

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тихоокеанский государственный университет»

Е. С. КУЛИКОВА
И. С. УКРАИНСКИЙ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(краткий курс)

*Утверждено издательско-библиотечным советом университета
в качестве учебного пособия*

Хабаровск
Издательство ТОГУ
2017

УДК 691
ББК Н 30 я 7
К 903

Рецензенты:
Завкафедрой «Автомобильные дороги»
д-р техн. наук, проф. *А. И. Ярмолинский* (ТОГУ);
завкафедрой «Строительные конструкции, здания и сооружения»
канд. техн. наук, доц. *А. В. Головки* (ДВГУПС).

Научный редактор
канд. техн. наук, проф. *Н. И. Ярмолинская*

Куликова, Е. С.

К903 Строительные материалы (краткий курс) : учебное пособие / Е. С. Куликова, И. С. Украинский ; [науч. ред. Н. И. Ярмолинская]. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. – 162 с.

ISBN 978-5-7389-2285-5

Учебное пособие представляет собой краткое содержание дисциплины «Строительные материалы и изделия», включающее основные сведения о современных строительных материалах и изделиях. В нем представлены краткие сведения о структуре, свойствах строительных материалов, основы технологии их производства и области эффективного применения.

Учебное пособие предназначено для обучающихся в университете как по заочной форме обучения, так и с применением дистанционных образовательных технологий по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавра) и 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», профиль «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» (уровень бакалавра).

УДК 691
ББК Н 30 я

ISBN 978-5-7389-2285-5

© Куликова Е. С., 2017
© Украинский И. С., 2017
© Тихоокеанский государственный
университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Строительные материалы это продукция природного происхождения или изготовленная в условиях промышленного производства. Строительные материалы предназначены для изготовления строительных изделий, конструкций, выполнения защитных и отделочных покрытий зданий и сооружений.

Строительное изделие - это изготовленная из строительных материалов продукция, для применения в качестве элемента строительных конструкций, зданий и сооружений.

Строительные конструкции – это изготовленные из строительных материалов или изделий часть зданий или сооружений, выполняющие несущие, ограждающие или эстетические свойства.

Сырье, сырьевые материалы – это исходные вещества или их смеси (сырьевая смесь) из двух или большего числа компонентов, которые перерабатываются для получения строительных материалов или изделий.

Строительные материалы, применяемые при возведении зданий и сооружений, при строительстве автомобильных дорог, характеризуются разнообразными свойствами, которые определяют качество материалов и области их применения.

Для регламентации качества строительных материалов действует государственная система стандартизации. Основой стандартизации является объединенные достижения науки, техники и производственного опыта. На каждый строительный материал имеются стандарты, которые подразделяются на различные категории.

Качество каждого строительного материала регламентируется ГОСТами или ТУ. В этих нормативных документах дается определение и назначение материала или изделия, его важнейшие свойства, деления на марки и сорта, методы испытаний, правила приемки и хранения, транспортировки строительных материалов. В обозначение ГОСТ дается 2 числа, 1-е обозначает порядковый номер материала, 2-е последний год его утверждения. Например, ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические».

Нормативно-техническая документация периодически пересматривается и обновляется. Основанием для пересмотра является

совершенствование строительных технологий и строительного производства. Новый ГОСТ имеет силу закона и отменяет действие старого ГОСТа.

Кроме ГОСТ и ТУ строители пользуются СП (свод правил), СНиП – это свод нормативных документов по проектированию, строительству и строительным материалам. ГОСТ разрабатывается преимущественно на строительные материалы и изделия, а СП, СНиП устанавливают требования ко всей строительной продукции. Все три комплекса нормативных документов по строительству СП, СНиПы и ГОСТы взаимно дополняют друг друга.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Классификация основных свойств строительных материалов

Свойствами строительных материалов называют особенности, проявляющиеся по отношению к воздействию различных процессов, а также других материалов. Совокупность свойств, определяющих пригодность строительных материалов для применения по назначению, характеризует их качество. Соответственно для того, чтобы рационально использовать строительные материалы, необходимо знать специфику их свойств. Свойства строительных материалов оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем лабораторных испытаний в соответствии с требованиями нормативных документов (ГОСТов) К основным свойствам строительных материалов относят:

- **физические свойства.** Все физические свойства подразделяют: на плотность, пористость, проницаемость для жидкостей и газов, теплопроводность, а также способность материала сопротивляться агрессивному действию внешней среды, что характеризует стойкость материала, обуславливающую в конечном итоге сохранность строительных конструкций, морозостойкость, теплопроводность, огнестойкость, огнеупорность.
- **химические свойства.** Химические свойства оцениваются показателями стойкости материала, при действии солей, кислот, щелочей, вызывающих обменные реакции в материале и разрушающие его.

- **механические свойства.** Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться сжатию, растяжению, удару, износу и другим воздействиям.
- **технологические свойства.** Технологические свойства это способность материала подвергаться обработке при изготовлении из него изделий.

1.2. Строение строительных материалов

Структура строительных материалов характеризует внутреннее строение строительных материалов. Строение материалов изучают на трех уровнях:

- **макроструктура** материала это строение материала, видимое невооруженным глазом;
- **микроструктура** это строение материала, видимое в оптический микроскоп;
- **внутреннее строение** веществ, составляющих материал на молекулярно-ионном уровне.

Макроструктура твердых строительных материалов (природные каменные материалы сюда не относятся, так как горные породы имеют собственную геологическую классификацию) может быть следующих типов:

- **конгломератная** (бетоны различного вида, ряд керамических материалов и другие материалы). **Конгломераты** – материалы, представляющие собой плотно соединенные (обычно с помощью какого-либо цементирующего вещества) отдельные зерна. Например, в бетоне зерна песка и крупного заполнителя (щебня или гравия) прочно соединены в единое целое при помощи вяжущего вещества, например, портландцемента;
- **ячеистая** структура характеризуется наличием макропор и свойственна газобетонам, пенобетонам, ячеистым пластмассам;
- **волокнистая структура** присуща древесине, стеклопластикам изделиям из минеральной ваты;
- **слоистая структура** характерна для рулонных, листовых, плитных материалов, в частности у пластмассы со слоистым наполнителем.

- **рыхлозернистые материалы** – это заполнители для бетонов (щебень, песок), а также порошкообразные материалы, например, цемент¹.

Микроструктура веществ составляющих материал, может быть аморфная и кристаллическая. Кристаллические и аморфные формы нередко являются лишь различными составляющими одного и того же вещества. Примером может служить кристаллический кварц и различные формы кремнезема. Кристаллическая форма всегда более устойчивая. Практическое значение для природных материалов имеет явление полиморфизма, когда одно и то же вещество может существовать в различных кристаллических формах, называемых модификациями.

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

1.3. Характеристика состава материалов

Строительные материалы характеризуются химическим, минеральным, вещественным и фазовым составами.

Химический состав строительных материалов позволяет судить о таких свойствах как: механические свойства материалов, биостойкость, огнестойкость других технических характеристиках материалов. Обычно его выражают процентным содержанием оксидов, например, в состав портландцементного клинкера входит CaO 63-66 %; SiO_2 21-24 %; Al_2O_3 4-8 %; Fe_2O_3 2-4 %.

Минеральный состав показывает, какие минералы и в каком количестве входят в каменный материал или вяжущее вещество. Например, в портландцементном клинкере содержание главного минерала трехкальциевого силиката (3CaOSiO_2) составляет 45–60 %. У строительных материалов, представляющих собой смесь различных веществ, свойства во многом зависят от процентного содержания этих компонентов, то есть от вещественного состава материала. Так, для портландцемента вещественный состав характеризуется процентным содержанием клинкера, природного гипса, а также видом и количеством активных минеральных или органических добавок.

¹ Микульский В.Г. Строительные материалы: учебник – М.: Изд-во АСВ, 2000. –536 с.

Фазовый состав показывает соотношение между твердой, жидкой и газообразной фазами. Твердая фаза – вещества, образующие «каркас» материала, жидкая и газообразная – соответственно вода и воздух, заполняющие поры материала. При замерзании воды в порах материала фазовый состав меняется, образуется лед, который изменяет свойства материала. Увеличение объема замерзающей в порах воды вызывает внутренние напряжения, способные разрушить материал при повторных циклах замораживания – оттаивания¹.

1.4. Физические свойства строительных материалов

Физические свойства материала характеризуют его внутреннее строение или отношение к внутренним процессам окружающей среды. К физическим свойствам строительных материалов относят такие свойства как: истинная и средняя плотность, пористость материала, водопоглощение, водостойкость, гигроскопичность, влажность, водопроницаемость, морозостойкость, теплопроводность и теплоемкость, огнестойкость и огнеупорность.

Параметры состояния

Истинная, средняя и насыпная плотность, пористость, коэффициент плотности, характеризуют особенности физического состояния материалов (табл. 1.1).

Истинная плотность ($\rho_{ист}$) это масса единицы объема вещества материала в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот). Определяется истинная плотность $\rho_{ист}$ (г/см³, кг/м³) по формуле:

$$\rho_{ист} = \frac{m}{V_a},$$

где m – масса материала в г, (кг); V_a – объем материала в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот) см³, (м³).

¹ Микульский В.Г. Указ. соч. 536 с.

Истинную плотность строительных материалов необходимо знать для расчетов пористости, коэффициента плотности.

Средняя плотность, (ρ_{cp}) это масса единицы объема вещества материала в естественном состоянии (объем определяется вместе с порами и пустотами), определяется по формуле и выражается в г/см³, т/м³, кг/м³:

$$\rho_{cp} = \frac{m}{V_e},$$

где m – масса материала в г, (кг; т); V_e – объем материала в естественном состоянии (объем материала определяется вместе с порами и пустотами), см³, (м³).

Так как большинство строительных материалов имеют поры, поэтому у них средняя плотность всегда ниже истинной плотности. У плотных материалов, таких как сталь, стекло и некоторых других, истинная и средняя плотности практически равны, так как объем внутренних пор у них очень мал.

Плотность пористых материалов (легкие бетоны, кирпич, минеральная вата) всегда меньше их истинной плотности, например, плотность легкого бетона 500–1800 кг/м³, а его истинная плотность 2600 кг/м³. Средняя плотность не является величиной постоянной и изменяется в зависимости от пористости материала. Искусственные строительные материалы можно получать с необходимой средней плотностью. Например, меняя пористость бетона можно получить тяжелый бетон со средней плотностью 1800–2500 кг/м³ или легкий бетон со средней плотностью 500–1800 кг/м³. Средняя плотность строительных материалов колеблется в очень широких пределах (табл. 1.1). На среднюю плотность влияет влажность материала, чем выше влажность материала, тем выше значение средней плотности. Среднюю плотность строительных материалов, необходимо знать для расчета их плотности, пористости, теплопроводности, для расчета коэффициента конструктивного качества (ККК) строительных изделий и конструкций, а также для расчета стоимости перевозок строительных материалов¹.

¹ Попов Л.Н. Строительные материалы: учебник для инж. спец. строит. вузов. – Изд.5-е, перераб. и доп. М. Высш.шк.,1988. – 527 с.

Таблица 1.1

Средняя и истинная плотности некоторых строительных материалов

Материал	Плотность, ρ (кг/м ³)	
	истинная ($\rho_{ист}$)	средняя ($\rho_{ср}$)
Сталь	7850-7900	7800-7850
Гранит	2700-2800	2600-2700
Известняк (плотный)	2400-2600	1800-2400
Песок	2500-2600	1450-1700
Цемент	3000-3100	900-1300
Керамический кирпич	2600-2700	1400-1900
Бетон тяжелый	2600-2900	1800-2500
Древесина	1500-1550	450-600
Пенопласты	1000-1200	20-100

Для сыпучих строительных материалов, таких как цемент, песок, гравий, щебень определяют насыпную плотность, ($\rho_{нас}$).

Насыпная плотность ($\rho_{нас}$) это масса единицы объема рыхлонасыпанных зернистых материалов, например, щебень, гравий, песок или порошкообразных материалов, например, цемент, гипс ко всему занимаемому объему. Объем таких материалов определяют не только с порами, но и с пустотами между зернами¹.

$$\rho_{нас} = \frac{m}{V_{нас}},$$

где m – масса материала в г, (кг); $V_{нас}$ – объем материала в рыхлонасыпанном состоянии, см³, (м³).

Структурные характеристики

Строение пористых материалов характеризуется общей, открытой и закрытой пористостью

Пористость материала (Π) это степень заполнения объема материала порами. Определяется по формуле:

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

$$\Pi = \frac{V_n}{V},$$

где V_n - объем занимаемый порами; V - объем материала вместе с порами и пустотами, преобразовав эту формулу получим:

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

где $\rho_{ист}$ – истинная плотность материала, г/см³, (кг/м³), ρ_{cp} – средняя плотность материала, г/см³, (кг/м³).

Пористость строительных материалов выражается в % или относительных единицах и может колебаться в очень широких пределах и составлять 0% металлы, стекло; 25–30% кирпич керамический; 5–15% бетон тяжелый; 55–85% газобетон; 90–95% пенопласты, стеклопластики.

Коэффициент плотности – это степень заполнения объема материала твердым веществом. В сумме пористость (Π) и коэффициент плотности ($K_{пл}$) равен 1 или 100%:

$$K_{пл} = \frac{\rho_{cp}}{\rho_u},$$

где ρ_{cp} - средняя плотность материала, кг/м³, г/см³; $\rho_{ист}$ - истинная плотность материала, кг/м³, г/см³.

Важнейшие свойства строительных материалов, такие как средняя плотность, прочность, долговечность, теплопроводность, водонепроницаемость, водопоглощение зависят от величины пористости, характера и размера пор в материале, так как определяют эксплуатационные свойства строительных материалов.

Поры – это мелкие ячейки в материале, заполненные воздухом или водой. По отношению к окружающей среде поры могут быть открытые и закрытые (рис.1.1).

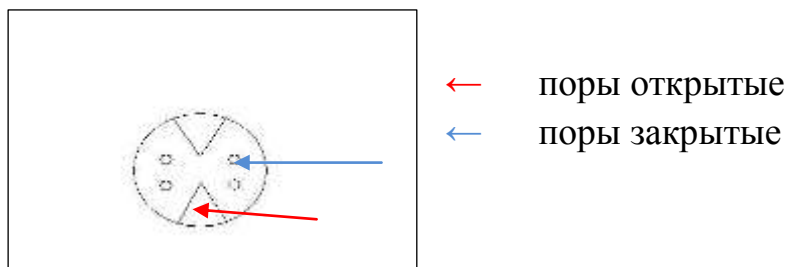


Рис.1.1. Расположение пор по отношению к окружающей среде

По размерам все поры подразделяют: микропоры 25–100Å°, переходные 100–10000Å°, макропоры 10000–100000Å°, капилляры и пустоты > 100000Å°, 1 ангстрем Å° равен 10⁻⁸ см.

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

$$P_0 = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{V_{ест}} \cdot \frac{1}{\rho_{воды}},$$

где $m_{нас}$, $m_{сух}$ - масса образцов в сухом и насыщенном водой состоянии, г, (кг); $V_{ест}$ - объем материала в естественном состоянии, см³, (м³).

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

Закрытую пористость определяют по формуле:

$$P_з = P - P_0$$

где P - общая пористость материала, %, P_0 - открытая пористость материала, %.

Увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает долговечность материала. Пористость материала зависит от размера и формы пор, их строения - открытые или закрытые. Строительные материалы стремятся получать с закрытой пористостью, так как они имеют низкое водопоглощение и соответственно высокую морозостойкость. В звукопоглощающих материалах и изделиях специально создается открытая пористость, необходимая для поглощения звуковой энергии.

Для рыхлых (сыпучих) материалов таких как: песок, щебень, цемент, а также материалов с искусственными пустотами: пустотелый кирпич, бетонные и железобетонные плиты с технологическими пустотами,

отношение объема пустот к общему объему материала называется пустотностью.

Величина пустотности рыхлых материалов измеряется также как и пористость твердых материалов, в относительных единицах или в процентах. Средние значения плотности, пористости, теплопроводности распространенных строительных материалов приведены в табл. 1.2.

Гидрофизические свойства

Гидрофизические свойства определяют отношение материала к действию воды и водяного пара. При увлажнении материала его свойства существенно изменяются: увеличиваются теплопроводность и средняя плотность, снижается прочность. Поэтому при всех технологических расчетах необходимо учитывать влажность материала и его способность к поглощению влаги (гигроскопичность и водопоглощение).

Таблица 1.2

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

Наименование материала	Истинная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Пористость, %	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Бетон:				
-тяжелый	2600	2400	12	1,12
-легкий	2600	1000	60	0,55
Кирпич:				
-обыкновенный	2650	1800	25	0,85
-пустотелый	2650	1300	50	0,55
Природный камень:				
-гранит	2700	2670	1,4	2,8
-вулканический туф	2600	1070	58	0,4
Стекло:				
-оконное	2650	2650	0,0	0,58
-пеностекло	2650	300	80	0,11

Газо - и паропроницаемость - свойство материала пропускать через свою толщу соответственно газ, пар, воздух.

Стеновой материал должен «дышать», т.е. обладать определенной проницаемостью. Через наружные стены происходит естественная вентиляция, поэтому стены жилых домов, детских учреждений не отделывают материалами, задерживающими водяной пар.

Гигроскопичность – свойство пористого материала поглощать влагу из воздуха и удерживать ее. Гигроскопичность зависит от температуры воздуха, влажности, вида, количества и размера пор, от химического состава материала, природы вещества. Одни материалы энергично притягивают воду, поэтому их называют **гидрофильными**, а другие выталкивают молекулы воды от своей поверхности, их называют **гидрофобными**.

Высокая гигроскопичность отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках материала. Например, портландцемент, при хранении поглощая из воздуха влагу, комкается, теряет активность и прочность, древесина при высокой влажности разбухает. Гигроскопичность необходимо учитывать при сушке материала, длительном хранении и перевозке.

Водопоглощение – способность материала впитывать воду и удерживать ее. Водопоглощение определяется по стандартной методике, погружением образцов материала в воду с температурой $20 \pm 2^\circ \text{C}$ и выдерживанием их в воде 48 часов. Различают водопоглощение по массе W_m и водопоглощение по объему W_o , %:

$$W_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100,$$

$$W_o = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V_e \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100,$$

где $m_{\text{сух}}$ – масса сухого образца, г, (кг); $m_{\text{нас}}$ – масса насыщенного водой образца, г, (кг); V_e – объем образца материала в естественном состоянии, см³, (м³); W_m - водопоглощение по массе, %; W_o – водопоглощение по объему, %; ρ_{cp} – средняя плотность материала, кг/м³, (г/см³).

Отношение между водопоглощением по объему и по массе численно равно средней плотности материала (p_{cp}):

$$p_{cp} = W_o : W_m$$

где p_{cp} – средняя плотность материала, кг/м³, (г/см³), W_m - водопоглощение по массе, %; W_o – водопоглощение по объему, %.

Насыщение материалов водой оказывает отрицательное действие на основные свойства строительных материалов: у материалов увеличивается средняя плотность, теплопроводность, значительно снижается их прочность. Водопоглощение материала обычно меньше его пористости, так как поры могут быть закрытыми или очень мелкими и вода в них не поступает, а в очень крупных порах вода не удерживается. Водопоглощение определяют для оценки структуры материала, используя коэффициент насыщения пор водой $K_{нас}$ по формуле:

$$K_{нас} = W_o / П,$$

где W_o - водопоглощение по объему, %; $П$ - пористость материала, %.

Коэффициент насыщения пор ($K_{нас}$) водой может изменяться от 0, когда все поры в материале замкнутые, до 1, все поры в материале открытые, тогда справедливо выражение $K_{нас} = П$. Уменьшение коэффициента насыщения пор водой ($K_{нас}$) будет свидетельствовать о сокращении открытой пористости, что проявится в повышении морозостойкости материала и соответственно его долговечности¹.

Коэффициент размягчения $K_{разм}$ - отношение прочности материала, насыщенного водой к прочности сухого материала:

$$K_{разм} = R_{нас} / R_{сух},$$

где $R_{нас}$ – прочность при сжатии насыщенного водой материала, кгс/см²; $R_{сух}$ – прочность при сжатии сухого материала, кгс/см².

Коэффициент размягчения характеризует водостойкость материала и изменяется от 0 (глина) до 1 (металлы). Природные и искусственные

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

материалы не применяют в строительных конструкциях, находящихся в воде, если их $K_{разм} < 0,8$.

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства: увеличивается плотность и теплопроводность, снижается прочность материала.

Гигроскопичность - свойство пористых материалов поглощать водяной пар из воздуха. Это свойство характерно для таких материалов как древесина, стеновые материалы и некоторые теплоизоляционные материалы. Увлажнение сильно увеличивает теплопроводность ограждающих конструкций и для того чтобы избежать этого, применяют защитные покрытия.

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением. Водопроницаемость характеризуется количеством воды, прошедшей в течение 1 часа через 1 м^2 площади испытуемого материала при постоянном давлении в 1 Мпа. Водопроницаемость бетона характеризуется маркой (W) по водонепроницаемости, которая обозначает одностороннее гидростатическое давление, при котором образец-цилиндр не пропускает воду в условиях стандартного испытания. С водопроницаемостью борются при строительстве гидротехнических сооружений, резервуаров, стен подвалов, коллекторов. Водонепроницаемыми являются особо плотные материалы, такие как сталь, стекло, битум, а также плотные материалы с замкнутыми порами, например, бетон со специально подобранным составом.

