смешивают с кобальтом или никелем (связующим веществом), прессуют и полученные изделия обжигают при высокой температуре (1 500... 2 000 °С) до спекания. Обожженные изделия состоят из мельчайших зерен карбидов, связанных кобальтом. Полученные изделия обладают высокой твердостью ($HRC \leq 85$) вследствие содержания в них 90... 95 % карбидов и сохраняют ее вплоть до температуры 1 000 °С. Марки металлокерамических сплавов: ВК2, ВК3, ВК6, ВК8, Т5К10, Т14К8, Т15К6, Т30К6, Т60К6.

Из металлокерамических сплавов готовят режущие пластины, резцы, сверла, фрезы; их применяют для скоростного резания металлов.

16.7. Термическая обработка стали

Целью термической обработки стали является изменение ее структуры и свойств. При термической обработке стали нагревают обычно до температур, при которых образуется аустенит, и охлаждают. При этом происходит фазовые превращения, переход менее устойчивой структуры, полученной предшествующей обработкой, в более устойчивую и равновесную.

При нагревании выше линии *PSK* (см. рис. 16.6) образуются зародыши кристаллов аустенита и его мелкие зерна. При повышении температуры или продолжении выдержки при данной температуре зерна аустенита растут. При охлаждении размеры зерен не изменя-

ются. Аустенит находится в метастабильном состоянии, и в нем происходят превращения, он распадается с образованием более стабильных структур; при распаде в области повышенных температур образуется структура из феррита и цементита.

При термической обработке значительно изменяются свойства стали, причем наибольшее значение имеет изменение механических свойств.

В зависимости от требований к стальным полуфабрикатам (отливкам, поковкам, прокату и др.) и изделиям применяют следующие основные виды термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.

Отжигом называют термическую обработку стали, получившей неустойчивое состояние в предыдущей обработке, путем нагревания выше линий *GOS* или *PSK* и медленного охлаждения вместе с печью, что приводит ее в более устойчивое состояние.

При нагревании стали выше линии *GOS* происходит полная ее перекристаллизация с образованием аустенита, а при медленном охлаждении аустенит распадается и превращается в перлитовые структуры.

Отжиг стали проводят для устранения некоторых дефектов ее предыдущей горячей обработки (литья,ковки и др.) или для подготовки ее структуры к следующим операциям (закалке, обработке резанием и др.). Часто отжиг является окончательной термической операцией. Различают отжиг 1-го и 2-го рода.

Нормализацию (нормализационный отжиг) доэвтектоидных сталей производят нагреванием на 50 °С выше линии *GOS*. Происходит полная фазовая перекристаллизация и устраняется крупнозернистая структура, полученная сталью при литье, прокатке, ковке или штамповке, в результате чего улучшаются ее свойства.

При быстром охлаждении на воздухе аустенит распадается при более низких температурах, чем при медленном охлаждении стали вместе с печью при отжиге, что приводит к образованию более дисперсной ферритно-цементитной структуры и на 10...15 % повышает прочность и твердость среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали по сравнению с отжигом.

При закалке доэвтектоидные стали нагревают до температур на 30...50 °С выше линии *GOS*, а заэвтектоидные — на 30...50 °С выше линии *PSK*, выдерживают при этих температурах для завершения фазовых превращений и с большой (выше критической) скоростью охлаждают, точнее переохлаждают до низких температур, когда невозможны диффузионные процессы. Углеродистые стали чаще охлаждают в воде, а легированные — в минеральном масле или других средах.

В результате закалки значительно повышается твердость стали. Закалка является промежуточной, не окончательной термической операцией. После закалки сталь подвергают отпуску для уменьшения

внутренних напряжений и хрупкости, возникших в результате закали, и для придания стали необходимых механических свойств.

Доэвтектоидные стали, имеющие структуру «феррит + перлит», при нагревании на 30...50 °С выше линии *PSK* приобретают структуру аустенита, который при непрерывном быстром охлаждении превращается в мартенсит — пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -Fe.

Содержание углерода в мартенсите может достигать 2,14 %, т.е. как и в исходном аустените, в то время как в равновесном состоянии растворимость углерода в α -Fe при 20 °С — не более 0,002 %.

Применяют следующие основные способы закали: непрерывную, прерывистую и ступенчатую.

Состояние закаленной стали является неравновесным (неустойчивым): в ней даже без нагрева происходят превращения, и она может приближаться к равновесному состоянию. При нагревании стали увеличивается подвижность атомов и благодаря этому состояние закаленной стали все больше приближается к равновесному.

Отпуском стали называется температурная обработка, состоящая из нагревания закаленной стали ниже температуры равновесного фазового превращения (ниже линии *PSK*), выдержка при этой температуре и охлаждение на воздухе или в воде в целях получения более устойчивого состояния структуры стали.

При отпуске закаленной стали при температуре выше 400 °С образуется смесь феррита и цементита. При отпуске в пределах 350...500 °С отпущенная сталь имеет структуру так называемого троостита, а при 500...600 °С — сорбита, обладающих разной степенью дисперсности частиц цементита и разной твердостью.

Троостит представляет собой тонкодисперсную смесь феррита и цементита, а сорбит — менее дисперсную (среднедисперсную) смесь феррита и цементита. С повышением степени дисперсности структуры повышаются твердость и прочность, которые у троостита больше, чем у сорбита. Различают низко-, средне- и высокотемпературный отпуск.

По сравнению с отжигом или нормализацией заковка стали с высоким отпуском значительно повышает ее предел прочности, предел текучести и особенно повышает ударную вязкость.