Морозостойкость это свойство насыщенного водой материала выдерживать многократные попеременные замораживания и оттаивания без признаков разрушений и значительного снижения прочности.

Морозостойкость одно из важнейших свойств строительных материалов. Причиной разрушения материала при попеременном замораживании и оттаивании является попадание воды в поры материала и переход ее в лед с увеличением объема до 9%. При высоком водонасыщении материала замерзание воды вызывает большие растягивающие напряжения в стенках пор, что при многократном замораживании и оттаивании приводит в конечном итоге к разрушению материала. Морозостойкость пористых материалов зависит от характера пор, она тем выше, чем больше в материале замкнутых пор.

Морозостойкость характеризует долговечность строительных материалов. В осеннее время материалы в конструкциях насыщаются водой, например наружная часть стены.

При наступлении даже небольших морозов вода в крупных порах замерзает, переходит в лед и увеличивается в объеме на 9%. Лед играет роль клина, он давит на стенки пор и разрушает их. При повторном увлажнении проникает еще глубже в материал. Разрушение материала начинается в виде шелушения его поверхности, а затем распространяется вглубь материала.

Определение морозостойкости материалов проводят в лабораторных условиях на стандартном оборудовании и образцах установленной формы (бетонные кубы, кирпич). Образцы насыщают водой, затем замораживают при температуре от -15 до -20 и выдерживают 4-8 часов в морозильной камере. Затем образцы оттаивают в воде при комнатной температуре + 20 °С в течение 4 часов и более. Одно такое испытание называют циклом.

За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое должен выдерживать материал без разрушения при условии, что прочность на сжатие понизится не более чем на 25 %, а потеря массы не превысит 5 %.

По степени морозостойкости, т.е. по числу выдержанных циклов материалы подразделяют на марки по морозостойкости (F): F10, F15, F25, F35, F50, F100, F150, F200, F300, F400, F500. Марка по морозостойкости устанавливается проектом с учетом вида конструкции, условий ее эксплуатации и климата. Например: керамический кирпич, легкие бетоны для наружных стен соответствуют марке по морозостойкости (F) F25, F35; тяжелый бетон, применяемый для строительства автомобильных дорог, мостов должен иметь марку по морозостойкости (F): F50, F75, F100, F150, F200, F300...F1000, бетон для гидротехнических сооружений F500.

Воздействие на бетон попеременного замораживания и оттаивания подобно многократному воздействию растягивающей нагрузки, вызывает усталость материала¹.

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

Теплофизические свойства

Теплофизические свойства это свойства материалов, связанные с изменением температуры.

Теплопроводность - свойство материала передавать тепло от одной своей поверхности к другой. Это свойство является главным, как для теплоизоляционных материалов, так и для материалов, применяемых для устройства наружных стен и покрытий здания. На практике удобно судить о теплопроводности по плотности материала. Известна формула В.П. Некрасова, связывающая теплопроводность λ с относительной плотностью ρ_{cp} каменного материала:

$$\lambda = 1,16(\sqrt{0,0196 + 0,22\rho_{cp}^2} - 0,14),$$

Единицей измерения коэффициента теплопроводности λ является Вт/(м °С). Коэффициент теплопроводности λ материала зависит от величины пористости, размера и характера пор. Мелкопористые материалы менее теплопроводны, чем крупнопористые, даже если их пористость в процентах одинакова. Материалы с замкнутыми порами имеют меньшую теплопроводность, чем материалы с сообщающимися порами. Теплопроводность однородного материала зависит от величины его средней плотности (ρ_{cp}). С уменьшением средней плотности (ρ_{cp}) материала теплопроводность его уменьшается и наоборот.

На теплопроводность также значительное влияние оказывает и его влажность. Влажные материалы более теплопроводны, чем сухие. Связано это с тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. При повышении температуры коэффициент теплопроводности увеличивается, это имеет значение для теплоизоляционных материалов, которые применяются для изоляции трубопроводов, котельных установок.

Знать теплопроводность материала необходимо при теплотехнических расчетах толщины стен и перекрытий, при определении толщины тепловой изоляции горячих поверхностей.

Теплоемкость – способность материала аккумулировать тепло при нагревании и выделять тепло при охлаждении. Определяется количеством тепла в *ккал*, которое необходимо сообщить 1 кг данного материала, чтобы

повысить его температуру на 1°C . Единица измерения теплоемкости ккал/кг град. Вода имеет наибольшую теплоемкость, поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает. Теплоемкость материалов учитывают при расчете теплоустойчивости стен и перекрытий отапливаемых зданий, при расчете подогрева составляющих бетона и раствора при производстве работ в зимнее время.

Огнестойкость и огнеупорность

Огнеупорность – это свойство материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры (от 1580°C и выше), не расплавляясь и не деформируясь. По степени огнеупорности материалы подразделяют: на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие.

- Огнеупорные материалы способны выдерживать продолжительное воздействие температуры свыше 1580°C . К таким материалам относят шамотный кирпич, применяемый для внутренней облицовки промышленных печей.
- Тугоплавкие материалы способны выдерживать температуру от 1350 до 1580°C
- Легкоплавкие материалы размягчаются при температуре ниже 1350°C . Например, кирпич керамический рядовой.

Огнестойкость – свойство материала сопротивляться действию огня в течение определенного времени. По степени огнестойкости строительные материалы подразделяют: на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые.

- несгораемые материалы – материалы под действием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются. К таким материалам относят: природные каменные материалы, бетон, кирпич керамический, сталь;
- Трудносгораемые материалы – под действием огня или высокой температуры тлеют, но после прекращения действия огня их горение и тление прекращается. К таким материалам можно отнести древесно-цементные плиты (фибролит), асфальтобетон и другие материалы.
- Сгораемые материалы – под действием огня или высокой температуры воспламеняются и продолжают гореть после удаления источника огня. К

таким материалам относятся: дерево, войлок, толь, рубероид и другие материалы.

1.5. Механические свойства строительных материалов

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему или деформирующему воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, упругость, пластичность, хрупкость, сопротивление удару, твердость, истираемость, износ.

Прочность это свойство материала сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Прочность является основным свойством большинства строительных материалов используемых в строительной индустрии, от ее значения зависит величина нагрузки, которую может воспринять данный элемент при заданном сечении.

Строительные материалы, в зависимости от происхождения и структуры, по-разному противостоят различным напряжениям. Материалы минерального происхождения, природные каменные материалы, кирпич керамический, тяжелый бетон хорошо сопротивляются сжатию и значительно хуже изгибу и еще хуже растяжению. Другие материалы, такие как металл, древесина хорошо работают на изгиб и растяжение, поэтому их используют значительно чаще в конструкциях, работающих на изгиб, например балки, фермы.

Прочность материала характеризуется пределом прочности (при сжатии, изгибе и растяжении).

Предел прочности это напряжение, соответствующее нагрузке, при которой происходит разрушение образца материала. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ и предел прочности при изгибе $R_{изг}$, в МПа, вычисляют по формулам:

$$R_{сж} = \frac{P}{F},$$

где P - разрушающая усилие, кгс; F - площадь поперечного сечения стандартного образца, см².

На изгиб испытывают образцы в виде балочек, расположенных на 2 опорах. Их нагружают одной или двумя сосредоточенными силами до разрушения.

$$R_{изг} = \frac{3Pl}{2bh^2},$$

где P – разрушающее усилие, кгс; l – расстояние между опорами, см; b и h – ширина и высота поперечного сечения образца, см.

Так как строительные материалы не однородны по составу, то предел прочности определяют опытным путем как средний результат нескольких испытаний (обычно не менее 3 испытаний), испытывая в лаборатории на гидравлических прессах или разрывных машинах специально изготовленные образцы. Для испытания материалов на сжатие образцы изготавливают в виде куба или цилиндра, а на изгиб в виде образцов–балочек, размером 4×4×16см. Форма и размеры образцов должны строго соответствовать требованиям ГОСТа или техническим условиям на каждый вид материала.

Прочность конструкционных строительных материалов характеризуется маркой (M), которая соответствует по величине пределу прочности при сжатии, полученному при испытании образцов стандартной формы и размеров. Марка материала по прочности является важнейшим показателем его качества. Например, марка по прочности материала М150 означает, что предел прочности при сжатии образца материала составляет 15–19,9 МПа.

Часто для оценки эффективности конструкционных строительных материалов используют коэффициент конструктивного качества ($ККК$), который определяют отношением предела прочности при сжатии к средней плотности материала.

$$ККК = R_{сж} / \rho_{ср},$$

где $\rho_{ср}$ – средняя плотность материала, г/см³; $R_{сж}$ – предел прочности на сжатие стандартных образцов, кгс/см². Лучшие конструкционные материалы имеют высокую прочность при малой средней плотности, например, коэффициент конструктивного качества составляет ($ККК$):

- у алюминия - 4,61;
- - у древесины - 0,8;

- - у стали - 0,5–1,0;
- - у пластмассы - 0,5–0,25.

Прочность материала зависит от его структуры, плотности (пористости) материала, влажности, направления приложения нагрузки, состояния поверхности материала. В материалах конструкций допускаются напряжения, составляющие только часть предела прочности, таким образом, создается запас прочности. Запас прочности, обеспечивающий сохранность и долговечность конструкций зданий и сооружений устанавливаются нормами проектирования и определяют видом и качеством материала, классом зданий по долговечности. В табл. 1.3 приведены пределы прочности некоторых строительных материалов при сжатии, изгибе и растяжении¹.

Таблица 1.3

Прочность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Предел прочности в кгс/см ² при		
	сжатии ($R_{сж}$)	изгибе ($R_{изг}$)	растяжение ($R_{раст}$)
Гранит	1500-2500	-	30-50
Тяжелый бетон	100-1200	20-80	10-40
Керамический кирпич	75-300	22-44	-
Сталь	2100-6000	-	3800-9000
Древесина (вдоль вол.)	300-650	700-1200	550-1500

Упругость это свойство материала деформироваться под нагрузкой и принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Наибольшее напряжение, при котором материал еще обладает упругостью, называется пределом упругости. Упругость является в подавляющем большинстве случаев положительным свойством строительных материалов. К упругим материалам относят сталь, древесину, резину.

Пластичность это способность материала изменять под действием нагрузки форму и размеры без образования разрывов и трещин и сохранять изменившуюся форму и размеры после удаления нагрузки. Это свойство противоположно упругости. Примером проявления материалами пластических свойств являются глиняное тесто, нагретый битум.

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

Хрупкость это свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без предварительной деформации. Хрупкими являются природные камни, керамические материалы, стекло, чугун, бетон.

Сопротивление удару это свойство материала сопротивляться разрушению под действием ударных нагрузок. Предел прочности при ударе (Дж/м^3) характеризуется работой, затраченной на разрушение образца материала, отнесенной к единице объема материала. Сопротивление удару определяются на копрах (Педжа), для материалов применяемых в дорожном строительстве (щебень, гравий).

Твердость это свойство материала сопротивляться проникновению в него другого материала более твердого материала. Твердость материала влияет на трудоемкость его обработки. Существует несколько способов определения твердости материалов. Твердость древесины, бетона, металлов определяют, вдавливая в образцы стальной шарик. В результате испытания вычисляют число твердости (НВ) табл. 1.4¹.

Таблица 1.4

Шкала твердости Мооса

Показатель твердости	Название минерала	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит или ангидрид	Легко чертится стальным ножом
4	Плавиновый шпат	Чертится стальным ножом под небольшим нажимом
5	Апатит	Чертится стальным ножом под большим нажимом
6	Ортоклаз (полевой шпат)	Слегка царапает стекло
7	Кварц	Легко чертит стекло, стальным ножом не чертится
8	Топаз	
9	Корунд.	
10	Алмаз.	

¹ Микульский В. Г. Указ. соч. 536 с

Твердость природных каменных материалов определяют с помощью шкалы твердости Мооса, в которой десять специально подобранных минералов расположены в такой последовательности, когда следующий по порядку минерал оставляет черту (царапину) на предыдущем, а сам им не прочерчивается.

Например, если испытуемый материал чертится апатитом, а сам оставляет черту (царапину) на плавиковом шпате, то его твердость составляет 4,5. Характеристика твердости имеет значение при выборе материалов для покрытия полов, лестниц, дорожных покрытий¹.

Истираемость материала характеризуется потерей первоначальной массы, отнесенной к 1 м² площади истирания (г/м²). Сопротивление истиранию определяют для материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий и лестничных ступеней на специальном оборудовании – кругах истирания.

$$I = (m - m_1) / F,$$

где m , m_1 – масса образца до и после испытания, г; F – площадь истираемой поверхности, см².

Истираемость материалов определяют в лабораториях на специальных машинах - кругах истирания.

Износом называют свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и удара. На износ материалы испытывают в специальных вращающихся барабанах со стальными шарами. Прочность при износе оценивают по потере массы, выраженной в процентах (%). Износу подвергают материалы, применяемые для дорожных покрытий и для балласта железных дорог.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что принято называть строительными материалами и изделиями? Какие требования к ним предъявляются?
2. По каким признакам и как принято классифицировать строительные материалы?
3. Классификация свойств строительных материалов.
4. Что характеризует физические свойства? Примеры физических свойств.

¹ Попов Л. Н. Указ. соч. 527 с.

5. Что такое средняя и истинная плотности, от чего они зависят и как определяются? Единицы измерения плотности.
6. Что такое пористость и как она определяется? Виды пористости. На какие свойства материалов и как влияет пористость?
6. Гидрофизические свойства, их краткая характеристика.
7. Влажность материала, как она определяется? Что понимают под водопоглощением? Как зависят свойства материала с изменением влажности?
9. Что такое морозостойкость, чем она характеризуется, от чего зависит? Как определить марку материала по морозостойкости?
12. Теплофизические свойства материала, их краткая характеристика.
13. Что такое теплопроводность материала? Чем характеризуется, от каких факторов и как зависит? Единицы измерения теплопроводности.
14. Огнестойкость и огнеупорность материалов. Как разделяются материалы по огнестойкости и огнеупорности?
16. Что характеризуют собой механические свойства материалов? Примеры механических свойств.
17. Что такое прочность материала, какими показателями она оценивается? От каких факторов зависит ее величина?
18. Что такое твердость, истираемость, износ? Для каких материалов они определяются?
20. Что такое пластичность и упругость? Для каких материалов эти свойства особенно важны?

2. МЕТАЛЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1. Металлы и их классификация

Металлы широко применяют в строительстве. Этому способствует ряд ценных технических свойств металлов, которые выгодно отличают их от других материалов: высокие прочность и пластичность обработки давлением. Наряду с этим металлы обладают и существенными недостатками: имеют большую плотность, при действии различных газов и влаги сильно корродируют, а при высоких температурах значительно деформируются.

Металлы разделяют на две основные группы: черные и цветные.

Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме того, в них могут содержаться в большем или меньшем количестве и другие химические элементы (кремний, марганец, сера, фосфор). С целью придать

черным металлам специфические свойства в их состав вводят улучшающие или легирующие добавки (никель, хром, медь и др.). Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяют на чугуны и стали.

Чугун это железоуглеродистый сплав с содержанием углерода 2-4,3 %. В зависимости от назначения различают чугуны литейные, пердеельные и специальные. Литейные чугуны применяют для отливки различных изделий, в том числе строительных деталей. Пердеельные чугуны используются для производства стали, а специальные чугуны - в качестве добавок при производстве стали и чугуна литья специального назначения. Сталь это ковкий железоуглеродистый сплав с содержанием углерода до 2 %. Стали, в зависимости от способа получения, разделяют на: мартеновские, конвертерные и электростали. По химическому составу, в зависимости от входящих в сплав химических элементов, стали бывают углеродистые и легированные. К углеродистым сталям относят сплавы железа с углеродом и примесями марганца, кремния, серы и фосфора. Углеродистую сталь, полученную различными способами, по характеру застывания принято разделять: спокойную, полуспокойную и кипящую. Легированными называются стали, в состав которых входят легирующие добавки такие как: никель, хром, вольфрам, молибден, медь, алюминий .

По назначению сталь может быть: конструкционная, применяемая для изготовления различных строительных конструкций и деталей машин, специальная, характеризующаяся высокой жаро- и износостойкостью, а также коррозионной стойкостью, и инструментальная.

По качеству сталь подразделяют: на сталь обыкновенную (рядовую), качественную, высококачественную.

Цветные металлы в чистом виде используются редко. Значительно чаще находят применение сплавы цветных металлов, которые по истинной плотности разделяют на легкие и тяжелые.

Легкие сплавы получают на основе алюминия или магния. Наиболее распространенными легкими сплавами являются алюминиево-марганцевые, алюминиево-кремнеземистые, алюминиево-магниевые и сплавы из дюралюминия. Их используют для несущих конструкций, например, фермы и ограждающих конструкций зданий и сооружений, например, оконные переплеты.

Тяжелые сплавы получают на основе меди, олова, цинка, свинца. Среди тяжелых сплавов применяют бронзу (сплав меди с оловом или сплав меди с алюминием, железом и марганцем) и латунь (сплав меди с цинком).

2.2. Виды и свойства сталей

Стали для строительных конструкций разделяют на виды и маркируют условными обозначениями, в которых отражается состав и назначение стали, механические и химические свойства, способы изготовления и раскисления.

Маркировка сталей. По стандарту марку углеродистой стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 7. Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами, показывающими содержание углерода в сотых долях процента - 0,8; 25 . В обозначение марок кипящей стали добавляют (кп), полуспокойной – (пс), спокойной – (сп), например Ст3сп, Ст5пс, Ст2кп.

В отличие от маркировки углеродистых сталей буквы в марке низколегированных сталей показывают наличие в стали легирующих примесей, а цифры - их среднее содержание в процентах. Предшествующие буквам цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Для маркировки стали каждому легирующему элементу присвоена определенная буква, например: С - кремний, В - вольфрам, Г - марганец, Ю - алюминий, Х - хром, Д - медь, Н - никель, К - кобальт, М - молибден.

Углеродистые стали. Сталь углеродистая обыкновенного качества - сплав железа с углеродом. В ее составе также присутствуют в небольшом количестве примеси: кремний, марганец, фосфор и сера, каждая из которых оказывает определенное влияние на механические свойства сталей. В сталях обыкновенного качества, применяемых в строительстве, углерода содержится 0,06-0,62 %. Стали с низким содержанием углерода характеризуются высокой пластичностью и ударной вязкостью. Повышенное содержание углерода придает стали хрупкость и твердость.

Для повышения качества строительных сталей в сплавы добавляют примеси - марганец и кремний. Содержание марганца обычно 0,25 - 0,9 %, он повышает прочность стали без значительного снижения ее пластичности.

Кремний, содержание которого в обыкновенных сталях не превышает 0,35 %, не оказывает существенного влияния на свойства стали. Фосфор и сера являются вредными примесями. Фосфор делает сталь хрупкой (хладноломкой), в связи с этим содержание его в строительных сталях не должно превышать 0,05%. Присутствие серы в количестве более 0,07 % вызывает красноломкость стали, а также снижает ее прочность и коррозионную стойкость. Основные характеристики качества углеродистой стали - пределы текучести и прочности при растяжении, а также величина относительного удлинения. Все эти показатели (кроме относительного удлинения) с возрастанием марки стали увеличиваются.

Наиболее широко в строительстве используют сталь марки Ст3, которая идет на изготовление металлических конструкций гражданских и промышленных зданий и сооружений, опор линий электропередач, резервуаров и трубопроводов, а также арматуры железобетона. Качественные конструкционные углеродистые стали применяют, как правило, в машиностроении, а инструментальные углеродистые стали для изготовления различных режущих инструментов.

Легированные стали. Низколегированные стали наиболее часто применяют в строительстве. Содержание углерода в них не должно превышать 0,2 %, так как с его возрастанием понижаются пластичность и коррозионная стойкость, а также ухудшается свариваемость стали. Легирующие добавки влияют на свойства стали следующим образом:

- марганец увеличивает прочность, твердость и сопротивление стали износу;
- кремний и хром повышают прочность и жаростойкость;
- медь повышает стойкость стали к атмосферной коррозии;
- никель способствует улучшению вязкости без снижения прочности.

Низколегированные стали имеют более высокие механические свойства, чем малоуглеродистые. Стали, содержащие никель, хром и медь имеют высокую пластичность, хорошо свариваются, их используют для сварных и клепаных конструкций промышленных и гражданских зданий, пролетных строений мостов, нефтяных резервуаров, труб.

Наибольшее применение в строительстве для изготовления металлических конструкций получили низколегированные стали марок 10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2СД и другие.

Средне- и высоколегированные стали используют в строительстве тогда, когда необходимо обеспечить строительным конструкциям высокую коррозионную стойкость.

2.3. Свойства сталей

Среди физических свойств у сталей наибольшее значение имеют истинная плотность, температура плавления, теплоемкость, теплопроводность, коэффициент температурного расширения.

Температура плавления - температура, при которой сталь из твердого состояния переходит в жидкое состояние. Температура плавления железа 1535°C , но при введении в его состав углерода и других элементов она изменяется, например чугун с содержанием 4,3 % углерода плавится около 1130°C .

Коэффициент температурного расширения - показатель относительного удлинения стального образца при повышении температуры на 1° равен $(11 - 11,9) \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$. Механические свойства сталей характеризуются пределом прочности при растяжении, пределом текучести, относительным удлинением, твердостью и ударной вязкостью.

Испытание стали на растяжение, с одновременной оценкой ее упругости, производят на образцах в форме стержня круглого или прямоугольного сечения. Для этого используют разрывные машины. Напряжение, при котором появляется текучесть стали, называется пределом текучести. Образец приобретает остаточные деформации, т. е. деформации, остающиеся в образце после снятия нагрузки.

Относительное удлинение образца при испытании на разрыв характеризует пластичность стали, ее способность приобретать значительные остаточные деформации без разрывов и трещин. Относительное удлинение $\delta, \%$, определяют по формуле:

$$\delta = (l_1 - l_0)/l_0,$$

где l_0 - расчетная (начальная) длина образца, мм; l_1 - длина образца после разрыва, мм.

Испытание на растяжение является основным при оценке механических свойств сталей, применяемых в строительстве.

Твердость - способность стали сопротивляться вдавливанию в нее других, более твердых тел, например алмазного конуса или стального шарика.

Ударная вязкость - свойство стали противостоять динамическим (ударным) нагрузкам. Ее величина определяется количеством работы, необходимой для разрушения стального образца на маятниковом копре.

Среди химических свойств стали наиболее важным является коррозионная стойкость, которая характеризует способность сталей сопротивляться разрушающему действию окружающей среды.

Технологические свойства показывают способность сталей к обработке давлением, резанием, литьем, сваркой и др.

Основное технологическое испытание стали - испытание ее образцов на загиб в холодном состоянии под воздействием равномерно возрастающей нагрузки. Различают следующие виды испытаний: загиб до определенного угла, загиб вокруг оправки до параллельности сторон, загиб до полного соприкосновения сторон (вплотную). Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие в нем после загиба трещин, расслоений или излома.

Термическая обработка улучшает физико-механические свойства стали. Различают следующие виды термической обработки: закалку, отпуск, отжиг, нормализацию.

Закалка заключается в нагреве стали до 800-900 °С и быстром охлаждении ее в воде или масле. Закалка увеличивает прочность и твердость стали, но снижает ударную вязкость. Отпуск закаленной стали - медленный ее нагрев до 200 – 350 °С, выдержка при этой температуре с последующим медленным охлаждением на воздухе. При отпуске стали снижается твердость, но повышается вязкость. Отжиг это - нагрев стали до определенной температуры, выдержка и медленное охлаждение в печи. Отжигают сталь для снижения твердости и повышения ее вязкости. Нормализация стали это разновидность отжига, состоящая из нагрева ее до температуры ниже температуры закалки, выдержки при этой температуре и охлаждения на воздухе. Нормализация повышает твердость, прочность и ударную вязкость

стали. Для увеличения прочности и твердости поверхностных слоев стальных изделий производят поверхностную закалку токами высокой частоты, а также цементацию стали.

2.4. Изделия из стали

Изготовление стальных изделий. При изготовлении стальных изделий расплавленную сталь разливают по изложницам. Вынутые из них стальные слитки подвергают обработке давлением. Обработка давлением основана на высоких пластических свойствах стали. При этом изменяется не только форма стального слитка, но и его свойства. Существуют следующие способы обработки стальных слитков давлением: прокатка, волочение, ковка, штамповка, прессование.

Прокатка - наиболее распространенный способ изготовления профилированных стальных изделий. При прокатке стальной слиток пропускают между вращающимися валками прокатного стана, в результате чего заготовка обжимается, вытягивается и в зависимости от профиля прокатных валков приобретает заданную форму (профиль). Прокатывают сталь в холодном состоянии. Ассортимент стали горячего проката – разнообразен: сталь круглая, квадратная, полосовая, уголовая равнобокая и неравнобокая, швеллеры, двутавровые балки, шпунтовые сваи, трубы, арматурная сталь периодического профиля.

При волочении заготовка последовательно протягивается через отверстия (фильеры) размером меньше сечения заготовки, вследствие чего заготовка обжимается и вытягивается. При волочении в стали появляется так называемый наклеп, который повышает ее твердость. Волочение стали обычно производят в холодном состоянии, при этом получают изделия точных профилей с чистой и гладкой поверхностью. Способом волочения изготавливают проволоку, трубы малого диаметра, а также прутки круглого, квадратного и шестиугольного сечения.

Ковка - обработка раскаленной стали повторяющимися ударами молота для придания заготовке заданной формы. Ковкой изготавливают разнообразные стальные детали (болты, анкера, скобы).

Штамповка - разновидностьковки, при которой сталь, растягиваясь под ударами молота, заполняет форму штампа. Штамповка может быть горячей и холодной. Этим способом можно получать изделия очень точных размеров.

Прессование - процесс выдавливания находящейся в контейнере стали через выходное отверстие (очко) матрицы. Исходным материалом для прессования служит литье или прокатные заготовки. Этим способом можно получить профили различного сечения, в том числе прутки, трубы небольшого диаметра и разнообразные фасонные профили.

Холодное профилирование - процесс деформирования листовой или круглой стали на прокатных станах.

2.5. Виды стальных изделий

Металлообрабатывающая промышленность выпускает обширную номенклатуру различных стальных изделий.

Прокатную угловую сталь, профильную сталь, прокатную сталь квадратного сечения, а также круглую сталь, которую в основном употребляют в качестве арматуры для железобетона.

Стальные трубы цельнотянутые и сварные диаметром 50-1620 мм используемые для магистральных газо- и нефтепроводов, водоснабжения, отопления и других целей.

Мелкие стальные изделия в виде болтов, гаек, шайб, заклепок широко применяют при изготовлении из прокатных стальных профилей разнообразных конструкций.

Стальная арматура является важнейшей составной частью железобетона и призвана надежно работать совместно с бетоном в течение всего срока службы изделия или конструкции. Арматуру располагают главным образом в тех местах изделия или конструкции, которые подвергаются растягивающим усилиям, и она должна воспринимать эти усилия.

Арматурную сталь классифицируют по способу изготовления, профилю стержней и области применения. По способу изготовления арматурную сталь разделяют: на горячекатаную стержневую и холоднотянутую проволочную. В

зависимости от профиля стержней (характера их поверхности) стержневая и проволочная арматура бывает гладкой и периодического профиля. В зависимости от условий применения арматурную сталь подразделяют: на ненапрягаемую и напрягаемую, применяемую соответственно для обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций.

Стержневую арматуру выпускают горячекатаной обычной, упрочненной вытяжкой в холодном состоянии и термически упрочненной.

В зависимости от механических свойств стержневую арматуру разделяют на классы с условным обозначением А. Условные обозначения классов горячекатаной арматурной стали: А-I, А-II, А-III, А-IV . При обозначении класса термически упрочненной арматурной стали к индексу А добавляют индекс "т", например Ат-III. Сталь упрочненную вытяжкой, обозначают по классу исходной горячекатаной стали, но при этом добавляют еще индекс "в", например Ав-III.

Арматурную сталь класса А - I изготавливают из углеродистой стали марок СтЗ, СтЗпс и СтЗкп, класса А - II диаметром 10 - 40 мм - из углеродистой стали марки Ст5, диаметром 40 - 90 мм - из низколегированной стали марки 18Г2С; класса А-III диаметром 6 - 40 мм - из низколегированной стали марки 25Г2С, диаметром 6 - 8 мм - из низколегированной стали марки 18Г2С; класса А - IV - из низколегированной стали марки 20ХГ2Ц для конструкций с напрягаемой арматурой. Стержни арматурной стали класса А-I поставляют круглыми, стержни класса А - II, А - III, А - IV - периодического профиля.

Проволочную арматуру разделяют на арматурную проволоку и арматурные проволочные изделия. Арматурная проволока может быть холоднотянутой класса В-I (низкоуглеродистой) для ненапрягаемой арматуры и класса В-II (углеродистой) для напрягаемой арматуры. Ее выпускают гладкой и периодического профиля диаметром 3-8 мм.

Арматурные проволочные изделия применяют при производстве железобетонных изделий в виде нераскручивающихся стальных арматурных прядей, стальных арматурных канатов, сварных арматурных сеток, а также

тканых и сварных проволочных сеток, предназначенных для армоцементных конструкций¹.

2.6. Защита металлов от коррозии

Коррозией называют разрушение металла под воздействием окружающей среды.

Виды коррозии. В зависимости от механизма процесса разрушения металла коррозия может быть химической и электрохимической.

Химическая коррозия возникает при действии на металл сухих газов или жидкостей органического происхождения, которые не являются электролитами. Примером химической коррозии служит окисление металла при высоких температурах, в результате чего на его поверхности возникает продукт окисления - окалина. Данный вид коррозии встречается редко.

Электрохимическая коррозия образуется в результате воздействия на металл электролитов (растворов кислот, щелочей и солей). Ионы металла переходят в раствор, при этом металл постепенно разрушается. Этот вид коррозии может также возникать при контакте двух разнородных металлов в присутствии электролита, когда между этими металлами проходит гальванический ток. В зависимости от характера окружающей среды электрохимическая коррозия может быть атмосферной, подводной и почвенной, а также вызванной блуждающими токами.

Стальные конструкции очень часто подвергаются атмосферной коррозии. Находящийся в атмосфере углекислый и сернистый газы образуют с влагой воздуха электролит, отрицательно воздействующий на сталь. При этом степень разрушения стали зависит от вида и концентрации электролита. Подводная коррозия возможна в металле, погруженном в воду. Почвенная коррозия протекает при взаимодействии металла конструкций с почвой. Довольно распространена коррозия металла труб, металлического каркаса подземных сооружений от воздействия блуждающих токов, возникающих при близком расположении подземных кабелей, и рельсов трамвайных или железнодорожных путей.

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

Защита металла от коррозии. Существуют различные методы защиты металлов от коррозии, среди которых защита основного металла лакокрасочными, неметаллическими и металлическими пленками, а также введение в состав металла легирующих элементов.

Лакокрасочное покрытие - наиболее распространенный вид антикоррозионной защиты металла. В качестве пленкообразующих материалов используют нитроэмали, нефтяные, каменноугольные и синтетические лаки, краски на основе растительных масел. Образующаяся при покрытии на поверхностях конструкций плотная пленка изолирует металл от воздействия окружающей его влажной среды.

К неметаллическим покрытиям относят эмалирование, покрытие стеклом, цементно-казеиновым составом, листовым пластиком и плитками, напыление пластмасс. Эти покрытия довольно стойки к внешним агрессивным средам и надежно защищают металл от коррозии.

Металлические покрытия наносят на металлы гальваническим, химическим, горячим, металлизацией и другими способами. Покрываемое изделие при этом служит катодом, а осаждаемый металл - анодом. В качестве примера можно привести оцинковку закладных деталей для железобетонных конструкций.

При защите легированием в металл вводят легирующие элементы, повышающие сопротивление сплава коррозии. Например, введение меди значительно повышает коррозионную стойкость стали. Большой стойкостью к коррозии отличаются высоколегированные нержавеющие стали¹.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое сталь и чугун?
2. Каково назначение легирующих элементов, вводимых железоуглеродистые сплавы? Какие из цветных металлов имеют наибольшее применение в строительстве и каковы их свойства?
3. Какими свойствами обладают металлы, как материал для строительных конструкций?
4. Что понимают под коррозией металлов? Какие меры защиты от коррозии наиболее эффективны?
5. Перечислите основные виды стальных изделий применяемые в строительстве.
6. Перечислите основные виды арматурной стали.

¹ Попов Л. Н. Указ. соч. 527 с.

3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Основные сведения о керамических материалах

Классификация

Керамическими называют искусственные каменные материалы и изделия, полученные в процессе технологической обработки минерального сырья и последующего обжига при высоких температурах.

Керамика – keramos (греч. – глина), поэтому под технологией керамики подразумевается производство материалов, изделий из глинистого сырья и смеси его с органическими и минеральными добавками.

Строительные керамические материалы и изделия классифицируют по структуре керамического черепка, по их назначению, по температуре плавления глины (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация керамических изделий

По назначению	По структуре	По температуре плавления
1. Стеновые керамические материалы, например, кирпич и камни керамические. 2. Кровельные керамические материалы, например черепица. 3. Отделочные керамические материалы для облицовки фасадов, например, лицевой кирпич, мозаичная плитка. 4. Изделия для внутренней облицовки стен, например, керамическая плитка. 5. Плитка для полов 6. Санитарно – технические изделия 7. Специальная керамика, 8. Заполнители для легких бетонов – керамзит, аглопорит.	1. Керамические изделия с пористым черепком, водопоглощение черепка более 5 % по массе (8-26 %); все виды керамического кирпича, стеновые камни, черепица, облицовочная плитка; 2. Керамические изделия с плотным черепком, водопоглощение черепка менее 5% , (2-4); изделия практически водонепроницаемы; плитки для полов, санитарный фарфор; материал (тело), из которого состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют керамическим черепком.	1. Легкоплавкие керамические материалы, температура плавления ниже 1350 °С. 2. Тугоплавкие керамические материалы температура плавления от 1350 до 1580 °С. 3. Огнеупорные керамические материалы – температура плавления от 1580 до 2000 °С.

Керамические материалы и изделия используют для возведения стен и покрытий зданий, облицовки полов, стен, фасадов, кладки печей и дымовых труб, устройства канализации и дренажа.

3.2. Глинистые материалы

Глины являются основным сырьевым компонентом для производства керамики. Глины – это мелкообломочные рыхлые горные породы, способные при затворении водой образовывать пластичное тесто, которое в высушенном состоянии обладает связностью, а после обжига приобретает камневидное состояние (керамический черепок). Как известно, основным сырьем для производства керамики является глина. Под названием «глина» понимается мелкообломочная осадочная горная порода, состоящая из частиц минералов размером менее 0,005 мм, по химическому составу представляющих собой гидратированные алюмосиликаты и сопутствующие примеси других минералов.

Глина является продуктом распада наиболее распространенных магматических пород – полевых шпатов, таких как ортоклаз, альбит, анорит, гранит, туф, порфирит. Глины могут быть *первичными*, которые остались на месте своего первичного образования, и *вторичными*, которые отлагались в новых местах в результате аллювиальных, делювиальных, эоловых и других процессов. Первичная глина, перемещаясь, например, с водой, могла освобождаться от сопутствующих примесей и откладываться в новом месте в более качественном, чистом виде. Так образовывались каолины, отличающиеся *огнеупорностью* и белизной. Глины с несколько повышенным содержанием плавней и красящих оксидов выделяют в особый вид – *тугоплавкие* глины, а глины со значительным количеством примесей относят к *легкоплавким*.

Основное свойство глины это ее способность при затворении водой образовывать пластичное тесто, которое после сушки и обжига превращается в камнеподобный материал – керамический черепок. Глинистые породы состоят из отдельных составных частей различной величины. Количественное содержание частиц разных размеров характеризует гранулометрический (зерновой) состав глинистой породы. От него зависят такие важные

характеристики свойств глинистого сырья, как пластичность, сопротивление сдвигу, усадка, набухание.

Анализ гранулометрического состава основан на определении размеров зерен под микроскопом, при разделении на ситах, набухании, оседании в спокойной и движущейся воде под действием силы тяжести или центробежной силы. Определение гранулометрического состава глин по методу Б. И. Рутковского основано на способности глинистых частиц набухать в воде и на различной скорости падения частиц в воде в зависимости от их размера.

Вещественный состав глин представлен собственно глинистой частью и примесями. Глинистые частицы имеют пластинчатое строение, при смачивании водой между частицами глины образуются тонкие слои воды, вызывая их набухание, и способность их к скольжению относительно друг друга без потери связности.

При взаимодействии с водой способны набухать только минералы глинистой части. Физический смысл набухания заключается в следующем: кристаллическая решетка глинистых минералов относится к типу слоистых, причем некоторые минералы (типа каолинита) имеют асимметричное строение пакета, т. е. на одной стороне пакета расположены водородные ионы, на другой ионы кислорода. Примыкая разными слоями, такие пакеты связываются друг с другом достаточно прочно, поэтому вода очень слабо проникает между слоями монокристалла каолинита, не увеличивая межплоскостные расстояния, и в основном адсорбируется на поверхности слоев. Другие минералы (типа монтмориллонита) имеют симметричное строение пакета, т. е. на обеих его поверхностях расположены ионы кислорода, поэтому между пакетами имеется очень слабая связь и вода, проникая туда, расширяет кристаллическую решетку минерала. Наибольшая величина набухания характерна для монтмориллонитовых глин, наименьшая — для каолинитовых глин.

С помощью метода Рутковского выделяют три основные фракции:

- глинистую, размер частиц менее 5 мкм (0,005 мм);
- пылеватую, размер частиц от 5 до 50 мкм (0,005...0,05 мм);
- песчаную, размер частиц от 50 мкм и более (0,05...2 мм).

Если делить глины по области применения в промышленности, то чистые белые глины используют для производства огнеупоров, фарфора, фаянса, тугоплавкие – для труб, терракоты, клинкера; легкоплавкие – для группы кирпично-черепичных, гончарных, керамзитовых материалов и изделий.

Глинистые минеральные частицы имеют размер менее 0,005мм, что обеспечивает способность глин при затворении водой образовывать пластичное тесто, сохраняющее при высыхании приданную форму, а после обжига приобретать водостойкость и прочность камня.

Различное сочетание химического, минералогического и гранулометрического составов глин обуславливает различные свойства глинистого сырья и пригодность его для получения керамических изделий с необходимыми свойствами и назначением. Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов в керамическом сырье и в среднем составляют: кремнезем (SiO_2) 40–80 %; глинозем (Al_2O_3) 8–0 %; оксид железа (Fe_2O_3) 0,1–5 %; оксид кальция (CaO) 0.5–25 %; оксид магния (MgO) 0–4 %. Повышенное содержание глинозема Al_2O увеличивает пластичность и огнеупорность глин. Повышенное содержание кремнезема SiO_2 , не связанного с Al_2O снижает пластичность глин, повышает пористость обожжённых изделий, снижает прочность. Повышенное содержание оксида железа Fe_2O_3 придает уже обожжённым изделиям красный цвет, снижает огнеупорность глин.

Содержание CaCO_3 (известняка) придает изделиям светлую окраску, понижает огнеупорность глин. Камневидные включения известняка это причина появления «дутиков» и трещин в кирпиче, так как гидратация CaO , получившегося при обжиге керамических изделий, сопровождается увеличением его объема. Оксиды щелочных металлов Na_2O , K_2O , являются сильными плавнями, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка, понижают температуру спекания глины.

3.3. Добавки в технологии керамики

Для регулирования технологических свойств формовочной массы, получения изделий с заданными свойствами в керамические массы вводят

отощающие, порообразующие, пластифицирующие добавки, а также добавки плавни.

Отощающие добавки вводятся в состав керамических масс для понижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. В качестве отощающих добавок используют: кварцевый песок, шамот, дегидратированную глину.

Шамот зернистый керамический материал (размер зерен 0,14–2 мм), получаемый измельчением глины, предварительно обожженной при той же температуре, при которой обжигался кирпич. Его также получают, измельчая бой кирпича. Шамот улучшает сушку изделий за счет снижения воздушной усадки и структурных дефектов при формовании.

Дегидратированная глина при температуре 700–750 °С улучшает сушильные свойства кирпича, улучшает внешний вид изделий, ее вводят в количестве 30 – 40 %. Роль отощителей глиняных масс выполняют также шлаки и золы ТЭС, выполняющие одновременно и роль выгорающих добавок.

Порообразующие или выгорающие добавки. Эти добавки при низких температурах играют роль отощающих, а при высоких температурах способствуют обжигу, снижают расход топлива, повышая пористость и уменьшая плотность изделия, вводят для повышения пористости керамического черепка и улучшения теплоизоляционных свойств керамических изделий. Они армируют глиняную массу, улучшают формовочные свойства, повышают трещиностойкость, при сушке изделий, но понижают их прочность.

Пластифицирующие добавки вводят с целью повышения пластичности глиняной массы при меньшем расходе воды. К ним относят высокопластичные глины, поверхностно – активные вещества, бентониты.

Плавни (флюсующие добавки) добавляют в глину в тех случаях, когда необходимо понизить температуру ее спекания. Роль плавней выполняют такие добавки как полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк, мел, нефелин-сиенит, перлит.

Топливосодержащие добавки: уголь, отходы углеобогащения, вводят с целью экономии топлива, повышения спекаемости, также они создают пористость черепка.

3.4. Свойства глин

1. Пластичность это способность глиняного теста под давлением изменять форму (деформироваться) без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Пластичные свойства глин характеризуются влажностью и изменяются для одной и той же глины в зависимости от количества воды. Переход глины от одной консистенции к другой совершается при определенных значениях влажности, которые получили название пределов пластичности.

Влажность (% по массе) при которой глина переходит из пластичного состояния в текучее, называется верхним пределом пластичности φ_1 . Влажность (% по массе), при которой глина переходит из пластичного состояния в хрупкое, называется нижним пределом пластичности или границей раскатывания φ_2 .