16.8. Сортамент стального проката

Прокатом называются детали и изделия, изготовленные способом прокатки. *Сортаментом* называется совокупность профилей (форм поперечного сечения изделий) и размеров изделий. Прокатка металла происходит при прохождении его между двумя валками прокатного стана, вращающимися в противоположные стороны, при этом металл под давлением валков обжимается, вследствие чего уменьша-

ется толщина полосы и увеличиваются ее ширина и длина. Путем прокатки изготавливают листы, квадратный и круглый профили, швеллеры, рельсы, балки и др.

Основную массу прокатных стальных изделий прокатывают в горячем состоянии при температуре $900 \dots 1250^\circ\text{C}$ (горячая прокатка) и небольшую часть — в холодном состоянии (холодная прокатка).

Стальной прокат подразделяют на четыре основные группы: листовая сталь, сортовая сталь, специальные виды стали и трубы.

Листовая сталь подразделяется на два основных вида: тонколистовую (листы толщиной меньше 4 мм) и толстолистовую (листы толщиной больше 4 мм).

Сортовую сталь (рис. 16.7) разделяют на два вида:

1) профили общего назначения: лента, полосовая, квадратная и угловая сталь, проволока (различного профиля), швеллеры, двутавровые балки и др.;

2) профили специального назначения: шпунты, рельсы и др.

Прокатная продукция большей частью состоит из сортовой стали (около 50 %).

К специальным видам проката относятся периодические профили (попеременное поперечное сечение по длине проката), гнутые профили, цельнокатанные колеса, бандажи и др. К периодическим про-

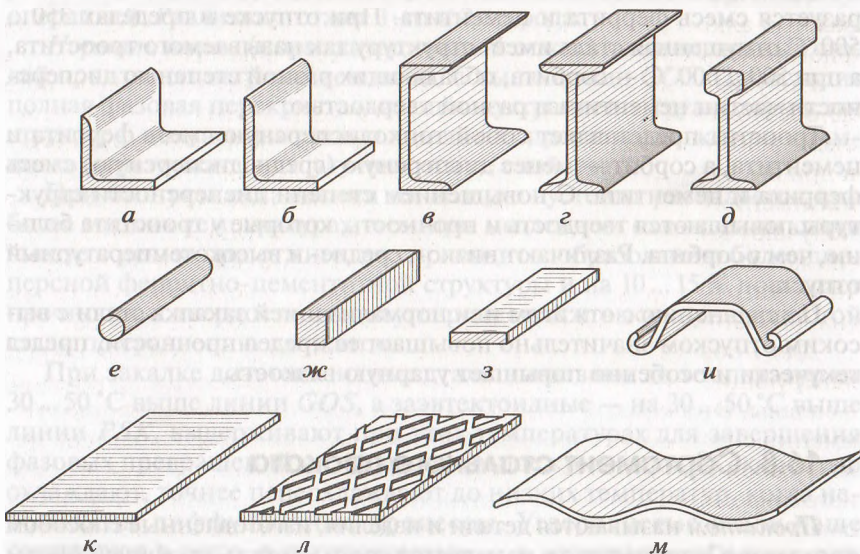


Рис. 16.7. Сортамент прокатных сталей:

а — равнобокий уголок; *б* — неравнобокий уголок; *в* — швеллер; *г* — двутавр; *д* — подкрановый рельс; *е* — круглая; *ж* — квадратная; *з* — полосовая; *и* — шпунтованная свая; *к* — листовая; *л* — рифленая; *м* — волнистая

филям проката относится, в частности, применяемая в железобетоне арматурная сталь. Гнутые профили изготавливают из ленты или листа толщиной 0,2...20,0 мм; они широко применяются в строительстве (в оконных переплетах, в строительных конструкциях и др.).

Стальные трубы выпускаются бесшовные и сварные, причем наиболее быстрыми темпами растет производство сварных труб.

16.9. Алюминий и его сплавы

Из группы цветных металлов наибольшее распространение получили алюминий и его сплавы. Алюминий — серебристо-белый металл с температурой плавления 660,4 °С, плотностью 2,7 г/см³, пределом прочности 127 МПа, твердостью 245 МПа. Он химически активен и поэтому всегда в природе находится только в виде соединений.

Более 200 минералов в земной коре содержат в своем составе алюминий. Почти половина из них — алюмосиликаты, особенно полевые шпаты, на долю которых приходится более половины массы земной коры, а также нефелин, цеолиты, слюды и другие минералы. Кроме того, алюмосиликаты содержатся во вторичных породах, образовавшихся вследствие выветривания первичных пород с переходом их в каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), боксит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Одной из важных алюминиевых руд является алунит. Важнейшие соединения алюминиевых руд: криолит (Na_3AlF_6), боксит и латерит.

Получают алюминий из чистого оксида алюминия, выделяемого из обезвоженных прокаливанием бокситов и других руд. Для этого оксид алюминия подвергают электролизу в расплавленном состоянии и при высокой температуре (около 1 000 °С) и большой силе тока. Для понижения температуры плавления добавляют минерал криолит и получают криолитоглиноземный расплав. В результате: $2\text{Al}_2\text{O}_3 = 4\text{Al}$ (на катоде) + 3O_2 (на аноде). Электролиз выполняют в ванне (рис. 16.8), катодом служит ее графитовая подина. Собранный на катоде (на дне ванны) алюминий периодически выпускают из ванны.

Для повышения механической прочности в алюминий вводят легирующие добавки (Mg, Mn, Cu, Si, Zn), т.е. переводят алюминий в сплавы. В качестве конструкционных материалов чаще используют именно сплавы. Их подразделяют на деформируемые, характеризующиеся своей высокой пластичностью и прочностью, и литейные для изготовления из них различных отливок. Среди деформируемых сплавов — дюралюмины, содержащие добавки меди, магния, марганца, кремния, железа.

К литейным относятся сплавы, содержащие до 7 % кремния и называемые силуминами или до 10 % магния и отличающиеся высокой коррозионной стойкостью. Марки технического алюминия: АД, АД1; марки высокопрочного алюминия: В-95, В-96.