Разность между верхним и нижним пределами пластичности является характеристикой пластичности глин и называется числом пластичности:

$$П = \varphi_1 - \varphi_2,$$

В лаборатории определение верхнего предела пластичности производится на приборе Васильева, а нижнего предела пластичности – по границе раскатывания.

Пластичность глин зависит от их гранулометрического и минерального составов. Пластичность глин повышается с увеличением содержания в глине глинистых частиц (частиц размером менее 0,005мм). Чем глина пластичнее, тем больше требуется воды для получения хорошо формуемого глиняного теста, а это приводит к увеличению усадки изделий при сушке и обжиге. По пластичности глин различают:

- высокопластичные глины, содержат глинистых частиц 80–90 % (жирные глины), число пластичности составляет более 25, водопотребность таких глин очень высокая, более 28 %, воздушная усадка составляет 10–15 %;
- глины средней пластичности, содержат глинистых частиц от 30 до 40 %, число пластичности 15–25, водопотребность 20–28 %, воздушная усадка составляет 7–10 %;
- малопластичные глины имеют в своем составе от 5 до 30 % глинистых частиц (тощие глины), число пластичности 7–15 (тощие), воздушную усадку

5–7 %. Непластичные глины не образуют пластичное удобоформуемое тесто. Пластичность глин можно регулировать:

- введением отощающих добавок для жирных, высокопластичных глин, имеющих очень большую усадку при сушке;
- введением в тощие малопластичные глины пластифицирующих добавок, высокопластичных глин (за счет повышения числа пластичности);
- применяют отощающие механические приемы: вылеживание глины в глинозапасниках до 3–6 месяцев при атмосферных условиях, усиленной механической обработкой: растирание на глиноперерабатывающих машинах (бегуны, вальцы, глиномялки);

2. Связующая способность это свойство глины – сохранять пластичность при смешивании с непластичными материалами (песком и шамотом). Связующая способность определяется максимально возможным количеством кварцевого песка, при добавке которого получают массу с хорошими формовочными свойствами.

3. Воздушная усадка (линейная и объемная) это сокращение линейных и объемных размеров изделий при сушке. Происходит в результате уменьшения толщины водных оболочек вокруг частиц глины под действием капиллярных сил.

Воздушная усадка составляет от 2 до 12 % и зависит от гранулометрического состава, увеличиваясь с повышением содержания тонкодисперсных фракций. Воздушная усадка влияет на трещиностойкость изделия при сушке. С целью уменьшения усадочных напряжений и повышения трещиностойкости изделия при сушке в состав формовочной массы вводят отощители: песок, шамот, бой кирпича, опилки, ПАВ (СДБ).

4. Огневая усадка глин это сокращение линейных и объемных размеров изделий при обжиге. Происходит в результате сближения частиц под действием сил поверхностного натяжения. Огневая усадка колеблется от 2 до 8 %. В сильно запесоченных глинах в процессе обжига иногда наблюдается не усадка, а увеличение объема изделий из-за модификационных превращений кварца. Полной усадкой считается сумма значений воздушной и огневой усадок и может составлять от 4 до 18 %. Самую высокую усадку имеют высокопластичные глины. Высокий процент воздушной и огневой усадок глин считается отрицательным свойством, так как неравномерное

изменение объема вызывает деформации изделий, такие как, искривления, трещины. Полную усадку учитывают при формовании стеновых изделий.

5. Спекаемость глин называют их свойство уплотняться при обжиге и образовывать твердый камнеподобный черепок. При спекании резко возрастает прочность изделий, уменьшается их водопоглощение. Черепок считают спекшимся, без признаков пережога с водопоглощением менее 5 %. Черепок с водопоглощением не более 2 % считается полностью спекшимся.

6. Огнеупорность это свойство глины противостоять, не расплавляясь и не деформируясь длительному воздействию высоких температур. По огнеупорности глины подразделяют на огнеупорные, выдерживающие воздействие температур от 1580 °С и выше, например изделия из фарфора или фаянса; тугоплавкие, выдерживающие воздействие температур от 1350 до 1580 °С, например, огнеупорный кирпич; и легкоплавкие, выдерживающие воздействие температур ниже 1350 °С, например керамический кирпич.

3.5. Производство керамических изделий

Производство изделий из керамики включает следующие этапы: карьерные работы, обработка и подготовка глиняной массы, формование изделий, сушка и обжиг керамики.

Добыча глины. Глину для производства стеновой керамики добывают в карьерах, которые расположены в непосредственной близости от завода-изготовителя. Здесь же хранится промежуточный запас глины. Вылеживание замоченной глины и ее вымораживание на открытом воздухе, обычно не менее года, что позволяет разрушить природную структуру глины и улучшить ее технические свойства, например, повысить ее пластичность.

Свойства сырья, тип изделий, объем производства, способы подготовки сырьевых материалов определяют общие принципы технологических схем производства изделий. Основные способы подготовки сырья: пластический, полусухой или шликерный отражают различия технологических схем производства стеновой керамики, тогда как последующие операции: формование или прессование, сушка и обжиг керамических изделий не имеют существенных различий. В стеновой керамике наиболее распространенный способ производства – пластический (влажность исходного сырья составляет

18-23 %). Технологическая схема изготовления керамического кирпича представлена на (рис. 3.1).

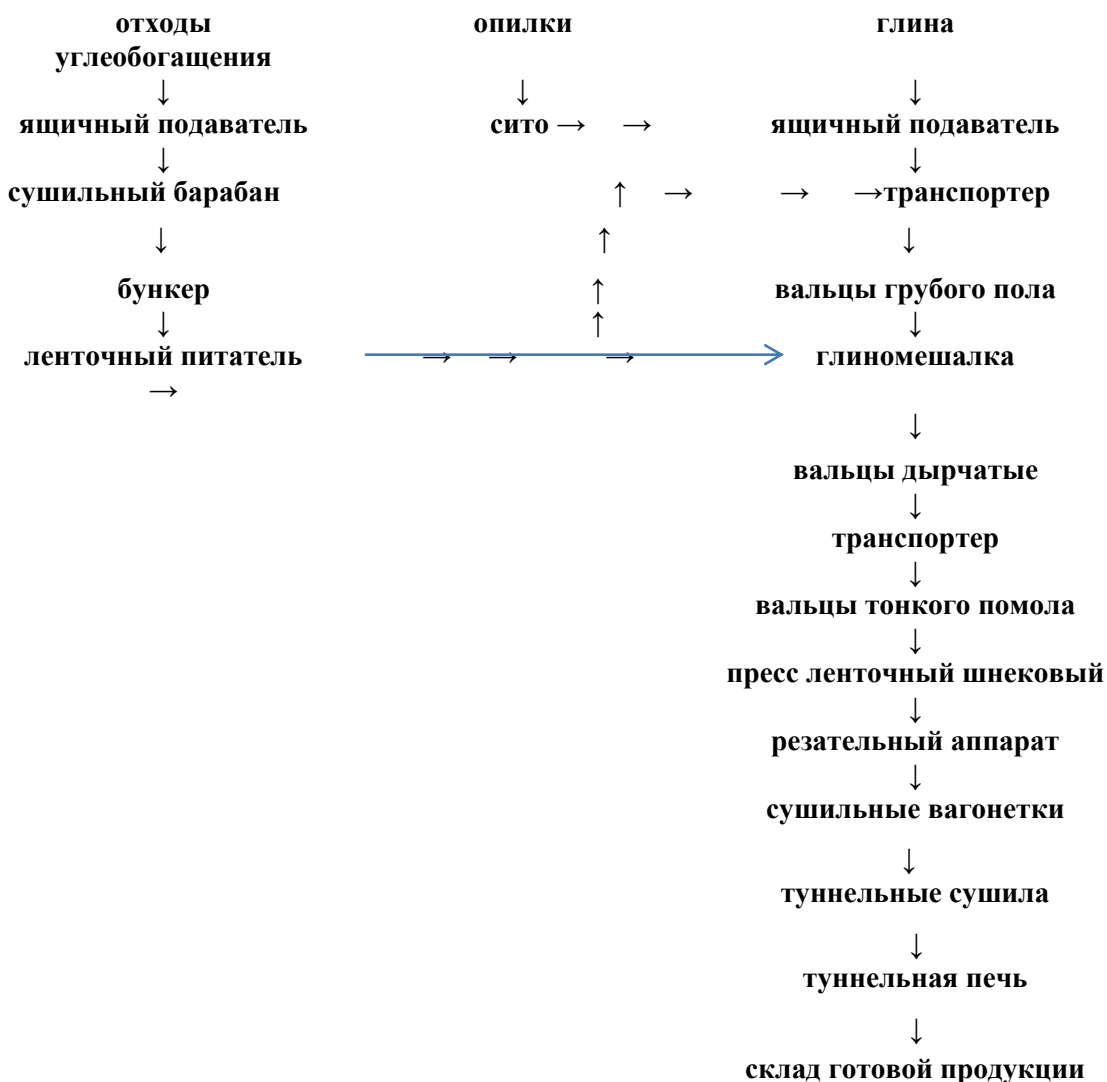


Рис. 3.1. Технологическая схема производства керамики пластическим способом

Сушильные барабаны включенные в схему подготовки сырья, объясняется необходимостью подсушки отходов углеобогащения, влажность которых в зимнее время составляет до 12-15 %.

Технологическая схема производства керамических изделий полусухим способом подготовки применяется при производстве керамического кирпича рядового, если сырье имеет пониженную влажность от 8 до 12%, (рис. 3.2).

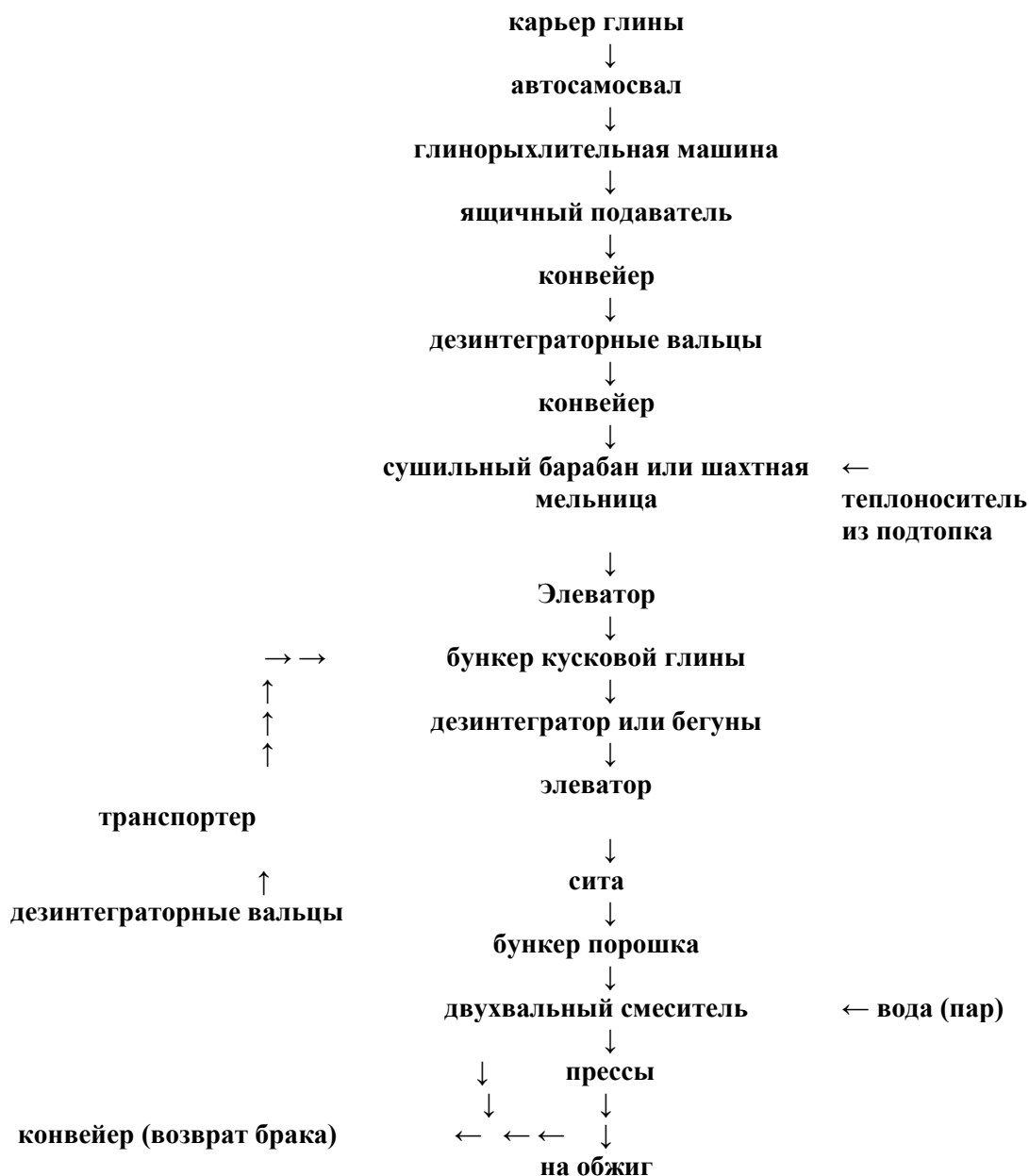


Рис. 3.2. Технологическая схема производства изделий полусухим способом

Формование изделий. Назначение формования заключается в необходимости придать форму, размер, плотность и необходимую прочность сырцу. Формуют керамические изделия различными способами: пластическим, полусухим и методом литья. Выбор способа формования зависит от вида изделий, а также от исходного содержания влаги в глинистом

сырье. Пластический способ формования изделий из глиняных масс на ленточных шнековых прессах является наиболее распространенным в производстве стеновой керамики (рис. 3.3).

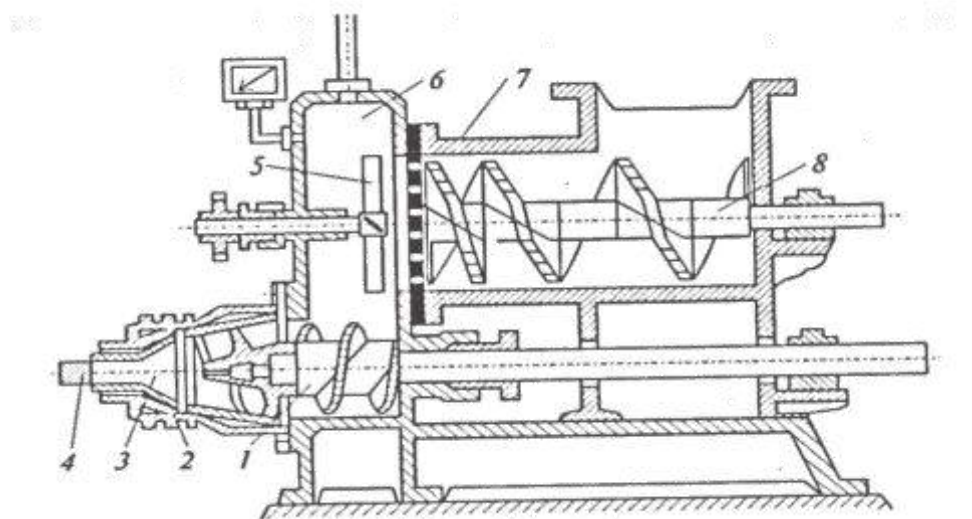


Рис. 3.3. Ленточный шнековый вакуум - пресс:

1 – шнековый вал; 2 – прессовая головка; 3 – мундштук; 4 –глиняный брус; 5 – крыльчатка; 6 – вакуум-камера; 7 – решетка; 8 – глиномялка

Подготовленная глиняная масса влажностью 18–23 % направляются в приемный бункер ленточного пресса. При помощи шнека пластичная глиняная масса дополнительно перемешивается, уплотняется и выдавливается в виде бруса через выходное отверстие пресса, который снабжен сменным мундштуком. Мундштук предназначен для придания изделиям точных размеров, формы и дополнительного уплотнения глиняного бруса. При расчете размеров мундштука учитывают усадку изделий и возможность глиняного бруса увеличиваться при выходе из мундштука. При использовании в производстве глин, чувствительных к сушке рекомендуется мундштук орошать не водой, а смесью отработанных масел. Непрерывно выходящий из пресса глиняный брус разрезается на изделия – сырец автоматическим резательным устройством в соответствии с проектными размерами изделий.

Полусухое прессование стеновых изделий имеет ряд преимуществ перед пластическим формованием. При полусухом способе формования

устраняется длительный и сложный процесс сушки сырца. Длительность производственного цикла сокращается в 2 раза. Получаемые изделия имеют правильную геометрическую форму и более точные размеры. При обжиге изделия дают значительно меньшую усадку. В производстве полусухого прессования есть возможность использовать тощие глины, а также в больших количествах добавки – золы, шлаки. Структурно-механические свойства изделий формируются в период уплотнения пресс-порошка и закрепляются во время обжига. Для прессования изделий используют пресс ударного действия, рычажные и гидравлические. Наиболее распространенными являются прессы СМ-301 – рычажные с двухсторонним двухступенчатым прессованием, которое составляет 26,9–29,4 Мпа. Полный цикл прессования составляет 6 секунд. Штампы прессы имеют электрообогрев¹.

Способ литья применяют для изготовления санитарно-технического фаянса и облицовочных плиток. При этом способе предварительно измельченную глиняную массу (шликер) влажностью более 45 % заливают в специальные гипсовые формы.

Сушка изделий. Сушкой называется процесс понижения влажности в отформованном изделии до 6-8 %. При такой влажности сырец приобретает необходимую механическую прочность для погрузки на обжиговые вагонетки.

За счет сушки повышается прочность сырца, предотвращаются растрескивание и деформация его в процессе обжига. Одной из важнейших задач в технологии сушки является определение того минимального времени, в течение которого керамическое изделие может быть высушено до заданной конечной влажности без трещин, кондиционного качества, в минимальные сроки и при возможно малых затратах тепловой энергии.

Процесс сушки керамического кирпича характеризуется основными перечисленными ниже факторами:

- изменением температуры сформованного изделия;
- изменением его влагосодержания;
- изменением скорости сушки;
- возникновением усадки и усадочных напряжений;

¹ Мороз И.И. Технология строительной керамики: учебное пособие. – М.: ЭОЛИТ, 2011. – 384 с.

- продолжительностью сушки.

Технологически правильное регулирование интенсивности испарения влаги, как с поверхности изделий, так и из его внутренних слоев в различные периоды сушки, регулирование усадочных напряжений и усадки полуфабриката, продолжительности сушки, свойств и скорости теплоносителя достигается правильным выбором режимов сушки.

Режим сушки – это комплекс мероприятий, который предусматривает минимальное время необходимое для сушки изделий с учетом их свойств, формы, размеров изделий и особенностью используемых сушильных устройств.

Чувствительность глин к сушке является характеристикой, обратной понятию трещиностойкости отформованных изделий. Рассмотрим механизм сушки. Из изделий отформованных пластическим или литьевым способом сначала удаляется свободная вода, а затем связанная. Удаление влаги с поверхности происходит за счет испарения, а к поверхности влага поступает из центральных зон изделия вследствие диффузии под влиянием влажностных и температурных градиентов. При испарении молекулы воды вырываются из окружения соседних молекул и переходят в воздушную среду. Чем выше температура, тем большую роль играет стремление их переместиться из одного места в другое, тем короче промежутки «колебательного» состояния молекулы и чаще переходы ее в воздушную среду. Испарение теплой влаги идет интенсивнее, чем холодной. При наличии градиента влажности влага будет перемещаться из зон более влажных к зонам менее влажным, а при наличии температурного градиента влага будет стремиться переместиться из зон более нагретых к менее нагретым. Поэтому если масса будет вначале прогрета, то испарение и, следовательно, процесс сушки будут идти более интенсивно. Влага перемещается также вследствие разности ее концентрации и действия капиллярных сил. При быстром удалении влаги с поверхности сырца внутри его создается влажное ядро, в результате чего поверхностные слои начинают испытывать растягивающие усилия, и когда эти усилия превышают прочность материала, в нем возникают трещины. Если бы влага изнутри быстрее проникала к поверхности, чем удалялась с нее, то

внутри сырца возникло бы сухое ядро и образовались кольцевые усадочные трещины (рис. 3.4).

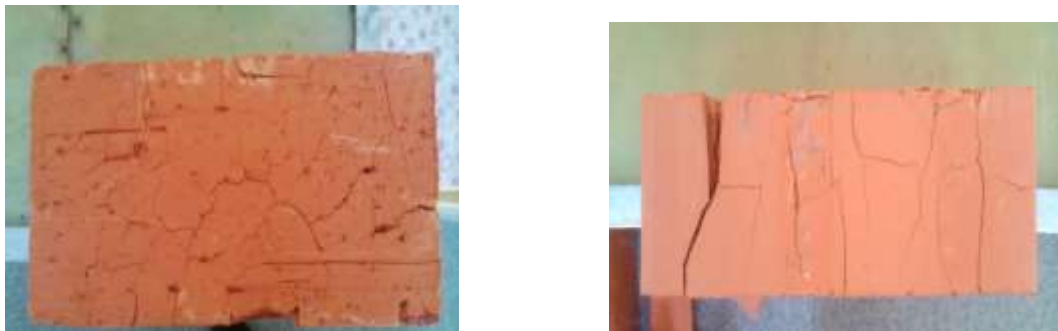


Рис. 3.4. Продольные и радиальные трещины при нарушении технологии обжига

Такие трещины образуются в результате сближения частиц, которое происходит вследствие удаления влаги из массы. В этот момент могут появиться еще и структурные трещины, которые являются следствием плохого перемешивания массы, недостаточного ее уплотнения после разрезки шнековым винтом и скобой в ленточном прессе. В этом случае сырец обладает повышенной чувствительностью к внешним воздействиям, так как он находится в напряженном состоянии, особенно, если сушка была слишком быстрой. Поэтому в большинстве случаев важно предупредить отформованные изделия от быстрого и одностороннего высыхания.

При медленной всесторонней сушке влага равномерно распределяется в толще массы. Это приводит к равномерному набуханию глины по всему изделию, а натяжение наружного и внутреннего слоев керамической массы выравнивается без растрескивания и разрывов.

Опасность возникновения усадочных трещин исчезает, если усадка практически заканчивается. Это наступает, когда количество испарившейся влаги достигает известного предела - критической влажности.

В образце материала относительно большой толщины влага во время сушки распределяется неравномерно, так как наружные слои изделий сохнут быстрее, чем внутренние. В начале сушки вследствие разности парциальных давлений водяных паров на поверхности материала и в окружающем воздухе влага с поверхности материала начинает испаряться, благодаря чему в его толще возникает перепад влагосодержаний.

Равновесное влагосодержание является тем минимальным влагосодержанием, до которого может быть высушен материал. Равновесное влагосодержание зависит от свойств самого материала и от температуры окружающей среды.

Пересушка материала до остаточной влажности более низкой, чем равновесная для цехового помещения, может также являться причиной брака. Описанный механизм образования трещин и деформаций в процессе сушки характерен для изделий пластического формования. При этом считается, что по достижению изделием влажности конца усадки его можно сушить практически с любой скоростью. В условиях промышленной сушки это положение в подавляющем большинстве случаев подтверждается.

Перечисленные ниже методы сушки керамических изделий, позволят повысить трещиностойкость, качество и конкурентноспособность выпускаемой продукции.

1. Паровое увлажнение глины, повышающее начальную температуру изделий и обуславливающее однозначность температурных и влажностных показателей. Паровое увлажнение глины сокращает длительность сушки отформованного изделия. Эффект парового увлажнения также предотвращает конденсацию влаги в начальный период сушки;

2. Прогрев глины в сушильном барабане перед формованием применяют для глин с высокой карьерной влажностью и влажностью выше формовочной;

3. Отошение глин крупнозернистыми добавками уменьшает величину коэффициента усадки и увеличивает коэффициент влагопроводности;

4. Добавка опилок - одно из наиболее эффективных средств повышения трещиностойкости кирпича-сырца в сушке. Благоприятное влияние опилок объясняется их армирующим действием, поскольку длина зерен опилок на несколько порядков больше глинистых частиц;

5. Добавка гипса в глину также повышает прочность сформованных изделий;

6. Вакуумирование глины обуславливает возрастание ее прочности и растяжимости, что дает возможность применять режимы, ускоряющие процесс сушки, хотя коэффициент влагопроводности уменьшается;

7. Орошение мундштука влагозадерживающими составами понижает коэффициент влагоотдачи, снижая тем самым величину перепадов влагосодержаний в толще изделия;

8. Накатка сырца уплотняет поверхностные слои изделия, тем самым уплотняет их, а также понижает коэффициент влагоотдачи, способствуя уменьшению перепадов влагосодержаний по толщине изделия;

9. Добавка высокопластичной глины улучшает сушильные свойства тощих пылевидных глин, повышая их прочность и растяжимость;

Сушат сырец в камерных сушилках периодического действия или туннельных сушилках непрерывного действия. Режимы сушки выбирают в соответствии с видом изделия. В качестве теплоносителя в сушилках применяют дымовые газы обжигательных печей, а также газы, получаемые в специальных топках. Длительность сушки сырца составляет от 1 до 3 суток, а для тонкостенных изделий сушку ведут несколько часов.

Обжиг изделий. Важнейшие физико-механические свойства керамических изделий: прочность, плотность, морозостойкость приобретаются в результате их обжига. Обжиг это важнейший и завершающий этап технологического процесса производства керамических изделий. В процессе обжига формируется структура керамических изделий, которая определяет главные технические свойства изделий из керамики. Процесс обжига можно условно разделить на три периода: досушка сырца, подогрев сырца, собственно обжиг и охлаждение. Процессы, происходящие в керамическом изделии, отражены в табл. 3.2.

Для обжига стеновой керамики в промышленности используют кольцевые или туннельные печи. Кольцевая печь состоит из замкнутого канала овальной формы с полуциркульным сводом размером по высоте 1,95-2,6 м, ширине 1,7-5 м и длине 50-200м. Печной канал кольцевой печи условно разделен на 12-36 камер, каждая камера имеет входной проем-ходок размером 1,2- 1,3 м. Камеры объединяются в группы - зоны, которые расположены в следующей последовательности: загрузка сырца, подогрев, непосредственно обжиг, охлаждение и выгрузка готовых изделий. В кольцевой печи очаг горения, как и другие зоны, непрерывно перемещаются по обжигательному каналу, тогда как обжигаемая продукция остается на месте.

Таблица 3.2

Пе-риод	Название периода и температура, °С	Температура обжига, °С	Процессы, происходящие в изделии
1	Досушка изделий 200	80-120	Досушка сырца до 200; интенсивное удаление воды затворения; гигроскопической воды (возможно растрескивание сырца);
		100-200	Равномерный прогрев полуфабриката;
2.	Подогрев изделий 700-800	300-450	Выгорание органических примесей;
		450-600°	Происходит удаление химически связанной воды, разрушение глинистых минералов, переход глины в аморфное состояние;
		500-550-650	Диссоциация минералов с выделением CO ₂ ; диссоциация сульфидов и сульфатов (восстановительная среда);
		700-800	Выгорание коксового остатка,
		700-950	Диссоциация карбонатов CaCO ₃ и MgCO ₃ , с повышением пористости изделий;
3.	Обжиг (взвар) изделий 900-1050	800-900	Осторожное повышение температуры в связи с началом упругих деформаций, что связано с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и нарастание прочности черепка;
		900-1050	Обжиг изделий; выдержка изделий 3-5 часов; легкоплавкие соединения керамической массы и минералы плавни создают некоторое количество расплава, который обволакивает не расплавившиеся частицы, стягивает их, происходит уменьшение линейных и объемных размеров изделия и его уплотнение, дальнейшее повышение температуры приводит к спеканию глиняной массы и образованию новых соединений: муллита, силлиманита;
4.	Охлаждение изделий	600-400	Возможность появления трещин вследствие полиморфных превращений кварца (573 °С) и перехода расплава из вязкого в твердое состояние;
		550-500	Медленное понижение температуры в зоне «закала» изделий для предотвращения внутренних напряжений и растрескивания изделий;
		40-50	Быстрое охлаждение;

В кольцевых печах обжигают кирпич и керамическую плитку. Температура обжига в печи составляет 900-1100 °С. Длительность всего цикла обжига составляет 3-4 суток.

Основным недостатком при обжиге изделий в кольцевых печах является неравномерное распределение температуры по сечению канала, что приводит к пережогу некоторого количества изделий, а также трудности механизации производственного процесса. Еще одним существенным недостатком кольцевых печей являются тяжелые условия труда работников цеха.

Обжиг изделий в туннельных печах обеспечивает более высокий съем кирпича с 1 м² печного канала, до 7 тыс. штук. Условия труда резко улучшаются, повышается культура производства и технико-экономические показатели. Туннельная печь - сквозной канал длиной до 100 м, в котором по рельсам движутся вагонетки с обжигаемыми изделиями.

Туннельная печь имеет те же зоны, что и в кольцевой печи. Совершаются те же операции: загрузка, подогрев, собственно обжиг, охлаждение и выгрузка изделий. В туннельной печи в отличие от кольцевой печи изделия передвигаются по рабочим зонам, а сами зоны остаются на месте.

Кирпич-сырец загружается на вагонетки с подом из огнеупорного кирпича, толкатель подает загруженную сырцом вагонетку в печь, тем самым с противоположного конца вагонетка выталкивает уже обожженные и охлажденные изделия.

Туннельные печи работают на газе или тонкомолотом угле. В туннельных печах легко механизировать процесс загрузки и выгрузки изделий, а также автоматизировать и регулировать процесс обжига и охлаждения кирпича. Весь процесс обжига в туннельных печах составляет 18-36 часов.

Туннельные печи значительно производительнее и экономичнее кольцевых печей¹.

¹ Попов Л. Н. Указ. соч. 527 с

Причины возникновения трещин и деформаций в изделии при обжиге

Обжиг является конечной и наиболее важной стадией изготовления кирпича. Его основные отличия от сушки – это наличие более высокой температуры и других, более жестких, условий выдержки. Именно в процессе обжига вероятность появления деформаций и нарушений в структуре особенно высока.

К основным деструктивным явлениям можно отнести удаление остаточной (после сушки) влаги, дегидратацию глинистых минералов, выделение летучих газообразных веществ, модифицированные превращения, термические напряжения на границах раздела отдельных фаз и термические напряжения вследствие неоднородного температурного поля в нагреваемом (охлаждаемом) изделии.

Сырец-полуфабрикат в виде сформованного изделия загружают в печь после сушки с некоторой остаточной влажностью. Форсированное испарение остаточной влаги, особенно характерное для скоростных режимов обжига, приводит к ситуации, когда скорость образования водяных паров опережает скорость их фильтрации через толщу обжигаемого тела. В этом случае внутри нагреваемого изделия возникает избыточное давление водяных паров, которое, достигнув критической величины, разрушает изделие с взрывным эффектом. Деструктивными явлениями по аналогичным причинам сопровождается также дегидратация глинистых минералов в интервале температур 500-750 °С, которую по влиянию на трещиностойкость изделий при обжиге делят на три периода, соответствующие степени дегидратации, %: 0-15; 15-80; 80-100. Наиболее опасен для возникновения в изделии предельных напряжений первый период, в котором допустимая скорость дегидратации должна быть в 1,5-2 раза ниже, чем во втором. Безопасная для целостности изделий длительность первого периода дегидратации в сильной степени зависит также от их толщины. В третьем периоде процесс дегидратации самопроизвольно замедляется и при принятых температурах обжига не достигает опасных пределов. При температуре 573 °С происходит полиморфное превращение кварца с объемными изменениями. Ему сопутствуют деструктивные явления, сопровождающиеся возникновением трещин в самих зернах кварца, однако этот деструктивный процесс, в стадии нагревания изделия имеет локальный характер и не приводит к деструкции

изделия в целом, так как в этот период тело изделия, будучи пористым, амортизирует локальные напряжения в зернах кварца. В последующий период нагревания образующаяся жидкая фаза – силикатный расплав заполняет разрывы в отдельных зернах, как бы «залечивая» их дефекты.

До начала образования и прогрессирующего накопления жидкой фазы тело обжигаемого изделия находится в упругом состоянии. Его нагрев сопровождается возникновением термических напряжений, сжимающих изделия на поверхности становятся растягивающими, а во внутреннем ядре – сжимающими. Восстановительная газовая среда резко интенсифицирует процессы спекания и снижает температуру их начала на 100-150 °С.

Во многих глинах в качестве примесей встречаются карбонаты кальция и магния. В некоторые керамические смеси их вводят в качестве добавки. Карбонат кальция интенсивно диссоциирует в керамических массах при температуре 900-950 °С, выделяя углекислый газ. Если в этот период керамическое тело является пористым и достаточно газопроницаемым, то диссоциация карбонатов увеличивает лишь пористость обожженных изделий, не вызывая каких-либо нарушений их целостности. Если же керамическое тело сильно уплотнено до начала интенсивного разложения карбоната, то выделяющийся углекислый газ может явиться причиной образования пузырей, вспучивания и других пороков в обжигаемых изделиях. Существующие в глине каменистые карбонатные включения в процессе обжига превращаются в кусочки извести, которые поглощая из воздуха водяные пары, гасятся, превращаясь в кусочки гидроксида кальция с четырехкратным увеличением в объеме. На поверхности изделия появляются рваные вздутия («дутики»), а иногда и полностью разрушается.

Органические вещества в глинах встречаются в виде примесей, а в производстве кирпича их вводят в качестве топливных добавок (уголь, кокс, мазут, древесные опилки). При выгорании органических веществ в керамических смесях можно различить несколько этапов. При температуре 350-400 °С происходит выделение летучих веществ и их сгорание. Коксовый остаток выгорает сравнительно медленно при более высоких температурах 700-800 °С.

Выгорание коксового остатка должно быть завершено в период, когда керамическое тело является пористым и газопроницаемым по всей толщине,

чтобы газы, образующиеся при выгорании коксового остатка, могли свободно удаляться из толщи керамического изделия. Если же процесс уплотнения периферийной оболочки изделия опережает процесс выгорания коксового остатка, то образующиеся газы, создавая повышенное давление внутри керамического тела, могут вызвать деформацию размягченного изделия, а прорывы газов в отдельных местах приведут к образованию трещин. Аналогичным образом действует и среда водяного пара.

При обжиге изделий стеновой керамики из легкоплавких глин восстановительная среда способствует разложению глинистых минералов и карбонатов, повышает активность освободившихся оксидов и создает благоприятные условия для протекания твердофазовых реакций. Появляющиеся в керамическом теле при восстановительном обжиге закись железа реагирует при низких температурах (600-700 °С) с Al_2O_3 и SiO_2 , образуя метастабильные соединения, которые при последующем обжиге в окислительной среде распадаются, освобождая Al_2O_3 и SiO_2 в высокоактивном состоянии, что способствует образованию повышенного количества стойких минералов анортита и муллита. Комбинированный обжиг при низких температурах в восстановительной, а при высокой температуре в окислительной среде повышает механическую прочность и морозостойкость изделий.

Напряженное состояние и сопутствующие ему деструктивные явления возникают также в процессе охлаждения уже обожженных изделий. На этой стадии особо опасны два температурных интервала. Первый из них 900-700 °С, при котором происходит отвердевание стекловидной фазы с переходом тела обожженного изделия из пиропластического состояния в хрупкое. Второй интервал 600-550 °С, которому соответствуют модификационные превращения кристаллического кварца. Быстрое охлаждение в этом интервале температур приводит к разрыхлению керамического тела, нарушению его монолитности вследствие образования многочисленных коротких волосных трещин – посечек, невидимых невооруженным глазом; изделие при ударе издает глухой звук.

Пути решения проблемы возникновения трещин

Весь процесс обжига делят на три периода: нагрев до конечной температуры обжига, выдержка при этой температуре и остывание. Для каждого из этих периодов устанавливают определенный режим. Более того, весь период нагрева, а также и охлаждения, необходимо подразделять на отдельные этапы соответственно рассмотренным деструктивным процессам и для каждого назначать локальные температурные режимы скорости нагрева и охлаждения изделий, исключающие возникновение в изделии предельных напряжений, обусловленных деструктивными процессами.

При выборе режимов обжига необходимо принимать во внимание следующие общие положения:

Начальный участок температурной кривой следует замедлять по мере возрастания влажности сырца, поступающего в обжиг. Давление водяных паров внутри нагреваемого изделия достигает значительных величин уже при температуре 70 °С (а не 100-110 °С как это обычно полагают) и прогрессирующе возрастает с увеличением температуры.

Поэтому если скорость парообразования внутри материала будет опережать скорость фильтрации паров через его толщину, то возникающее при этом давление водяных паров внутри материала может привести к появлению трещин и отслаиваний («лопанцев»). Опасным в этом отношении следует считать участок температурной кривой до 200 °С, так как удаление физически связанной воды может повлечь аналогичные последствия.

Выгорание органических компонентов сырьевой смеси, а также диссоциация карбонатов и других соединений, выделяющих летучие газы, должны заканчиваться до начала интенсивного спекания керамического тела во избежание его вспучивания и разрывов.

Скорость подъема температуры в период интенсивной усадки для сырьевых смесей должно подбираться с таким расчетом, чтобы возникающие в этот период разрушающие напряжения не приводили к появлению трещин в обжигаемом изделии. При дальнейшем нагревании скорость нагрева не должна вызывать большого дебаланса в интенсивностях внешнего и внутреннего теплообмена.

При значительном превышении интенсивности внешнего теплообмена над внутренним, возможно оплавление поверхности изделий. Конечная температура обжига назначается по результатам испытаний физико-технических свойств образцов.

При охлаждении изделий необходимо замедлять процесс при температурах перехода материала из пиропластического состояния в хрупкое. И при температурах модификационного превращения кварца (573 °С) вызывающего общее разрыхление обожженного керамического тела и появления на изделии прямых коротких тонких трещин («холодный треск»).

При назначении газового режима для обжига изделий из легкоплавких и тугоплавких глин необходимо до полного выгорания топливных добавок и диссоциации карбонатов и других солей поддерживать сильноокислительную среду, а в конечный период обжига – восстановительную среду для обеспечения более полного спекания и следовательно, упрочнения изделия.

При назначении температурного режима обжига следует учитывать еще и влияние неравномерности обжига изделий, уложенных в печи штабелем. Обжиг единичного изделия (физический срок обжига) может быть осуществлен в несколько раз быстрее, чем обжиг штабеля таких же изделий.

Соблюдение всех технологических требований при изготовлении керамического кирпича поможет избежать возникновению трещин как внутренних, так и внешних, что неизменно позволит технологам выпускать керамический кирпич высокого качества.

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

По степени обжига они могут быть разделены на изделия нормального обжига, недожог и пережог. Сортность изделий устанавливают по внешнему виду, форме, размерам и наличию дефектов в соответствии с требованиями ГОСТа¹.

3.6. Свойства керамических изделий

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

Пористость керамического черепка составляет от 10-30 %, она возрастает при введении в керамическую массу порообразующих добавок (опилки, угольная мелочь). Для снижения плотности и теплопроводности прибегают к созданию технологических пустот в кирпиче и камнях.

Водопоглощение характеризует пористость керамического черепка. Пористые керамические изделия имеют водопоглощение от 6 % до 20 % по массе и 12-40 % по объему. Водопоглощение плотной керамики значительно меньше и составляет в среднем 1-5 % по массе и 2-10 % по объему.

Теплопроводность абсолютно плотного керамического черепка сравнительно высокая 1,1 Вт/м °С. Воздушные поры и пустоты, искусственно создаваемые в керамических изделиях снижают среднюю плотность и и заметно снижают теплопроводность изделий, что позволяет уменьшить толщину наружной стены и материалоемкость ограждающих конструкций.

Прочность керамического черепка зависит от его фазового состава, пористости и наличия трещин в изделии. Марка стенового керамического изделия устанавливается по пределам прочности на сжатие и изгиб, так как кирпич в кладке подвергается изгибу.

Морозостойкость. Марка по морозостойкости обозначает число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживает керамическое изделие в насыщенном водой состоянии без признаков разрушения и значительного снижения прочности.

Керамический материал относится к морозостойким материалам, поскольку в нем объем резервных пор достаточен для компенсации прироста объема замерзающей воды в опасных порах. К резервным порам относят открытые поры, в которых капиллярное давление недостаточно для удержания воды, а также закрытые поры.

Паропроницаемость стеновых керамических материалов способствует вентиляции помещений. Паропроницаемость зависит пористости и характера пор. Основные технические свойства керамических изделий указаны в табл. 3.3¹.

¹ Мороз И.И. Указ. соч. 384 с.

Таблица 3.3

Основные технические свойства керамических материалов

Наименование показателя	Рядовой кирпич	Лицевой кирпич	Дорожный кирпич
Размеры:			
длина, мм	250	250	220
ширина, мм	120	120	110
толщина, мм	65	65	65
Плотность, кг/м ³ не менее	1400	1800	2500
Прочность, кгс/м ²	75-300	100	500
Морозостойкость, цикл не менее	25	25	50
Водопоглощение, % не менее	6	от 6 до 14	2-4

3.7. Стеновые керамические материалы и изделия

Среди большой группы стеновых материалов керамический кирпич является одним из самых востребованных отделочных и конструктивных материалов с высокими архитектурно-декоративными свойствами. Прочность, долговечность, цветоустойчивость, высокие гигиенические и эстетические качества кирпича, доступность глинистого сырья позволили ему стать одним из самых распространенных среди стеновых материалов.

Основные требования к керамическому кирпичу изложены в ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические» (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Керамический кирпич рядовой

Кирпич нормального формата (одинарный), изделие с номинальными размерами 250x120x65 мм. Основные размеры кирпича указаны в (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Номинальные размеры кирпича, мм					
Вид изделия	Обозначение вида	Номинальный размер			Обозначение размера
		длина	ширина	толщина	
Кирпич рядовой	КР	250	120	65	1НФ

Кирпич – керамическое штучное изделие, предназначенное для устройства кирпичной кладки.

Кирпич полнотелый – кирпич, в котором отсутствуют пустоты.

Кирпич пустотелый – кирпич, имеющий пустоты различной формы и размеров.

Кирпич лицевой – изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки и выполняющее функции декоративного материала.

Кирпич рядовой – изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки.

Постель – рабочая грань изделия, расположенная параллельно основанию кладки (рис. 3.6).