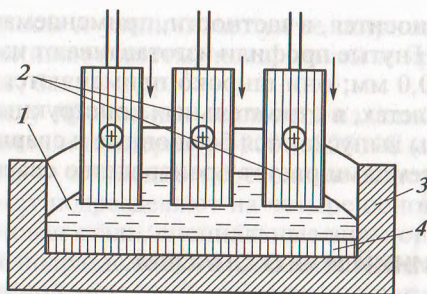


Рис. 16.8. Схема электролитической ванны для получения алюминия:

1 — графитная подина — катод; 2 — графитовые аноды; 3 — расплав электролита; 4 — расплавленный алюминий

Алюминиевые сплавы применяют в различных отраслях промышленности, а также в промышленном и гражданском строительстве, в том числе при возведении подъемно-транспортных сооружений, мостов, сборных домов, труб, профилей любого сечения, для изготовления оконных и дверных алюминиевых блоков, фасадов зданий, витражей защитных рольставень, карнизов и т. д.

16.10. Коррозия металлов

Различают несколько видов коррозии металлов. Распространенной является электрохимическая коррозия с возможным разделением ее на химическую и электрическую.

Химическая коррозия заключается в потере атомами металла электронов и переходе атомов в ионы. Из свободного состояния металл в своих поверхностных слоях переходит в химически связанное состояние. Например, электроны атома железа переходят к ионам водорода: $\text{Fe} + 2\text{H} + 2\text{OH} = \text{H}_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2$ с образованием гидрата закиси железа.

Под воздействием кислорода воздуха или растворенного в воде кислорода происходит дальнейшая потеря железом электронов с переходом гидрата закисного железа в гидроксид $\text{Fe}(\text{OH})_3$, что адекватно образованию ржавчины. Налет ржавчины на железе образует рыхлый слой, поэтому процесс порчи железа постепенно распространяется на всю толщину металла, полностью разрушает элемент, подвергшийся коррозии.

В том же направлении происходят реакции и с другими металлами. Однако в других металлах (алюминии, цинке, олове и др.) образующаяся оксидная пленка имеет значительно меньшую толщину и, главное, обладает повышенной плотностью (а не рыхлым слоем, как

у железа), что защищает металл от дальнейшей коррозии. Именно поэтому одним из видов предохранения железа от коррозии служит покрытие его слоем цинка (оцинкованное железо), или слоем олова (белая жечь), или слоем никеля (никелирование). Среди других средств предохранения железа от химической реакции используют способ периодической покраски покрытий масляной краской и другими антикоррозионными веществами.

Наряду с окислительными процессами, характеризующимися отдачей электронов, возможна также и *электрическая коррозия* путем образования гальванических микроэлементов. Электрическая коррозия протекает под действием блуждающих токов. Электрохимическая коррозия протекает при совмещениях корродирующего железа с другим металлом, например медью, в растворе элетролита.

Контрольные вопросы

1. Какие металлические материалы применяют в строительстве?
2. Опишите процесс доменного получения чугуна.
3. Охарактеризуйте структуру и свойства белых и серых чугунов. Каковы области их применения?
4. Назовите методы получения стали.
5. В чем заключается процесс получения стали в конверторах?
6. Что такое аустенит, феррит? Каков химический состав цементита?
7. Охарактеризуйте процесс формирования структуры сталей и чугунов в соответствии с диаграммой состояния железоуглеродистых сталей.
8. Каков состав углеродистых сталей?
9. Какое влияние оказывают марганец, кремний, сера и фосфор на формирование структуры и свойств углеродистой стали?
10. Назовите легирующие элементы стали.
11. Как классифицируются легированные стали?
12. Какова цель термообработки сталей?
13. Назовите сортамент стального проката.
14. Какое сырье используется для получения алюминия и его сплавов?
15. Опишите электролитический способ получения алюминия.
16. В чем сущность коррозии металлов?

Глава 17

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

17.1. Элементы теории создания строительных композитов

В настоящее время создание строительных материалов нового поколения с комплексом высоких эксплуатационных свойств связано с развитием теории композиционных материалов и наномодифицирования строительных материалов. Это расширяет возможности применения новых строительных материалов в конструкциях и сооружениях, работающих в очень суровых условиях эксплуатации (например, в условиях Крайнего Севера, вечной мерзлоты, при освоении морского шельфа, богатого природными ресурсами, в высотном строительстве и т. д.).

Композиционные материалы состоят из матрицы и упрочняющего компонента в виде дисперсных материалов: различных волокон и порошкообразных наполнителей. Сочетание в композиционном материале двух или более разнородных компонентов приводит к получению качественно новых свойств, отличных от свойств каждого компонента в отдельности. Композиционные материалы часто называют материалами будущего из-за их легкости, сочетающейся с высоким модулем упругости и сопротивлением растяжению.

В настоящее время в строительстве применяются материалы с волокнистыми наполнителями в виде стеклопластиков, древесностружечных (ДСП) и древесно-волокнистых плит (ДВП), многих других листовых, плиточных и рулонных материалов, а также с порошкообразными наполнителями: бетон и железобетон, строительные растворы, фибробетон и т. д. Однако они не обладают свойствами истинных композитов.

Особенностью композиционных материалов является обеспечение монолитности за счет качественного сцепления между матрицей и упрочняющим компонентом. Анализируя прочность, например, волокнистого композита на основе полимерных связующих, упрочненных стеклянными волокнами, можно сформулировать условия создания композита, работающего как структурно-целостный материал.

Содержание волокна V_b и матрицы V_m дано в долях от объема композита, принятого за единицу, следовательно:

$$V_B + V_M = 1; V_M = 1 - V_B.$$

Наполнение композита волокном обычно составляет 20...90 %, т.е. $V_B = 0,2 \dots 0,9$.

Осевое растягивающее усилие P , воспринимаемое композитом, распределяется между двумя компонентами: волокном P_B и матрицей P_M :

$$P = P_B + P_M.$$

Переходя к напряжениям, получаем распределение напряжения в композите σ_K (при $l = 1$):

$$\sigma_K = \sigma_B V_B + \sigma_M (1 - V_B).$$

В пределах упругой работы материала, согласно закону Гука,

$$\sigma_K = \varepsilon_B E_B V_B + \varepsilon_M E_M (1 - V_B).$$

Композит работает как единый материал, т.е. отсутствует проскальзывание волокна относительно матрицы, поэтому относительные деформации композита ε_K , волокна ε_B и матрицы ε_M равны между собой.

Учитывая условие цельности композита, получаем уравнение прочности волокнистого композита R_K :

$$R_K = [E_B V_B + E_M (1 - V_B)] \varepsilon.$$

Следовательно, модуль упругости композита E_K в рассмотренном случае формируется по правилу аддитивности:

$$E_K = E_B V_B + E_M (1 - V_B).$$

Графическую интерпретацию уравнения прочности композита можно рассмотреть применительно к стеклопластику, принимая модуль упругости стекловолокна $E_B = 60\,000$ МПа и полимерной матрицы $E_M = 2\,000$ МПа, т.е. соотношение $E_B : E_M = 30 : 1$.

На рис. 17.1 показано возрастание прочности композита при увеличении наполнения его волокном. В стеклопластике содержание волокна доводят до 80...90 %, армируя его не отдельными волокнами, а стеклотканью. Из рис. 17.1, а также из соотношения

$$P_B / P_M = (E_B / E_M) V_B / (1 - V_B)$$

видно, что усилие, воспринимаемое волокнами, возрастает по мере увеличения содержания волокна и его модуля упругости. Соответственно уменьшается доля нагрузки, передаваемой на менее прочную матрицу.

Прочность волокна при растяжении и модуль упругости зависят от его толщины. На рис. 17.2, а представлена зависимость предела прочности при растяжении стеклянных волокон от их диаметра, а на рис. 17.2, б — зависимость прочности волокон из монокристаллов

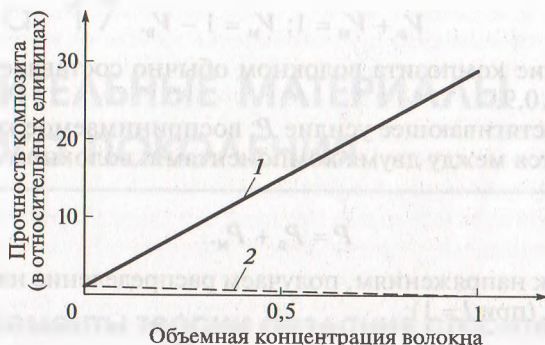


Рис. 17.1. Графики зависимостей прочности при растяжении волокнистого композита:

1 — от объемной концентрации волокна; 2 — доля прочности от матрицы

кремния и оксида цинка. Из графиков следует, что чем меньше диаметр волокон, тем выше их прочность при растяжении и тем эффективнее они работают в композите.

Прогресс в этой области связан с применением тонкого суперволокна из материалов, модуль упругости которых примерно на порядок выше, чем модуль упругости стекла. Проводятся работы по получению непрерывных волокон бора, карбида кремния, углерода, а также бездефектных кристаллов оксида алюминия (сапфира), нитрида кремния и др.

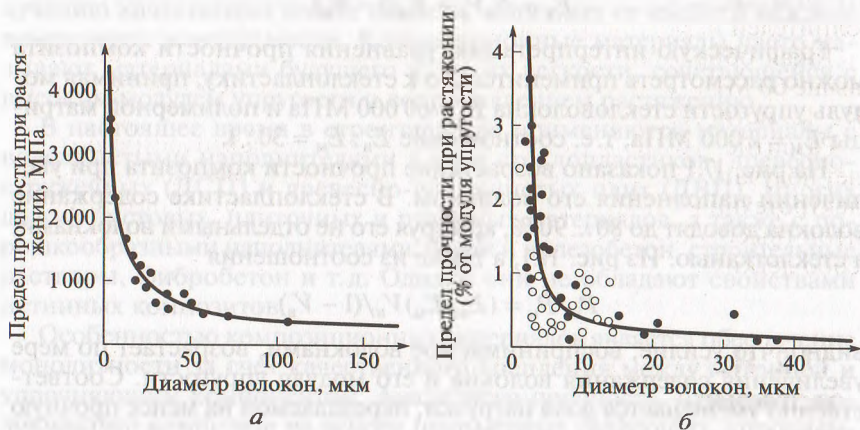


Рис. 17.2. Графики зависимостей прочности на растяжение минеральных волокон от их диаметра:

а — стеклянное волокно; б — монокристаллы кремния (белые точки) и оксида цинка (черные точки)

Бетоны принципиально отличаются от известных композитов, упрочненных твердыми частицами или волокнами, так как заполнитель, введенный в цементное тесто, оказывает специфическое влияние на формирование структуры бетона. В результате физико-химических процессов, проходящих на границе между зерном заполнителя и цементным тестом, формируется контактный слой, отличающийся по химическому составу и физическому строению от остального цементного камня. Контактный слой «цементный камень — заполнитель» формируется при участии воды, адсорбированной на поверхности зерен заполнителя. Зная общую площадь зоны контакта и толщину слоя, определенного экспериментально, можно рассчитать усредненный объем контактного слоя. Контактный слой существенно ослабляется за счет пор, образованных вовлеченным воздухом, и дефектов, образованных в результате седиментационных процессов, что проявляется в анизотропии структуры и свойств бетона.