Ложок – наибольшая грань изделия, расположенная перпендикулярно к постели (рис. 3.6)

Тычок – наименьшая грань изделия, расположенная перпендикулярно к постели (рис. 3.6).

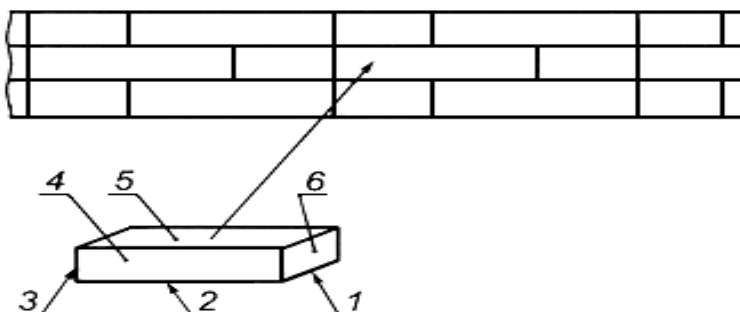


Рис. 3.6. Фрагмент кладки:

1 – ширина; 2 – длина; 3 – толщина; 4 – ложок; 5 – постель; 6 – тычок

Трещина – разрыв изделия без разрушения его на части, шириной раскрытия более 0,5 мм. Сквозная трещина – трещина, проходящая через всю толщину изделия и протяженностью более половины ширины изделия. Отбитость - механическое повреждение грани, ребра, угла изделия.

Выкрашивание – осыпание фрагментов поверхности изделия.

Растрескивание – появление или увеличение размера трещины после воздействия знакопеременных температур.

Половняк – две части изделия, образовавшиеся при его раскалывании. Изделия, имеющие сквозные трещины, относят к половняку.

Высолы – водорастворимые соли, выходящие на поверхности обожженного изделия при контакте с влагой. Черная сердцевина – участок внутри изделия, обусловленный образованием в процессе обжига изделия оксида железа.

Классификация, размеры и условные обозначения керамического кирпича: керамические стеновые изделия подразделяют на рядовые и лицевые, кирпич изготавливают полнотелым и пустотелым. По морозостойкости кирпич подразделяют на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300. По показателю средней плотности кирпич подразделяют на классы 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4 (табл. 3.5). По теплотехническим характеристикам кирпич в зависимости от класса средней плотности подразделяют на группы в соответствии с табл. 3.5.

Таблица 3.5

Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Класс средней плотности кирпича	Группа изделий
0,7; 0,8	Высокой эффективности
1,0	Повышенной эффективности
1,2	Эффективные
1,4	Условно-эффективные
2,0; 2,4	Малоэффективные (обыкновенные)

По прочности керамический кирпич подразделяют на марки M75, M100, M125, M150, M175, M200, M250, M300 в соответствии с табл. 3.6.¹

¹ ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические». Общие технические условия. - М. : Стандартиформ, 2013. - 34 с.

**Пределы прочности изделий при сжатии
и изгибе керамического кирпича**

Марк а изде- лия	Предел прочности при сжатии изделий. МПа		Предел прочности при изгибе, МПа					
			Полнотелого кирпича		Пустотелого кирпича формата менее 1,4НФ		Пустотелого кирпича формата 1,4НФ	
	Сред- ний для пяти образ- цов	Наимень- ший для отдельно го образца	Сред- ний для пяти образ- цов	Наимень- ший для отдель- ного образца	Сред- ний для пяти образ- цов	Наимень- ший для отдель- ного образца	Сред- ний для пяти образ- цов	Наиме- нь ший для отдель- ного образц а
М300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
М250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
М200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
М175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
М150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
М125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
М100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7
М75	7,5	5,0	—	—	—	—	—	—

Для уменьшения массы и толщины наружных стен взамен рядового кирпича широко применяют эффективные керамические материалы, которые характеризуются меньшей плотностью, более низкой теплопроводностью, чем рядовой кирпич, но обладают достаточной прочностью.

К эффективным стеновым керамическим материалам относят пустотелые керамические кирпич и камни. Они имеют форму прямоугольного параллелепипеда с ровными гранями на лицевых поверхностях. Пустоты в кирпиче и камнях должны располагаться перпендикулярно или параллельно постели и могут быть сквозными или

несквозными. Диаметр цилиндрических сквозных пустот не более 16 мм, ширина щелевидных пустот не более 12 мм. Толщина наружных стенок кирпича и камней должна быть не менее 12 мм. Водопоглощение пустотелых изделий не менее 6%. По прочности кирпич и камни подразделяют на марки: 300, 250, 200, 175, 150, 125, 100, 75, а по морозостойкости на марки: F25, F35, и F50.

Пустотелый кирпич применяют для кладки наружных и внутренних стен зданий и для заполнения стен каркасных зданий. Не разрешается использовать этот кирпич для кладки стен зданий бань, прачечных и т. п. Из пустотелых камней возводят несущие стены и перегородки, стены каркасных зданий, изготавливают кирпичные панели. Применяя пустотелые керамические камни, удается снизить толщину и массу стен, снизить трудоемкость кладки и ее стоимость.

К эффективным керамическим материалам относят также сплошные и пустотелые кирпичи и камни, которые изготавливают из смеси глины и диатомитов или трепелов путем пластического или полусухого формования и последующего обжига. Плотность их от 700 до 1500 кг/м³. Кирпич и камни выпускают пяти марок: 200, 150, 125, 100 и 75. Применяют их для кладки наружных и внутренних стен зданий и сооружений.

Стеновые кирпичные панели представляют собой индустриальные изделия заданных размеров, в которых отдельные кирпичи или керамические камни сцементированы в монолит цементно-песчаным раствором. По назначению различают панели для наружных и внутренних стен, а также специальные панели (цокольные, вентиляционные).

Кирпичные панели наружных стен изготавливают двухслойными и однослойными толщиной 260 мм. Панели внутренних несущих стен выполняют однослойными из обыкновенного кирпича, их армируют металлическими каркасами. Общая толщина панелей 140 мм, включая толщину кирпича 120 мм и два слоя раствора с каждой стороны по 10 мм.

Технологический процесс изготовления кирпичных панелей состоит из следующих основных операций: приготовления цементно-песчаного раствора, изготовления арматурного каркаса, формования панели, ее тепловлажностной обработки и отделки.

Готовые панели хранят на открытых складах в вертикальном положении, в таком же положении их транспортируют панелевозами на строительную площадку.

Основные преимущества применения кирпичных панелей по сравнению с кладкой стен из штучного кирпича или керамических камней - возможность изготовления крупногабаритных элементов в заводских условиях, монтаж их на строительной площадке при помощи современных средств механизации, а также возможность значительной экономии стеновых материалов.

3.8. Керамические облицовочные материалы

Керамические материалы для облицовки фасадных поверхностей, внутренних стен и полов зданий могут быть с лицевой поверхностью натурального цвета, окрашенной в различные цвета, гладкой, рельефной, глазурированной. Поверхности, облицованные керамическими материалами, отличаются высокими декоративными свойствами, они долговечны, относительно экономичны.

Материалы для облицовки фасадов зданий. Для облицовки фасадов зданий применяют лицевые кирпич и камни, фасадные малогабаритные плитки и ковровую керамику.

Лицевые кирпич и камни характеризуются правильной формой, четкими гранями и однородностью окраски. Лицевая поверхность их может быть гладкой, рельефной и фактурной. Цвет лицевого кирпича и камней изменяется от темно-красного до кремового. Материалы кремового цвета изготавливают из светложгущихся глин, в настоящее время они наиболее распространены. Кирпич и камни выполняют полнотелыми и пустотелыми. Технология их аналогична технологии керамического кирпича, изготавливаемого пластическим или полусухим способом.

Выпускают также кирпич и камни с различной фактурной поверхностью -зернистой, бороздчатой . Фактурный слой из беложгущихся глин наносят на две взаимно перпендикулярные поверхности изделий в процессе их формования.

Лицевые кирпич и камни в зависимости от формы и назначения разделяют на рядовые и профильные. Рядовые используют для гладкой части стен, а профильные - для карнизов, тяг, поясов.

Лицевые кирпич и камни применяют для кладки наружных рядов фасадов зданий и внутренних стен помещений различного назначения, лестничных клеток, переходов. Их укладывают одновременно с обыкновенным кирпичом или камнем, где они воспринимают одинаковую нагрузку. Такой способ облицовки обеспечивает надежное ее крепление, повышает долговечность и снижает трудоемкость и стоимость отделки зданий.

Керамические фасадные плитки изготавливают способом полусухого прессования. Основной размер фасадных плиток 250x140x10 мм, цокольных-150x75x7 мм.

Лицевая поверхность фасадных плиток может быть гладкой и фактурной, неглазурованной и глазурованной, окрашенной в различные цвета. На тыльной их стороне имеются углубления для лучшего сцепления с цементным раствором. Водопоглощение фасадных плиток 2 - 8 %, морозостойкость не менее 35 циклов. Фасадные плитки используют как изделия пристенного крепления для наружной облицовки плоскостей готовых стен так и отделки отдельных архитектурных элементов.

Материалы для внутренней облицовки стен. Для придания отдельным помещениям жилых, общественных и промышленных зданий санитарно-гигиенических и художественно-декоративных качеств, а также для защиты конструкций от действия влаги и огня стены облицовывают керамическими плитками. Для облицовки стен служат глазурованные облицовочные (фаянсовые), а также коврово-мозаичные плитки.

Глазурованные облицовочные (фаянсовые) плитки изготавливают способом полусухого прессования на прессах-автоматах из огнеупорных глин с добавкой кварцевого песка и плавней. После сушки плитки глазуруют и обжигают. Плитки имеют пористый черепок белого или желтоватого цвета. Покрытие лицевой поверхности белой или цветной глазурью улучшает внешний вид плиток, придает им водонепроницаемость и стойкость против воздействия слабых растворов щелочей и кислот. Лицевая поверхность

плиток может быть плоской, рельефной, офактуренной с многоцветным рисунком. Тыльная сторона плиток должна быть рифленой.

Плитки для внутренней облицовки выпускают различной формы - квадратные, прямоугольные и фасонные. Размер квадратных плиток 150x150 мм, прямоугольных- 150x100мм и 150x75 мм, толщина их равна 4-6 мм.

К качеству плиток для внутренней облицовки стен предъявляют высокие требования. Плитки должны иметь правильную геометрическую форму, четкие грани и углы, гладкую и ровную поверхность, глазурованную без выпуклостей, выбоин, трещин, недоливов, натеков и пузырьков. Плитки должны быть термически стойкими, водопоглощение их не должно превышать 16 %.

Плитки сортируют по типам, сортам, размерам, цвету и хранят в закрытых помещениях.

Коврово-мозаичные облицовочные плитки изготавливают методом литья. По ленте конвейера движутся керамические пористые подставки (формы), в которые поочередно заливаются три слоя шликера: разделительный, основной и глазурный. Пористые подставки впитывают воду из шликера. Окрепшую массу разрезают на плитки заданной величины роликовыми ножами, затем сушат и обжигают в совмещенной щелевой печи-сушилке.

Коврово-мозаичные литые плитки выпускают 20 типоразмеров: квадратные со сторонами 25, 35, 50, 75, 100 и 125 мм и прямоугольные 25x100 мм, толщина их 2,5 мм. Их лицевая поверхность различных цвета и фактуры.

Наборные ковры из плиток применяют для облицовки панелей одновременно с их изготовлением, а также для отделки интерьера.

Керамические плитки для полов изготавливают из глиняной массы с отощающими добавками и окрашивающими примесями или без них путем прессования и последующего обжига до спекания. Полы из керамических плиток водонепроницаемы, хорошо сопротивляются истирающим усилиям, легко моются, долговечны, кислото- и щелочестойки. Недостатками полов из керамических плиток являются большая теплоусваиваемость, низкая сопротивляемость ударам и высокая трудоемкость настила.

Полы из керамических плиток устраивают в вестибюлях общественных зданий, в банях, прачечных, санитарных узлах, производственных помещениях.

Керамические плитки для полов выпускают двух видов: керамические крупные плитки и мозаичные плитки. Керамические крупные плитки по форме бывают квадратные, прямоугольные, треугольные, шестигранные, четырехгранные, пятигранные и восьмигранные. Размер плиток (длина граней) 50-150мм, толщина 10-13 мм. По виду лицевой поверхности различают плитки гладкие, шероховатые и тисненные. Тыльную сторону плиток делают рифленой. Плитки бывают одноцветные и многоцветные. Водопоглощение плиток не должно превышать 4 %, а потеря в массе при истирании должна быть не более 0,1 - 0,25 г/см². При устройстве пола плитки крепят к основанию цементным раствором или битумными мастиками¹.

3.9. Керамические материалы и изделия специального назначения

Глиняная черепица представляет собой кровельный материал, получаемый из легкоплавких глин путем формования сырца, сушки его и последующего обжига. В настоящее время керамические заводы выпускают черепицу нескольких видов: пазовую штампованную, пазовую ленточную, плоскую ленточную и коньковую.

Черепица как кровельный материал прочна, долговечна и огнестойка. Кровля из нее не требует частых ремонтов. Недостатки черепичной кровли - большая масса, необходимость устройства значительных уклонов для стока воды, а также большая трудоемкость возведения. Черепицу применяют обычно в малоэтажном строительстве.

Канализационные и дренажные трубы. Канализационные трубы изготавливают из огнеупорных или тугоплавких глин. Формуют трубы вместе с раструбом на трубных прессах. После сушки на внутреннюю и наружную поверхности труб наносят глазурь и обжигают. Наличие тонкого слоя глазури предопределяет водонепроницаемость и высокую стойкость труб к

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

воздействию кислот и щелочей. Канализационные трубы выпускают внутренним диаметром 150-600мм и длиной 800-1200 мм. Высокая химическая стойкость керамических труб позволяет широко применять их для отвода промышленных вод, содержащих щелочи и кислоты.

Дренажные трубы - керамические неглазурованные изделия с гладкой поверхностью и сквозными канавками или прорезями для повышения водопроницаемости. Длина их до 500мм, внутренний диаметр 25-250 мм. Трубы должны иметь правильную цилиндрическую форму, гладкую внутреннюю поверхность, обладать достаточной механической прочностью. Сырьем для их производства служат легкоплавкие глины и суглинки. Дренажные трубы используют для осушения заболоченных земель, а также для понижения уровня грунтовых вод.

Кислотоупорные изделия в отличие от обычных керамических изделий имеют черепок повышенной плотности, а также высокие механическую прочность и термостойкость. Они способны выдерживать длительное воздействие концентрированных кислот и щелочей. К этой группе керамических изделий относят кислотоупорный кирпич, кислотоупорные и термокислотоупорные плитки и кислотоупорные трубы.

Кислотоупорный кирпич изготовляют в виде прямоугольного параллелепипеда размером 230x113x65 мм и клиновидным. Применяют его для кладки фундаментов химических аппаратов, футеровки аппаратов и газоходов, настила полов и сточных желобов предприятий химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Кислотоупорные плитки употребляют для футеровки аппаратов, газоходов и сточных желобов, для устройства полов в цехах с агрессивными средами, а термокислотоупорные, кроме того, для футеровки варочных котлов.

Кислотоупорные трубы имеют плотный спекшийся черепок; наружную и внутреннюю стороны труб покрывают кислотостойкой глазурью. Применяют их на предприятиях химической промышленности.

Санитарно-технические изделия. К санитарно-техническим изделиям относят раковины, умывальники, унитазы, смывные бачки, которые изготовляют в основном из беложгущихся фаянсовых или полуфарфоровых масс. В состав которых входят каолин, огнеупорная глина, кварц, шамот. Формуют изделия методом литья в гипсовых формах. После извлечения из

форм изделия сушат, глазуруют и обжигают. Санитарно-технические изделия должны иметь правильную форму, ровную, гладкую и чистую поверхность, равномерно покрытую глазурью. Их применяют для оборудования кухонь, санитарных узлов и специальных помещений.

Пористые керамические заполнители. Основными видами искусственных пористых керамических заполнителей для легких бетонов являются керамзит и аглопорит.

Керамзит - легкий пористый материал ячеистого строения в виде гравия, реже в виде щебня, получаемый при обжиге глинистых легкоплавких пород, способных вспучиваться при быстром нагревании до 1050-1300⁰С. Вспучивающими агентами являются газы, которые выделяются при разложении различных веществ, содержащихся в исходном сырье. Вспучиваемость глинистого сырья можно повысить добавлением в сырьевую шихту тонкомолотого угля, опилок, рыхлой железной руды, пиритовых огарков и др.

Процесс изготовления керамзита состоит из следующих основных операций: добычи глинистого сырья, его складирования и доставки к месту производства; переработки сырья и приготовления исходного полуфабриката в виде гранул, обжига гранул; охлаждения керамзита; сортировки и (при необходимости) дробления заполнителя; складирования и выдачи готового продукта. В качестве формующих машин для изготовления гранул используют дырчатые вальцы и барабанные грануляторы, а также ленточные прессы, у которых выходное отверстие мундштука перекрыто перфорированной перегородкой и имеется специальное устройство для резки выходящих жгутов. Подсушивают сырец в сушильном барабане. Обжигают керамзит в большинстве случаев во вращающихся печах длиной 12-40 и диаметром 1,2-2,5 м. Длительность обжига керамзита во вращающейся печи 25-45 мин.

Качество керамзитового гравия характеризуется размером его зерен, плотностью и прочностью. В зависимости от размера зерен керамзитовый гравий делят на следующие фракции: 5-10, 10-20 и 20-40 мм. Зерна менее 5 мм относят к керамзитовому песку. В зависимости от насыпной плотности гравий делят на марки 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800. Предел прочности при сжатии керамзитового гравия в зависимости от

его марки 0,3 - 5,5 МПа. Водопоглощение керамзитового гравия 15 – 25 %, морозостойкость должна быть не менее 15 циклов. Керамзит применяют также в качестве теплоизоляционного материала (в виде засыпок).

Аглопорит представляет собой пористый кусковой материал, получаемый спеканием (агломерацией) гранул из смеси глинистого сырья с углем. Спекание гранул происходит за счет сгорания угля, содержащегося в сырьевой шихте. Одновременно с выгоранием угля вся масса частично вспучивается. При изготовлении аглопорита влажное глинистое сырье смешивают с молотым углем, гранулируют и подают в агломерационную установку. Продолжительность агломерации 25 - 45 мин. Пористую легкую глыбу аглопорита после охлаждения дробят на щебень с последующей сортировкой на фракции.

Насыпная плотность аглопоритового щебня 300 - 1000 кг/м³, прочность 0,3-3 МПа. Содержание в аглопорите несгоревшего угля обычно не превышает 3 %, что вполне допустимо для применения его в качестве заполнителя для легких бетонов¹.

Вопросы для самоподготовки

1. Стеновые материалы. Классификация, основные требования к ним
2. Керамические материалы. Классификация, виды керамических стеновых материалов.
3. Перечислите основные сырьевые материалы для строительной керамики.
4. Назовите основные свойства глин.
5. Какие физико-химические процессы происходят при сушке и обжиге глины?
6. Кратко опишите производство керамического кирпича методом пластического формования?
7. Причины появления трещин и деформаций при производстве керамического кирпича?
8. Требования к стеновым керамическим материалам.
9. Керамические изделия специального назначения
10. Пористые керамические заполнители. Свойства, технология получения.

¹ Горчаков Г. И. Баженов Ю. М. Указ. соч. 688 с.

4. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

4.1. Классификация минеральных вяжущих веществ

Минеральными вяжущими веществами называют искусственно получаемые порошкообразные тонкодисперсные материалы, которые при затворении водой или водными растворами некоторых солей образуют пластичное тесто, способное в результате физико-химических процессов затвердевать, то есть переходить в камневидное состояние. Это свойство минеральных вяжущих веществ позволяет широко использовать их для приготовления бетонов, строительных растворов, а также для производства безобжиговых искусственных каменных материалов, изделий и деталей, клеящих и красочных составов¹.

Минеральные вяжущие вещества по характеру твердения подразделяют на воздушные вяжущие вещества, гидравлические вяжущие и вяжущие автоклавного твердения.

Воздушные вяжущие это вещества, которые способны твердеть, длительное время сохранять и повышать свою прочность только на воздухе. К воздушным вяжущим веществам относятся воздушная строительная известь, гипсовые вяжущие вещества, магнезиальные вяжущие и жидкое стекло.

Гидравлические вяжущие - вещества, которые способны твердеть, длительное время сохранять и повышать свою прочность не только на воздухе, но и в воде. К гидравлическим вяжущим веществам относятся гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности глиноземистый цемент, водонепроницаемые расширяющиеся и безусадочные цементы и другие виды.

Вяжущие автоклавного твердения это вещества, способные твердеть лишь при автоклавной обработке при давлении насыщенного водяного пара 0,9–1,3 Мпа и температуре 180–200 °С. В эту группу входят известково – кремнеземистые, известково – шлаковые вяжущие вещества.

¹ Комар А.Г. Строительные материалы : учебник для инж. спец. строит. вузов. – М. : Высш.шк.,1988. – 527 с.

4.2. Строительная воздушная известь

Строительная воздушная известь представляет собой вяжущее вещество, получаемое умеренным обжигом (не до спекания) известняков, содержащих не более 6 % глинистых примесей. Основной составляющей известняка является карбонат кальция (CaCO_3). В результате обжига известняка до возможно полного удаления CO_2 , образуется продукт в виде кусков белого цвета, называемый негашеной комовой известью CaO (кипелкой). В зависимости от характера и последующей обработки различают следующие виды воздушной извести: негашеная молотая, гашеная гидратная (пушонка), известковое тесто, известковое молоко.

Производство воздушной извести. В качестве сырья для производства воздушной комовой извести используют известняки, мел, доломитизированные известняки, состоящие в основном из углекислого кальция CaCO_3 , а также небольшого количества примесей – доломита, гипса, кварца и глины.

Технологический процесс производства воздушной извести состоит из добычи в карьере карбонатной породы (известняки, мел, доломиты), дробления и сортировки. Обжиг осуществляют в шахтных печах. Известняк в печь поступает в виде кусков 5–20 см, обжиг осуществляется за счет горения топлива. Когда температура в печи повышается до 900–1200 °С происходит разложение (диссоциация) известняка (CaCO_3) с выделением углекислого газа до 44%, поэтому комовая негашеная известь CaO получается в виде пористых кусков, активно взаимодействующих с водой.



Присутствующий в известняках оксид магния (MgCO_3) в процессе обжига также разлагается:



Комовую известь высокого качества можно получить при равномерном обжиге известняка до возможно полного удаления из него CO_2 . Оставшиеся после обжига оксиды кальция и магния ($\text{CaO} + \text{MgO}$) являются активными составляющими извести, их количество определяет качество полученного

материала как вяжущего вещества. В комовой извести обычно содержится некоторое количество недожога и пережога.

Недожог (неразложившиеся куски CaCO_3) получается при загрузке в печь слишком больших кусков извести или недостаточно высокой температуры обжига, недожог не обладает вяжущими свойствами и является балластом (снижая качество).

Пережог получается в результате оплавления оксида кальция (CaO) примесями кремнезема (SiO_2), глинозема (Al_2O_3) под действием слишком высокой температуры. Зерна пережога гасятся очень медленно. Наличие пережога в извести опасно тем, что зерна могут начать гаситься в затвердевшем растворе и вызывать трещины в штукатурке, силикатных изделиях.

Негашеная комовая известь CaO (кипелка) состоит из мелкопористых кусков размером 5–10 см, плотностью 900–1100 кг/м³ и является полупродуктом (рис. 4.1).

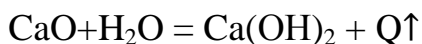
Для применения в строительстве ее необходимо измельчить. Существует два основных способа измельчения комовой извести CaO : механический (помол) и химический (гашение). При помолу из кусков дробленной извести – кипелки (CaO) получают негашеную молотую известь (молотая кипелка), которая способна быстро схватываться и твердеть. Помол осуществляют в шаровых мельницах, где мелющими телами являются стальные шары.



Рис. 4.1. Комовая негашеная известь

В процессе помола комовой извести – кипелки можно вводить различные добавки в количестве 10-20 % от массы извести: шлаки, золы, песок, известняк, которые улучшают ее свойства и снижают стоимость. Молотую негашеную известь используют для приготовления строительных растворов, используемых в зимнее время. Молотую негашеную известь используют сразу после помола, так как вследствие поглощения влаги из воздуха она теряет свои вяжущие свойства.

Гашение извести это взаимодействие комовой извести CaO с водой со значительным выделением тепла и интенсивным парообразованием. Выделяющаяся при гашении теплота повышает температуру извести и воды, которая может закипеть (поэтому негашеную комовую известь обычно называют кипелкой). При обработке негашеной комовой извести водой оксид кальция CaO превращается в гидрат кальция Ca(OH)₂ по реакции:



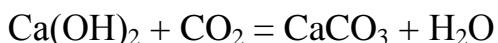
В зависимости от количества воды, взятой при гашении, получают гидратную известь (пушонку), известковое тесто или известковое молоко.

Гидратную известь (пушонку) получают в том случае, когда для гашения комовой извести (CaO) берут 60–70 % воды. При этом 32 % воды участвует в химической реакции, а остальная вода испаряется в процессе гашения. В результате гашения объем полученной извести увеличивается в 2–3 раза по сравнению с исходным количеством извести. Получившаяся гидратная известь (пушонка) представляет собой белый порошок, состоящий из тончайших частиц гидроксида кальция (Ca(OH)₂), плотностью 400–450 кг/м³. Для гашения извести применяют известегасильные барабаны или лопастные гидраторы.

Известковое тесто представляет собой пластичную массу белого цвета плотностью до 1400 кг/м³. При гашении извести – кипелки в известковое тесто расход воды увеличивают до 2-3 частей по массе на одну часть извести. Используя большее количество воды, получают известковое молоко. В зависимости от времени гашения комовую известь разделяют на быстрогасящуюся со сроком гашения до 8мин, среднегасящуюся – ее время гашения не превышает 25 мин и медленногасящуюся со временем гашения не

менее 25 мин. Чем выше активность извести, тем быстрее происходит ее гашение и тем больше выход известкового теста.

Твердение извести. Известь применяют в строительстве в виде строительного раствора, то есть в смеси с песком. На воздухе известковый раствор постепенно затвердевает, превращаясь в искусственный камень под влиянием двух одновременно протекающих процессов. В результате испарения из известкового раствора избытка влаги мельчайшие частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сближаются между собой, кристаллизуются, а затем образуют прочные кристаллические сростки, которые связывают зерна песка в монолитное целое. Наряду с этим вследствие взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом воздуха происходит процесс карбонизации с выделением воды:



В результате этой реакции образуется карбонат кальция (CaCO_3) обладающий высокой прочностью. Процесс карбонизации происходит очень медленно, так как на поверхности слоя известкового раствора образуется плотная корка из оксида кальция, затрудняющая его проникание внутрь, этим объясняется исключительно медленное нарастание прочности известковых растворов. Например через 28 суток воздушного твердения они имеют предел прочности при сжатии: на гашеной извести 0,4...1 Мпа, на молотой негашеной до 5 Мпа.

Области применения, транспортирование и хранение извести. Воздушную известь используют для приготовления известково-песчаных и смешанных строительных растворов, применяемых для каменной кладки и штукатурки, в производстве силикатных изделий, а также в качестве связующего вещества для малярных красочных составов. Кроме того, воздушную известь молотую и пушонку используют при производстве известково – пуццолановых и известково – шлаковых цементов, которые обладают гидравлическими свойствами.

Растворы и изделия, изготовленные на воздушной извести, не применяют во влажных помещениях и кладке фундаментов, так как они не водостойки. Штукатурные растворы на молотой негашеной извести

рекомендуется использовать как при положительной, так и при отрицательной температуре наружного воздуха. Во время приготовления и нанесения раствора выделяется большое количество теплоты, излишки влаги испаряются, а сам раствор быстро набирает прочность.

Негашеную комовую известь перевозят навалом в железнодорожных вагонах или автосамосвалах, закрывая кузова брезентом для защиты извести от увлажнения. Тарой для перевозки извести пушонки и молотой извести служат плотно закрывающиеся металлические контейнеры и бумажные битуминизированные мешки. Известковое тесто перевозят в автосамосвалах со специально приспособленными кузовами, а известковое молоко— в автоцистернах.

При транспортировании, хранении и применении воздушной извести необходимо соблюдать меры предосторожности, так как известковая пыль раздражающе действует на органы дыхания и влажную кожу¹.

4.3. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества это воздушные вяжущие, состоящие из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидрита CaSO_4 и получаемые путем тепловой обработки тонко измельченного исходного сырья и последующим помолом. Сырьем для производства гипсовых вяжущих веществ, служит природный гипсовый камень (рис. 4.2), состоящий из минерала гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, природный ангидрит CaSO_4 и некоторые отходы промышленности: фосфогипс и борогипс.

Гипсовые вяжущие вещества в зависимости от температуры обработки сырья подразделяют на две группы: на низкообжиговые и высокообжиговые.

Низкообжиговые гипсовые вяжущие получают тепловой обработкой природного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при низких температурах (110–180 °С). Они состоят главным образом из тонкоизмельченного полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и характеризуются быстрым твердением.

¹ Комар А.Г. Указ соч. 527 с.



Рис. 4.2. Природный гипсовый камень

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

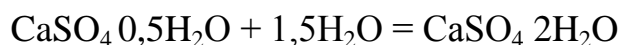
Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества изготавливают путем обжига гипсового камня при высоких температурах 600–1000 °С, поэтому они состоят из ангидрита CaSO_4 . Высокообжиговый гипс медленно схватывается и твердеет, но имеет высокую водостойкость и высокую прочность при сжатии выше – 10...20 Мпа в отличие от строительного гипса. К высокообжиговым вяжущим веществам относят: ангидритовое вяжущее (ангидритовый цемент) и высокообжиговый гипс (эстрих – гипс).

Производство строительного гипса. Строительным гипсом называют воздушное вяжущее, получаемое низкотемпературным обжигом в варочных котлах или печах при 110–180 °С природного гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ с последующим измельчением его в тонкий порошок в шаровой мельнице. При этом быстро происходит дегидратация двуводного гипса по реакции:



Таким образом, строительный гипс состоит из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Наиболее простым и распространенным способом получения строительного гипса является обжиг предварительно измельченного гипсового камня в варочных котлах.

Твердение строительного гипса. При затворении полуводного гипса водой образуется пластичное тесто, которое быстро загустевает и переходит в камневидное состояние. Процесс твердения строительного гипса происходит в результате гидратации полуводного гипса, то есть присоединения к нему воды и перехода его в двухводный гипс по реакции:



Согласно теории, разработанной Байковым А.А., процесс твердения можно разделить на три периода. Первый период начинается с момента смешивания гипса с водой, происходит растворение полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Одновременно полуводный гипс гидратируется, присоединяя $1,5\text{H}_2\text{O}$ превращаясь в двухводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Во втором периоде происходит взаимодействие воды с полуводным гипсом с прямым присоединением ее к твердому веществу. Это приводит к образованию коллоидной системы. Происходит схватывание гипсовой массы. В третьем периоде коллоидные частички двухводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ кристаллизуются, срастаются между собой, образуя кристаллические сростки, благодаря чему происходит твердение гипса. Этот период характеризуется концом схватывания. Дальнейшее твердение строительного гипса приводит к значительному повышению прочности. Для ускорения твердения применяют искусственную сушку гипсовых изделий при температуре не выше $60\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$. При более высокой температуре может начаться процесс разложения двухводного гипса, сопровождаемый резким снижением прочности. При твердении гипс увеличивается в объеме до 1 %, хорошо заполняя формы при отливке гипсовых изделий.

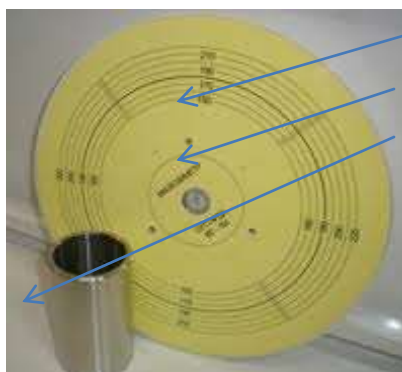
Свойства строительного гипса. Строительный гипс представляет собой порошок белого цвета (рис. 4.3). Плотность его в рыхлом состоянии колеблется в пределах $800\text{--}1100\text{ кг/м}^3$, а в уплотненном $1250\text{--}1450\text{ кг/м}^3$, истинная плотность гипса составляет $2600\text{--}2750\text{ кг/м}^3$.



Рис. 4.3. Строительный гипс

Строительный гипс является быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим веществом, к основным свойствам которого относят нормальную густоту, сроки схватывания, тонкость помола и предел прочности при сжатии и изгибе¹.

Нормальная густота гипсового теста характеризуется количеством воды (в %), при котором получается тесто заданной подвижности. Ее определяют на вискозиметре Суттарда (рис. 4.4). Нормальной густотой считается такое гипсовое тесто, при котором расплыв лепешки на вискозиметре Суттарда составляет 180 ± 5 мм.



1
2
3

Рис. 4.4. Вискозиметр Суттарда для определения нормальной густоты гипсового теста:

1 – окружности; 2 – стеклянная пластина; 3 – стальной цилиндр

¹ Попов Л.Н. Указ соч. 527 с.

Строительный гипс обладает большой водопотребностью. Для получения теста нормальной густоты необходимо 50-70 % воды от массы гипса. В то время когда для гидратации полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ в двухводный $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необходимо 18,5 % воды (теоретически). Избыточная вода со временем испаряется, придавая гипсовым изделиям высокую пористость, малую теплопроводность и низкую прочность.

Сроки схватывания гипсового теста определяются на приборе Вика по глубине погружения иглы в гипсовое тесто (рис. 4.5). По срокам схватывания гипсовое тесто делят на три группы: А - быстросхватывающееся (начало схватывания 2 мин и конец схватывания 15 мин); Б - нормально схватывающееся (соответственно 6 мин и 30 мин); В - медленносхватывающееся (начало схватывания не ранее 20 мин с момента затворения гипсового теста). Прочность гипса характеризуется пределом прочности при сжатии образцов-балочек размером 4x4x16 см из гипсового теста нормальной густоты, испытанных через 2 часа после изготовления.



Рис. 4.5. Прибор Вика

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

Вследствие сравнительно высокой растворимости двухводного гипса прочность гипсовых изделий при увлажнении резко снижается (на 40-70 %) и обнаруживаются пластические деформации. Водостойкость гипса повышают добавлением молотого гранулированного доменного шлака. Кроме того,

водостойкость гипсовых изделий увеличивают, покрывая их поверхности различными составами, образующими водонепроницаемые пленки.

Применение строительного гипса. Строительный гипс применяют для изделий и деталей, используемых в конструкциях зданий и сооружений при относительной влажности воздуха не более 60 %. Из строительного гипса изготавливают гипсовые и известково-гипсовые штукатурные растворы, декоративные, теплоизоляционные и отделочные материалы, а также различные архитектурные детали методом отливки.

Гипс не рекомендуется долго хранить, даже при хранении в сухих условиях активность его постепенно снижается.

Высокопрочным гипсом называют гипсовое вяжущее, состоящее в основном из полуводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Высокопрочный гипс получают термической обработкой высокосортного гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в автоклаве под давлением пара или кипячением в водных растворах некоторых солей с последующими сушкой и измельчением в тонкий порошок. Высокопрочный гипс обладает меньшей водопотребностью (около 45 %), что позволяет получать гипсовые изделия с большей плотностью и прочностью¹.

Предел прочности при сжатии высокопрочного гипса не менее 15-25 МПа. Сроки схватывания высокопрочного гипса примерно такие же, как и у строительного гипса.

Высокопрочный гипс применяют для изготовления архитектурных деталей и строительных изделий с повышенными требованиями по прочности.

4.4. Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальные вяжущие вещества представляют собой тонкомолотые порошки, содержащие оксид магния MgO и твердеющие при затворении водными растворами хлористого или серноокислого магния. Это ускоряет твердение и значительно повышает прочность. Магнезиальные вяжущие

¹ Комар А.Г. Указ. соч. 527 с.

вещества, в зависимости от применяемого сырья разделяют на два вида: каустический магнезит MgO и каустический доломит $MgOCaCO_3$.

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



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

Каустический магнезит затворяют не водой, а водными растворами хлористого $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ или сернокислого магния $MgSO_4$. Каустический магнезит твердеет сравнительно быстро. Схватывание его должно наступать не ранее 20 мин, а конец - не позднее 6 часов с момента затворения. Марки каустического магнезита от 60 до 100 МПа.

Каустический доломит $MgOCaCO_3$ это порошок, состоящий из оксида магния и углекислого кальция, получаемый обжигом природного доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ с последующим измельчением в порошок. В связи с содержанием инертного $CaCO_3$ каустический доломит по качеству уступает каустическому магнезиту. Марки каустического доломита от 10 до 30 МПа.

Магнезиальные вяжущие вещества обладают способностью прочно сцепляться с древесными опилками, стружками и другими органическими заполнителями, которые в изделиях не подвергаются разложению и загниванию. Эти вяжущие применяют для изготовления теплоизоляционных материалов, например фибролита, устройства теплых и износостойких ксилолитовых полов, ступеней, плиток.

4.5. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент

К воздушным вяжущим веществам относятся жидкое стекло и затворяемый им кислотоупорный цемент.

Жидкое стекло представляет собой натриевый Na_2nSiO_2 или калиевый силикат K_2OnSiO_2 желтого цвета, который получают сплавлением в стекловаренных печах при температуре 1300-1400 °С измельченного чистого кварцевого песка с содой Na_2CO_3 или поташем K_2CO_3 . Образовавшиеся после быстрого охлаждения расплава прозрачные куски и глыбы имеют синеватый, зеленоватый и желтоватый цвет. Под действием пара (в автоклаве) под давлением 0,4-0,6 МПа они растворяются, превращаясь в вязкий раствор, который называется жидкое стекло. На строительство жидкое стекло поступает с истинной плотностью 1,32-1,50 г/см³. Жидкое стекло твердеет только на воздухе. Процесс твердения жидкого стекла значительно ускоряется за счет введения катализаторов твердения.

Жидкое стекло применяют для получения силикатных огнезащитных красок, предохранения естественных каменных материалов от выветривания, уплотнения (силикатизации) грунтов, а также для получения кислотоупорного цемента и жаростойкого бетона.

Кислотоупорный цемент это тонко измельченная смесь кварцевого песка и кремнефтористого натрия, затворенная жидким стеклом. Схватывание и твердение кислотоупорного цемента происходит при температуре не ниже 10 °С, при этом начало схватывания должно наступать не ранее 30 мин, а конец должен наступать не позднее 6 часов с момента затворения. Кислотоупорный цемент неводостоек и сравнительно быстро разрушается от действия воды и слабых растворов кислот.

Растворы и бетоны, приготовленные на кислотоупорном цементе, обладают высокой стойкостью против действия ряда минеральных и органических кислот, но разрушаются в щелочах. Их применяют для футеровки химической аппаратуры, возведения башен, резервуаров и других сооружений химической промышленности.

4.6. Гидравлическая известь

Гидравлическая известь это продукт умеренного обжига (не до спекания) мергелистых известняков, содержащих 6-20 % глинистых и тонкодисперсных песчаных примесей, обжигают такие известняки в шахтных печах при температуре 900-1100 °С. При этой температуре углекислый

кальций CaCO_3 разлагается, и часть образующегося после обжига оксида кальция CaO остается в свободном состоянии, а часть соединяется с оксидами кремния SiO_2 , алюминия Al_2O_3 и оксидами железа Fe_2O_3 , входящими в состав глинистых материалов. В результате образуются низкоосновные силикаты 2CaOSiO_2 , алюминаты CaOAl_2O_3 и ферриты CaOFe_2O_3 кальция, которые и придают извести гидравлические свойства, то есть ее способность твердеть в воде. Негашеная гидравлическая известь представляет собой тонкий порошок. Предел прочности при сжатии после 28 суток комбинированного твердения образцов из раствора 1:3 по массе составляет 2–5 Мпа и выше. Гидравлическая известь, начинает твердеть на воздухе (первые 7 суток) и продолжает твердеть и увеличивать свою прочность в воде, при этом физико-химические процессы воздушного твердения сочетаются с гидравлическими. Гидравлическую известь применяют для приготовления строительных растворов, эксплуатируемых как в сухих, так и во влажных условиях, а также для бетонов низких марок. Растворы и бетоны на гидравлической извести в первые сутки твердения необходимо защищать от воздействия воды, так как они легко размываются. Гидравлическую известь хранят в сухих закрытых помещениях, а при перевозке предохраняют от увлажнения¹.

4.7. Портландцемент

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким совместным помолом портландцементного клинкера с добавкой гипса.

Портландцементный клинкер – зернистый материал, полученный обжигом до спекания при температуре 1450 °С однородной сырьевой смеси заданного состава (рис. 4.6). Портландцемент и его разновидности являются основными вяжущими веществами в современном строительстве.

¹ Комар А.Г. Указ. соч. 527 с.



Рис. 4.6. Портландцементный клинкер

Для регулирования сроков схватывания цемента (замедления) добавляют природный гипсовый камень $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в количестве 3-5 %. Сырьем для производства портландцементного клинкера являются карбонатные горные породы - известняки, мел (CaCO_3) в количестве 75 % и глины, глинистые сланцы до 25 %, реже мергели. Мергель – горная порода, характеризующаяся равным содержанием карбонатного и глинистого материала. Примерное соотношение между карбонатными и глинистыми составляющими сырьевой смеси составляет 3:1. Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы портландцементный клинкер имел следующий химический состав:

- 63 - 68% CaO ;
- 21 - 24 % SiO_2 ,
- 4 - 8 % Al_2O_3 ;
- 2 - 4% Fe_2O_3 ¹.

Суммарное соотношение оксидов составляет 95-97 %, в небольшом количестве в виде различных соединений могут входить MgO ; Na_2O ; K_2O ; TiO_2 .

Изобретение портландцемента связано с именами русского инженера Челиева Егора Герасимовича и Джозефа Аспдина – каменщика из английского города Лидса, которому был выдан патент на изобретение в 1824 году. Челиев Егор Герасимович изобрел тип цемента пригодный для подводных работ по своему составу схожий с портландцементом. Он описал

¹ Попов Л.Н. Указ. соч. 527 с.