Качество контактной зоны в значительной степени влияет на пролищаемость, прочность и долговечность бетона. Основной причиной разрушения бетона при различном воздействии на него является растрескивание. Прочность контактного слоя в бетоне плотной структуры примерно в 5—7 раз меньше прочности цементного камня.

Одним из эффективных способов повышения прочности и стойкости бетонов может стать, например, введение комплексных добавок на поверхность заполнителя, которые, взаимодействуя с гидроксидом кальция, изменяют характер и объем пор и заполняют контактную зону новообразованиями. В качестве такой добавки может использоваться порошкообразный микрокремнезем совместно с гиперпластификатором. Добавка вводится путем предварительной обработки заполнителей перед приготовлением бетонных смесей.

Такая обработка способствует повышению прочности бетонов свыше 60 МПа, морозостойкости более F400, водонепроницаемости $W \geq 12$, истираемости менее 0,7 г/см² и т. п.

Развитие теории и технологии строительных композитов позволяет получать большую гамму новых высокоэффективных материалов: электротехнических, декоративных и специальных бетонов и композитов (высокоподвижных, самоуплотняющихся, высокопрочных, особо легких).

17.2. Наномодифицированные строительные материалы

Создание новых строительных материалов с высокими эксплуатационными свойствами связано с использованием нанотехнологических подходов и наносистем. Применение методов и приемов, обеспечивающих новое качество строительных композитов, связа-

но с возможностью модифицировать их веществами с размером частиц от 1 до 100 нм. Частицы размерами от 1 до 100 нм обычно называют наночастицами.

17.2.1. Получение наномодификаторов

Существует ряд способов получения наночастиц: механическое измельчение исходного сырья, с помощью химических реакций в растворе или газовой фазе, конденсацией в газовой фазе путем первоначального испарения, твердотельных химических реакций, созданием коллоидных кластеров в виде золей и гелей.

В настоящее время используются следующие наноматериалы: углеродные трубки, фуллерены, нанодисперсные частицы и порошки, коллоидные системы в виде золей и гелей, наносиликаты, нанокремнезем, шунгит и т. д.

Методом термического распыления графитового анода в электрической дуге наряду с молекулами, принадлежащими к семейству фуллеренов, образуются также протяженные структуры, представляющие собой свернутые в одно- или многослойную трубку графитовые слои.

Длина таких образований, получивших название «нанотрубки», зачастую превышает 1 мкм (т. е. более 1 000 нм) и может достигать десятков микрон, на несколько порядков превышая их диаметр, составляющий обычно от одного до нескольких нанометров. Фуллерены представляют собой молекулярные соединения, принадлежащие классу аллотропных форм углерода и представляющие собой выпуклые замкнутые многогранники, составленные из четного числа трехкоординированных атомов углерода.

Более широкое применение для модификации структуры и свойств строительных материалов нашли нанодисперсные частицы и порошки. Они подразделяются на четыре группы: оксиды металлов, сложные смеси металлов, порошки чистых металлов и их смеси. В основном это SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 . Существуют следующие способы их получения: использование жидких реактивов, механический, синтез из газовой фазы и сборка на месте. Механический способ основан на технологии сверхизмельчения.

Нанопорошки обладают большой удельной поверхностью (до $400 \text{ м}^2/\text{г}$) и особыми свойствами: пониженной температурой плавления, теплотой испарения и энергией ионизации; отличительными оптическими, электрическими и магнитными свойствами; повышенной растворимостью и физико-химической активностью.

Улучшение свойств материалов, наблюдаемое при использовании нанодисперсных порошков и наночастиц, связано с физико-химическими процессами и явлениями, происходящими на поверхности взаимодействующих фаз.

В настоящее время ведутся работы по совершенствованию методов получения более эффективных наномодификаторов и снижению их стоимости.

17.2.2. Использование наномодификаторов в строительных материалах

В данном подразделе приведены некоторые примеры наномодифицирования различных строительных материалов. Использование наномодифицированных материалов способствует удешевлению строительства, так как резкое повышение прочностных и деформативных характеристик ведет к уменьшению сечения конструкций и снижению материалоемкости. Наночастицы используются как добавки в небольших количествах. Их не надо производить сотнями тонн, как цемент и щебень.

Эффективно использовать наночастицы в цементных материалах, так как цементный гель имеет размеры 5...8 нм, а введение в процессе твердения наноразмерных элементов позволяет увеличить их количество и резко улучшить свойства материалов гидратационного твердения.

Бетон — капиллярно-пористый материал. В его поры попадает вода и другие агрессивные вещества, снижающие его долговечность. Его пористую структуру можно заполнить низковязкими полимеризующимися материалами (например, мономерами метилметакрилатом и стиролом) либо расплавленной серой. При этом в поровом пространстве бетона образуются фибры наноразмеров, которые резко повышают прочность бетона. Если он, например, до пропитки обладал прочностью 20 МПа, то после пропитки — уже обладал прочностью 200 МПа, морозостокостью свыше F1000, водонепроницаемостью более W20. Кроме того, такая обработка защищает материал от агрессивного воздействия, позволяет получать большую гамму новых высокоэффективных материалов: электротехнических, декоративных и специальных бетонов и композитов.

Использование в конструкционных легких керамзитобетонах активированных микрокремнеземов, легких наполнителей, модифицированной базальтовой микрофибры, модифицированных пластификаторов позволили разработать наноструктурированный легкий бетон с высокими физико-механическими свойствами: прочность на сжатие — не менее 55 МПа; прочность на растяжение при изгибе — не менее 8 МПа; водонепроницаемость — более W14; морозостойкость — не менее F350; удобоукладываемость — П4...П5; средняя плотность — около 1 600 кг/м³. Полученный бетон был использован для строительства автодорожных мостов через реки Волгу и Вятку.

Для повышения эффективности бетонов и решения экологических проблем широкое применение в технологии бетона нашли кремне-

земистые наполнители в виде отходов промышленности (золы и шлаки ТЭС, доменные шлаки, отсеvy дробления горных пород и т. п.). Как правило, техногенные отходы неоднородные, химически малоактивные, поэтому они не находят применения при производстве строительных материалов. Однако если их подвергнуть механохимической активации, которая подразумевает совместный помол материала с суперпластификатором, то это позволит получить кондиционный кремнеземистый наполнитель и на его основе многокомпонентные эффективные вяжущие вещества, содержащие в своем составе микро- и наночастицы.

Установлено, что механохимическая активация портландцемента приводит к нанокапсуляции и повышению всех строительно-технических свойств цемента, в том числе к понижению нормальной густоты и повышению прочности в 1,5—2 раза. Вокруг зерен активированного цемента образуются нанооболочки, толщина которых составляет около 10 нм. Эти цементы получили название вяжущих низкой водопотребности.

Получение наномодифицированных цементов открывает новые возможности энергосбережения при производстве главного материала строительства, позволяя снизить содержание клинкерной части до 20...30 % (по массе), с обеспечением высоких строительно-технических свойств вяжущих, содержащих значительные доли активированных минеральных добавок.

Активацию многотоннажных отходов промышленности совместнo с добавкой суперпластификатора в целях получения органоминеральной добавки целесообразно проводить в агрегатах нового поколения серии АКРК (активаторы с кольцевой рабочей камерой), которые предназначены для тонкого измельчения различных материалов с производительностью от 0,5 до 5,0 т/ч при скорости соударения частиц материала около 80 м/с. В результате такой обработки получают наномодифицированную органоминеральную добавку, обладающую высокой однородностью, химической активностью и низкой водопотребностью, которая эффективно применяется в высококачественных бетонах, строительных растворах, сухих строительных смесях и т. д.

Введение углеродных нанодобавок позволяет изменять молекулярную структуру полимеров и получать уникальные для данного класса материалов свойства, расширяющие сферы их применения. Исследование влияния фуллероидного многослойного синтетического наномодификатора «астрален» на свойства эпоксидного композита, состоящего из связующего ЭД-20 с отвердителем полиэтиленполиамином (ПЭПА), пластификатором дибутилфталатом (ДБФ) и наполнителем маршалитом, показало, что прочность при растяжении увеличилась с 9,98 до 24,70 МПа, прочность при изгибе — с 12,75 до 27,2 МПа, прочность на сжатие — с 46,38 до 78,10, т. е. соответственно на 247, 213 и 168 %. Введение нанодобавок резко изменяет ударную

вязкость, повышает электропроводность, снижает коэффициент трения и т. д.

Введение в изделия из пластмасс наномодифицированного монтмориллонита с размером частиц от 10 до 200 нм способствует повышению пожаробезопасности.

Использование наночастиц в виде фуллеренов в лакокрасочных материалах позволяет создавать самоочищающие покрытия. Суть этого свойства — генерация на поверхности фуллеренов под действием ультрафиолетовых лучей (в частности тех, которые входят в солнечный спектр), свободных радикалов, способных окислять органические соединения до воды, углекислого газа и к тому же уничтожать микроорганизмы, а именно органические соединения, находящиеся в городской пыли.

Использование наночастиц в виде диоксида титана приводит к поглощению ультрафиолетовых лучей, прозрачных для видимого света. Применяют их для получения фасадных красок и лаков, которыми окрашивают оконные стекла.

Введение добавки измельченного до размеров наночастиц песка с водой в количестве до 10 % в состав силикатного кирпича способствует повышению его прочности до 40 %.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте строение и свойства композиционных материалов.
2. Что такое матрица и упрочняющий компонент?
3. Приведите примеры композиционных материалов.
4. Что такое нанотехнология и наносистемы?
5. Назовите принципы получения наночастиц.
6. Назовите особенности свойств частиц наноразмеров.
7. В чем заключается механизм действия наночастиц на формирование структуры и свойств материалов гидратационного твердения?
8. Приведите примеры существующих наномодифицированных строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимов Л.А.* Технология производства неметаллических строительных изделий и конструкций / Л.А.Алимов, В.В.Воронин. — М. : Инфра-М, 2005. — 443 с.
2. *Алимов Л.А.* Технология строительных изделий и конструкций. Бетонovedение / Л.А.Алимов, В.В.Воронин. — М. : Изд. центр «Академия», 2010. — 426 с.
3. *Баженов Ю.М.* Технология бетона / Ю.М.Баженов. — М. : АСВ, 2008. — 500 с.
4. *Батраков В.Г.* Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г.Батраков. — М. : Технопроект, 1998. — 768 с.
5. *Волженский А.В.* Минеральные вяжущие вещества / А.В.Волженский. — М. : Высш. шк., 1986. — 464 с.
6. Гипсовые материалы и изделия. Производство и применение. Справочник / под ред. А.В.Ферронской. — М. : АСВ, 2004. — 411 с.
7. *Горлов Ю.П.* Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю.П.Горлов. — М. : Высш. шк., 1989. — 384 с.
8. *Горчаков Г.И.* Строительные материалы / Г.И.Горчаков. — М. : Высш. шк., 1981. — 412 с.
9. *Горчаков Г.И.* Строительные материалы / Г.И.Горчаков, Ю.М.Баженов. — М. : Стройиздат, 1986. — 687 с.
10. *Комар А.Г.* Строительные материалы и изделия / А.Г.Комар. — М. : Высш. шк., 1976. — 413 с.
11. *Молодых С.А.* Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона / С.А.Молодых, Е.А.Митина, В.Т.Ерофеев. — М. : АСВ, 2005. — 150 с.
12. *Рыбьев И.А.* Строительное материаловедение / И.А.Рыбьев. — М. : Высш. шк., 2002. — 701 с.
13. Строительное материаловедение / под ред. В.А.Невского. — Ростов н/Д. : Феникс, 2009. — 589 с.
14. Строительные материалы / под ред. М.И.Хигеровича. — М. : Изд-во литературы по строительству, 1970. — 368 с.
15. Строительные материалы / под ред. Г.И.Горчакова. — М. : Высш. шк., 1982. — 352 с.
16. Строительные материалы / под ред. В.Г.Микульского. — М. : АСВ, 2000. — 530 с.
17. *Шейкин А.Е.* Строительные материалы / А.Е.Шейкин. — М. : Стройиздат, 1978. — 432 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Основные свойства строительных материалов.....	4
Глава 2. Природные каменные материалы и изделия.....	13
2.1. Общие сведения.....	13
2.2. Состав, структура и свойства породообразующих минералов... ..	13
2.3. Классификация горных пород	16
2.4. Изверженные породы	19
2.5. Осадочные породы.....	22
2.6. Метаморфические породы	25
2.7. Изделия из природного камня	27
2.8. Защита природных каменных материалов от коррозии	28
Глава 3. Керамические материалы и изделия.....	31
3.1. Общие сведения.....	31
3.2. Глины, их состав и свойства.....	31
3.3. Принципы производства керамических изделий.....	33
3.4. Свойства керамических изделий.....	38
3.5. Керамические изделия.....	39
Глава 4. Стекло, ситаллы и плавленные изделия	50
4.1. Общие сведения.....	50
4.2. Получение стекла	50
4.3. Состав и свойства стекол.....	53
4.4. Стекланные материалы и изделия	55
4.5. Ситаллы, шлакоситаллы и каменные изделия.....	59
Глава 5. Минеральные вяжущие вещества	63
5.1. Воздушные вяжущие вещества	63
5.1.1. Воздушная известь	63
5.1.2. Магнезиальные вяжущие вещества	67
5.1.3. Жидкое стекло.....	67
5.1.4. Кислотоупорный цемент	68
5.1.5. Гипсовые вяжущие вещества.....	69
5.2. Гидравлические вяжущие	73
5.2.1. Портландцемент.....	73
5.2.2. Разные виды портландцемента.....	91
5.2.3. Глиноземистый цемент	97
5.2.4. Расширяющиеся и безусадочные цементы	98

Глава 6. Бетоны и растворы	100
6.1. Общие сведения	100
6.2. Материалы для бетона	101
6.2.1. Выбор вида цемента	101
6.2.2. Мелкий заполнитель	102
6.2.3. Крупный заполнитель	104
6.2.4. Добавки к бетонам	107
6.3. Бетонная смесь	109
6.4. Формирование структуры бетона	116
6.5. Свойства бетона	120
6.5.1. Плотность и средняя плотность бетона	120
6.5.2. Прочность бетона	120
6.5.3. Деформативные свойства бетона	125
6.5.4. Усадка и набухание бетона	128
6.5.5. Морозостойкость бетона	129
6.5.6. Трещиностойкость бетона	134
6.5.7. Водонепроницаемость бетона	135
6.5.8. Теплофизические свойства бетона	136
6.5.9. Радиационная стойкость бетона	137
6.6. Разные виды бетона и строительные растворы	137
6.6.1. Определение состава тяжелого бетона	137
6.6.2. Определение состава бетона с химическими добавками	140
6.6.3. Виды бетона	144
6.6.4. Строительные растворы	154
6.6.5. Сухие строительные смеси	159
6.7. Легкие бетоны	160
6.7.1. Легкий бетон на пористых заполнителях	160
6.7.2. Поризованный легкий бетон	163
6.7.3. Ячеистый бетон	163
6.7.4. Газобетон	164
6.7.5. Пенобетон	165
6.8. Автоклавные бетоны	166
6.8.1. Силикатные бетоны	167
6.8.2. Силикатный кирпич	168
Глава 7. Железобетон	170
7.1. Общие сведения	170
7.2. Сборный железобетон	171
7.2.1. Номенклатура и способы производства железобетонных изделий	171
7.2.2. Принципы производства железобетонных изделий	180
7.3. Монолитный и сборно-монолитный железобетон	202
Глава 8. Асбестоцементные изделия	212
8.1. Механические свойства асбестоцемента	212
8.2. Виды асбестоцементных изделий	214

Глава 9. Органические вещества и материалы на их основе	217
9.1. Получение битумов и дегтей	217
9.2. Битумы, их состав, структура и свойства	218
9.3. Смешанные вяжущие на основе битумов и дегтей	220
9.4. Битумные и дегтевые эмульсии и пасты	221
9.5. Асфальтовые бетоны и растворы	222
Глава 10. Битумные и дегтевые кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы	224
10.1. Общие сведения	224
10.2. Рулонные битумные и дегтевые материалы, имеющие основу	224
10.3. Герметизирующие материалы	227
Глава 11. Строительные материалы из пластмасс	230
11.1. Общие сведения	230
11.2. Связующие вещества	231
11.3. Материалы на основе полимеров	237
Глава 12. Материалы и изделия из древесины	244
12.1. Общие сведения	244
12.2. Макроструктура древесины	244
12.3. Микроструктура древесины	245
12.4. Основные породы древесины, применяемые в строительстве	247
12.4.1. Хвойные породы	247
12.4.2. Лиственные породы	248
12.5. Физические свойства древесины	249
12.6. Механические свойства древесины	251
12.7. Пороки древесины	253
12.8. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания	255
12.9. Лесные материалы и изделия из древесины	260
Глава 13. Теплоизоляционные материалы и изделия	264
13.1. Общие сведения	264
13.2. Строение и свойства теплоизоляционных материалов	264
13.3. Неорганические теплоизоляционные материалы	268
13.4. Органические теплоизоляционные материалы и изделия	269
Глава 14. Акустические материалы	271
14.1. Общие сведения	271
14.2. Свойства и виды звукопоглощающих материалов	272
14.3. Свойства и виды звукоизоляционных материалов	274
Глава 15. Лакокрасочные материалы	277
15.1. Общие сведения	277
15.2. Пигменты	277

15.3. Связующие вещества.....	280
15.4. Растворители, разбавители, пластификаторы и наполнители	282
15.5. Водные красочные составы	282
15.6. Масляные краски, лаки и эмали	284
15.7. Система маркировки лакокрасочных материалов	285
Глава 16. Металлические материалы и изделия	288
16.1. Общие сведения	288
16.2. Получение чугуна	290
16.3. Получение стали	294
16.4. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов	296
16.5. Углеродистые стали	298
16.6. Легирование стали	301
16.7. Термическая обработка стали	303
16.8. Сортамент стального проката	305
16.9. Алюминий и его сплавы	306
16.10. Коррозия металлов	308
Глава 17. Строительные материалы нового поколения	308
17.1. Элементы теории создания строительных композитов	311
17.2. Наномодифицированные строительные материалы	312
17.2.1. Получение наномодификаторов	313
17.2.2. Использование наномодификаторов в строительных материалах	316
Список литературы.....	316

Учебное издание

Алимов Лев Алексеевич, Воронин Виктор Валерианович

Строительные материалы

Учебник

Редактор *И. В. Мочалова*. Технический редактор *Н. И. Горбачева*

Компьютерная верстка: *О. В. Пешикетова*

Корректор *А. Ю. Гончарова*

Изд. № 101115843. Подписано в печать 19.12.2011. Формат 60 × 90/16. Гарнитура «Ньютон».
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,0. Тираж 1 200 экз. Заказ № 3166.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

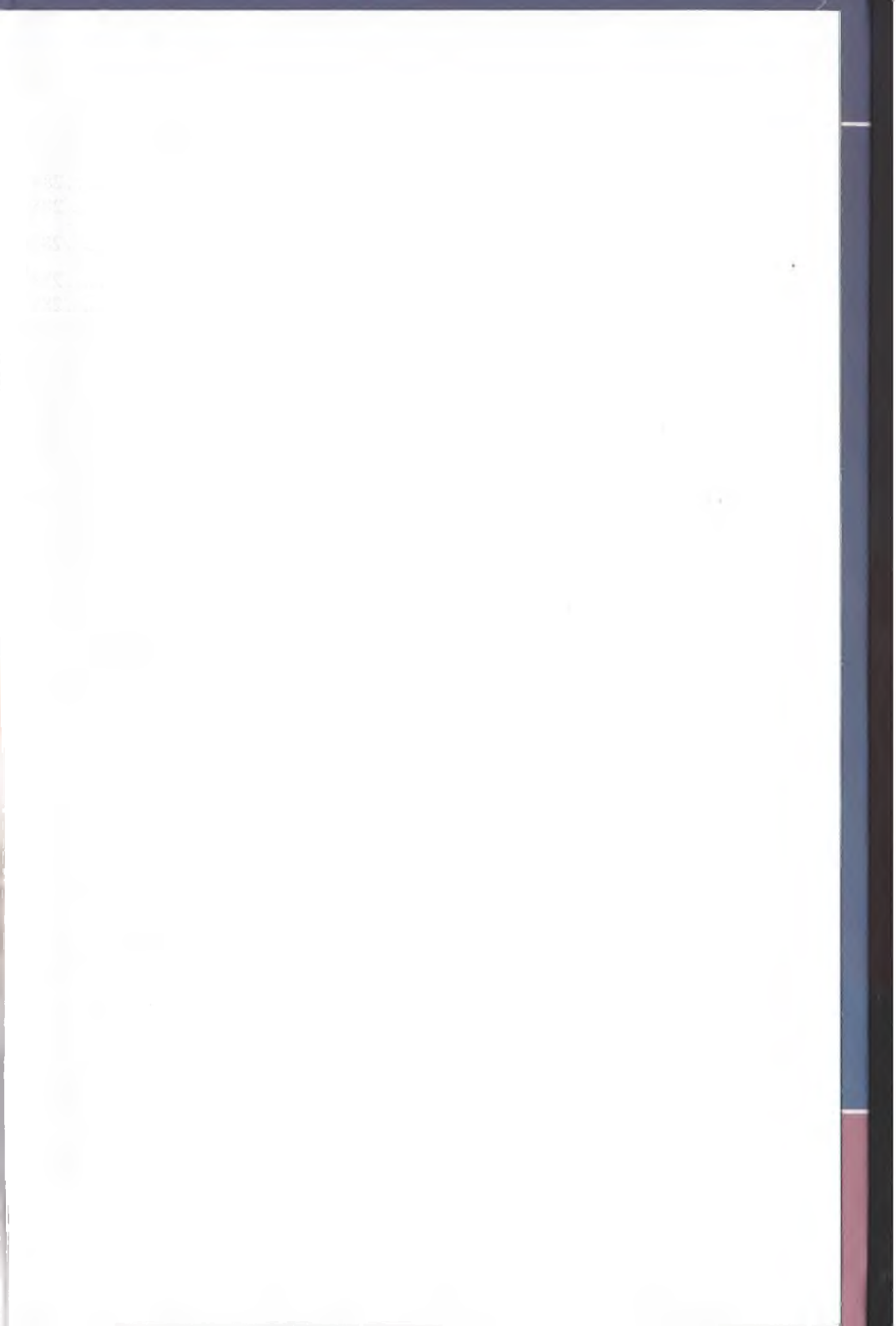
Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. AE51. Н 14964 от 21.12.2010.

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ISBN 978-5-7695-8336-0



Издательский центр «Академия»
www.academia-moscow.ru