этот вид цемента в изданной в 1825 году книге «Полное наставление, как приготовить дешевый и лучший мергель, или цемент весьма прочный для подводных строений, как-то: каналов, мостов, бассейнов и плотин».

Название портландцемент связано с полуостровом на юге Великобритании – Portland, где началось промышленное производство портландцемента. Производство портландцемента включает следующие операции:

- - добычу и доставку на завод известняка и глины;
- - приготовление сырьевой смеси;
- - обжиг сырьевой смеси до спекания;
- - помол клинкера с добавкой гипса;

Производство портландцемента. Приготовление сырьевой смеси состоит в тонком совместном измельчении и смешивании компонентов подготовленного сырья. Сырьевыми материалами для производства портландцементного клинкера служат известняки с высоким содержанием карбоната кальция (CaCO_3), (мел, плотные известняки, мергели). и глинистые горные породы (глины, глинистые сланцы).

Для производства портландцемента часто используют побочные продукты промышленности. Сырьевую смесь готовят сухим, мокрым или комбинированным способами.

Сухой способ заключается в совместном тонком измельчении и смешивании предварительно высушенных сырьевых материалов. Сырьевая смесь получается в виде минерального порошка с остаточной влажностью не более 1-2 %. Измельчают глину и известняк обычно в шаровых мельницах, где мелющими телами являются стальные шары.

Сырьевую муку после помола направляют в силосы для усреднения и корректировки состава, тем самым создавая необходимый запас минерального порошка для бесперебойной работы предприятия. Сухой способ подготовки наиболее выгоден при использовании сырья с остаточной влажностью 10-12 % (рис. 4.7).

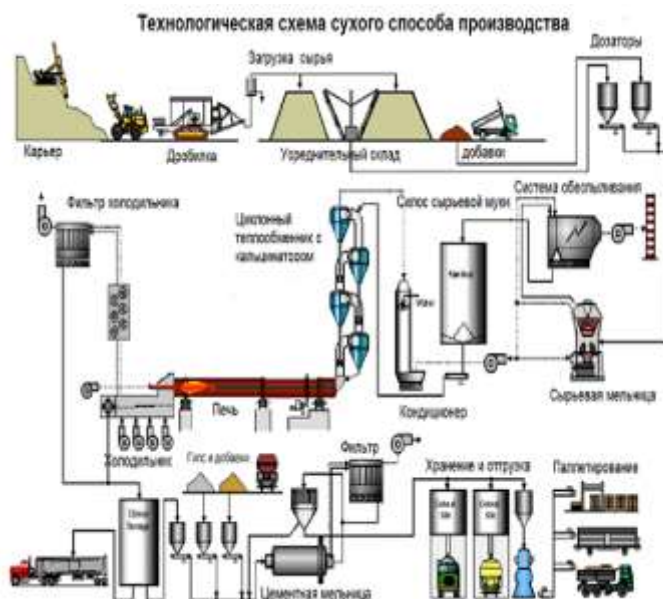


Рис. 4.7. Технологическая сема производства портландцемента сухим способом

Мокрый способ приготовления сырьевой смеси применяют, если сырьевые компоненты имеют значительную влажность, обычно 18-23 %. Глину растворяют в глиноболтушках до состояния суспензии и совместно с известняком подвергают дроблению и измельчению в шаровых мельницах, полученный шлам перекачивают насосами в цилиндрические шламбассейны для последующей корректировки состава и хранения. В бассейнах шлам постоянно перемешивают и по мере необходимости с помощью насосов подают на обжиг.

Комбинированный способ заключается в том, что приготовленный шлам сначала обезвоживается на специальных установках и только потом поступает в печь для обжига. Данный способ позволяет экономить расход топлива до 20-30 %, но при этом, значительно возрастает потребление электроэнергии.

Обжиг сырьевой смеси как при сухом, так и при мокром способе подготовки сырья осуществляют преимущественно во вращающихся печах. Вращающаяся печь представляет собой длинный (95–185–230 м), наклонно расположенный стальной барабан-цилиндр диаметром 5–7 м. Угол наклона вращающейся печи относительно горизонта составляет 5-6 градусов, скорость вращения 1-2 оборота в минуту. Изнутри печь футерована огнеупорным

кирпичом. С помощью дозаторов шлам подают в верхний (холодный) конец печи, где вследствие ее вращения и наклона обжигаемый материал перемещается к нижнему (горячему) концу печи. Навстречу ему движутся горячие топочные газы, образовавшиеся при сгорании топлива (пылевидный уголь, мазут, газ), подаваемого через форсунку в нижней части печи. Вращающиеся печи работают по принципу противотока (рис. 4.8).

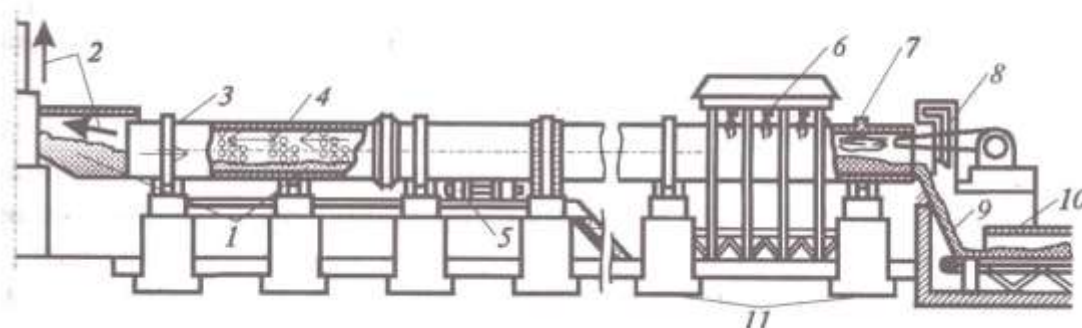


Рис. 4.8. Вращающаяся печь для обжига цементного клинкера

1 – дымосос; 2 – питатель для подачи шлама; 3 – барабан; 4 – привод; 5 – форсунка подачи топлива; 6 – холодильник

Шлам, омываясь горячими газами, подсушивается и образует комья. Весь процесс обжига можно условно разделить на три зоны:

1. Зона испарения (70-200 °С). В этой зоне происходит высушивание сырьевой смеси, поэтому еще ее называют зоной сушки. Подсушенный материал комкуется и перекатываясь распадается на гранулы.

2. Зона подогрева (200 до 700 °С). Температура в печи поднимается с 200 до 700 °С. В этой зоне происходит сгорание органических примесей, из глиняных материалов удаляется химически связанная вода (450-500 °С).

3. Зона декарбонизации (700-1100°С). В этой зоне завершается процесс диссоциация карбонатных солей кальция и магния и появляется значительное количество свободного кальция и магния. Здесь же происходит распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , которые вступают в химическое взаимодействие с оксидами кальция CaO . Образуются минералы $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (трехкальциевый алюминат), CaOAl_2O_3 и частично 2CaOSiO_2 .

4. Зона экзотермических реакций (1100-1250 °С). В этой зоне образуются следующие химические соединения:

- 2CaOSiO_2 (двухкальциевый силикат);
- $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (трехкальциевый алюминат);
- $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (четырекальциевый алюмоферрит).

5. Зона спекания (1300-1450-1300 °С). Температура обжигаемого материала достигает наивысшего значения (1450°С), необходимого для образования главного минерала портландцементного клинкера - трехкальциевого силиката 3CaO .

6. Зона охлаждения. Температура клинкера понижается с 1300 до 1000°С. Здесь полностью происходит формирование структуры и состава клинкера. температуры до 1300 °С Выходящий из печи обожженный материал называется портландцементный клинкер.

Портландцементный клинкер это гранулы серовато-зеленого цвета размером 5-25 мм для охлаждения до 80–100 °С направляют в холодильник, откуда он поступает на склад, где его выдерживают в течение 1–2 недель. В результате вылеживания содержащийся в клинкере в небольшом количестве свободный оксид кальция гасится влагой воздуха, а также уменьшается твердость зерен клинкера, что, в свою очередь, облегчает его помол и обеспечивает равномерность изменения объема цемента при твердении.

Помол портландцементного клинкера. Клинкер измельчают в многокамерных шаровых мельницах. В процессе помола к нему добавляют 3–% гипсового камня для регулирования сроков схватывания портландцемента и различные, предусмотренные технологическим процессом, добавки. Из шаровых мельниц портландцемент пневмотранспортом подают в силосы - железобетонные башни цилиндрической формы емкостью до 6000 т каждая, где цемент перед отправкой потребителю выдерживается в течение 10–14 суток. За это время нагретый при помолу цемент охлаждается и оставшаяся в нем свободная известь гасится, что улучшает свойства цемента. Из силосов цемент поступает в упаковочные машины для расфасовки в многослойные бумажные мешки по 50 кг или направляется в специально оборудованные средства железнодорожного, автомобильного или водного транспорта.

Минералогический состав клинкера. В процессе обжига сырьевой смеси образуется клинкер, который состоит из следующих химических соединений, называемых клинкерными минералами:

- трехкальциевый силикат 3CaOSiO_2 ;
- двухкальциевый силикат 2CaOSiO_2 ;
- трехкальциевый алюминат $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$;
- четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Часто используют их сокращенное обозначение:

- C_3S – алит;
- C_2S – белит;
- C_3A – целит;
- C_4AF – четырехкальциевый алюмоферрит.

Содержание основных минералов в портландцементном клинкере обычно колеблется в следующих пределах:

- 40-65 % – C_3S ;
- 1-40 % – C_2S ;
- 2-15 % – C_3A ;
- 10-20 % – C_4AF .

При увеличении содержания указанных выше минералов портландцемент получает специальное название. Например, при большом содержании C_3S (более 56 %) его называют алитовым; C_2S (более 38 %) – белитовым; C_3A (более 12 %) –алюминатным. Если в клинкере содержится повышенное количество двух минералов, его соответственно называют алитоалюминатным. Каждый из клинкерных минералов портландцемента имеет свои специфические свойства.

Алит 3CaOSiO_2 (C_3S) – является химически активным минералом, он оказывает решающее влияние на прочность и скорость твердения цемента. Взаимодействие его с водой происходит с большим тепловыделением. Алит обладает способностью быстро твердеть и набирать высокую прочность, поэтому повышенное содержание **алита** обеспечивает получение из данного клинкера высокомарочного портландцемента.

Белит 2CaOSiO_2 (C_2S) – затворенный водой в начальный период твердеет очень медленно, но при этом выделяет очень мало теплоты. Продукт

твердения в течение первого месяца обладает невысокой прочностью, но затем на протяжении нескольких лет при благоприятных условиях прочность его неуклонно возрастает.

Целит $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ (C_3A) – характеризуется высокой химической активностью, в первые сутки твердения он выделяет наибольшее количество теплоты гидратации и быстро твердеет. Однако, продукт его твердения имеет низкую долговечность и малую стойкость против воздействия сернокислых соединений (является причиной сульфатной коррозии бетона), поэтому в сульфатостойком портландцементе содержание целита (C_3A) ограничивают до 5 %.

Четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) характеризуется умеренным тепловыделением, твердеет он значительно медленнее, чем алит, но быстрее, чем белит. В клинкере занимает промежуточное положение между алитом и белитом по скорости твердения. Прочность продуктов его гидратации несколько ниже, чем у алита.

Содержание свободного оксида CaO не должно превышать 1 % и MgO не более 5 %. При более высоком содержании оксиды CaO и MgO ухудшают качество портландцемента, а также приводят к неравномерному изменению его объема при твердении, что объясняется переходом CaO в гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и MgO в $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Твердение портландцемента

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

Твердение портландцемента. При затворении портландцемента водой сначала образуется пластичное клейкое цементное тесто, которое затем постепенно загустевает, переходя в камневидное состояние. Твердение и есть процесс превращения цементного теста в цементный камень. Основы теории твердения портландцемента были разработаны А.А. Байковым и дополнены В.Н. Юнгом, П.А. Ребиндером и др. Согласно этой теории различают три

периода твердения цемента: растворение и гидратация, коллоидация и кристаллизация.

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

Во втором периоде в насыщенном растворе идут реакции гидратации клинкерных минералов в твердом состоянии. Продуктами этих реакций являются гидратные новообразования в коллоидном виде. Период коллоидации сопровождается повышением вязкости цементного теста, обуславливающим схватывание цемента.

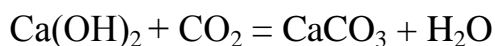
В третьем периоде протекают процессы перекристаллизации коллоидных частиц новообразований, идет растворение мельчайших частиц и образований крупных кристаллов. Кристаллизация сопровождается твердением цементного теста и ростом прочности образовавшегося цементного камня.

В результате взаимодействия клинкерных минералов с водой образуются новые соединения - гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция. Минералы C_3S и C_4AF , взаимодействуя с водой, подвергаются гидролизу, т.е. разложению, а минералы C_2S и C_3A гидратируются, т. е. присоединяют воду.

По скорости взаимодействия с водой клинкерные минералы располагаются в следующей последовательности: C_3A , C_4AF , C_3S и C_2S . Скорость гидратации клинкерных минералов в значительной мере определяет и скорость их твердения. Чем быстрее гидратирует минерал, тем быстрее происходит его схватывание и твердение¹.

¹ Микульский В. Г. Указ. соч. 536 с

В случае твердения цемента на воздухе рассмотренные выше процессы дополняются карбонизацией гидроксида кальция по реакции:



Она происходит на поверхности цементного камня с образованием тонкой корки из карбоната кальция CaCO_3 , способствующей повышению стойкости и прочности цементного камня.

В результате процессов растворения, коллоидации, кристаллизации, уплотнения гидратных соединений и карбонизации поверхности образуется прочный цементный камень.

Прочность цементного камня нарастает быстро в течение первых 3–7 суток, затем в интервале 7–28 суток рост прочности замедляется. В дальнейшем повышение прочности относительно невелико, но может продолжаться в течение многих лет, особенно во влажной и теплой среде. В сухой среде или при отрицательных температурах процессы твердения цементного камня приостанавливаются, и рост прочности прекращается. Замерзший цементный камень обладает способностью после оттаивания продолжать набирать прочность.

Твердение портландцемента можно ускорить за счет повышения температуры окружающей среды и введением химических добавок - ускорителей твердения (хлористого кальция CaCl_2 , хлористого натрия NaCl) в количестве 1–2 % по массе цемента.

Твердение портландцемента сопровождается выделением теплоты. Это свойство портландцемента является положительным при бетонировании монолитных конструкций в зимних условиях и отрицательным в тех случаях, когда разогрев массивных бетонных конструкций (плотины, массивные фундаменты) может привести к появлению в них трещин от температурного расширения.

Свойства портландцемента

К основным техническим характеристикам портландцемента относятся средняя плотность, истинная плотность, тонкость помола, нормальная густота, сроки схватывания, равномерность изменения объема и прочность.

Истинная плотность портландцемента составляет 3,05–3,15 г/см³. Насыпная плотность портландцемента (без добавок) зависит от уплотнения цемента и в рыхлом состоянии составляет 1000–1100 кг/м³, а в уплотненном 1400–1600 кг/м³, в среднем составляет 1300 кг/м³.

Тонкость помола портландцемента характеризуется остатком на сите № 008 (размер ячейки на просвет 0,08мм) предварительно высушенной пробы. Остаток на сите не должен превышать 15 %. Наравне с ситовым анализом для оценки дисперсности цемента определяет его удельную поверхность. Удельная поверхность цемента характеризуется величиной поверхности зерен в см² в 1 грамме цемента. Удельная поверхность портландцемента должна быть 2500-3000 см²/г. С увеличением тонкости помола цемента до 4000–4500 см²/г возрастает скорость твердения и повышается прочность цементного камня.

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

Нормальной густотой цементного теста считается такая его консистенция, при которой пестик прибора Вика, погружаясь в кольцо с цементным тестом не доходит до дна металлической пластины на 5–7 мм. Водопотребность портландцемента обычно колеблется в пределах 22–26 % и зависит от минералогического состава и тонкости помола.

Сроки схватывания цемента определяют на тесте нормальной густоты. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты. **За начало схватывания** принято время с момента затворения цемента водой, до момента, когда игла прибора Вика не доходит до пластинки на 2–4 мм. **За конец схватывания** принято время с момента затворения цемента водой, до момента, когда игла прибора Вика входит в тесто не более чем на 1–2 мм. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин для класса 52,5; не ранее 60 мин для класса 42,5 и не ранее 75 мин для класса 32,5. На сроки схватывания портландцемента влияют его вещественный состав, тонкость помола и другие факторы¹.

¹ ГОСТ 311–2016 Цементы общестроительные. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 14 с.

Равномерность изменения объема цемента устанавливают на образцах-лепешках, изготовленных из цементного теста нормальной густоты, через 24 часа предварительного твердения подвергают кипячению в воде в течение 3 часов. Цемент считают прошедшим испытание на равномерность изменения объема, если на лицевой стороне лепешек, подвергнутых испытаниям нет радиальных трещин или сетки мелких трещин, видимых в лупу или невооруженным глазом, а также каких-либо искривлений. Одной из причин неравномерного изменения объема цементного камня при твердении является наличие в цементе свободных СаО и MgO, которые гидратируют с увеличением объема в уже затвердевшем цементном камне, разрушая его.

По прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяют на классы: 32,5; 42,5; 52,5. По прочности на сжатие 2(7) сут цементы подразделяют на подклассы: Н (нормальнотвердеющие), Б (Быстротвердеющие) и М (медленнотвердеющие). Класс цемента это условное обозначение одного из значений параметрического ряда по прочности цемента (МПа) в максимальные сроки, установленные нормативным документом¹

Предел прочности при изгибе определяют на образцах–балочках размером 4x4x16см, а предел прочности при сжатии испытанием их половинок. Образцы – балочки изготавливают из цементно – песчаного раствора состава 1:3, при водоцементном отношении (В/Ц) равном 0,4 и при консистенции раствора по расплыву конуса 106–115 мм, испытанных через 28 суток нормального твердения.

Коррозия цементного камня

Возведенные с применением портландцемента бетонные сооружения могут подвергнуться разрушению (коррозии) под действием природных вод и агрессивных жидкостей. Разрушение обычно начинается с цементного камня, как наиболее подверженного коррозии. Исследования, проведенные российскими учеными, позволили установить сущность процессов коррозии

¹ГОСТ 311–2016 Цементы общестроительные. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 14 с.

цементного камня и рекомендовать методы борьбы с ней. Различают три основных вида коррозии цементного камня

Коррозия первого вида (выщелачивание) возникает при действии на цементный камень бетона проточных пресных вод. Эти воды растворяют и вымывают гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющийся при гидролизе трехкальциевого силиката C_3S .

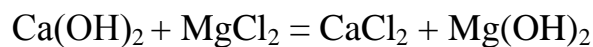
В результате такого выщелачивающего действия воды повышается пористость цементного камня и снижается его прочность, что приводит к постепенному разрушению бетона.

Для повышения стойкости цементного камня в пресных водах рекомендуется вводить в портландцемент гидравлические добавки, которые связывают гидроксид кальция в малорастворимые соединения – гидросиликаты кальция.

Коррозия второго вида (углекислотная коррозия) происходит при действии на цементный камень бетона минерализованных вод, содержащих химические соединения, которые вступают в обменные реакции с составляющими цементного камня.

Образующиеся при этом продукты реакции либо легко растворяются и уносятся водой, либо выделяются в виде аморфной массы, не обладающей связующими свойствами.

Морская вода, вода соленых озер, а также некоторые грунтовые воды, содержащие MgCl_2 , MgSO_4 , NaCl и другие соли, разрушающе действуют на цементный камень. Так, при воздействии на цементный камень вод, содержащих хлористый магний, последний взаимодействует с гидроксидом кальция цементного камня:



Образовавшийся в результате реакции хлористый кальций обладает хорошей растворимостью и быстро вымывается из бетона.

Таким образом, основной причиной данного вида коррозии является присутствие в цементном камне свободного гидроксида кальция¹. Поэтому в

¹ Микульский В. Г. Указ. соч. 536 с.

состав цемента необходимо вводить активные минеральные добавки, которые связывают его в труднорастворимые соединения.

В качестве активных минеральных добавок к цементу чаще всего применяют трепелы, опоки, диатомиты, а также доменный гранулированный шлак.

Коррозия третьего вида (сульфоалюминатная коррозия) возникает при действии на цементный камень бетона сульфатных вод. Сульфаты CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 входят в состав большинства природных грунтовых, минерализованных, а также сточных вод промышленных предприятий. В результате обменной реакции сульфатов с гидроксидом кальция в порах цементного камня образуется двуводный сернокислый кальций $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гипс) который взаимодействует с гидроалюминатом кальция. Образующийся при этом труднорастворимый гидросульфалюминат кальция (цементная бацилла) кристаллизуясь с большим количеством воды, увеличивается в объеме в 2,5 раза, что влечет за собой растрескивание защитного слоя бетона. Дальнейшее разрушение приводит к коррозии стальной арматуры и разрушению строительной конструкции в целом. С сульфалюминатной коррозией всегда надо считаться при строительстве морских сооружений. Для предотвращения сульфатной коррозии бетона при его приготовлении следует применять сульфатостойкий портландцемент.

Защиту цементного камня от коррозии осуществляют за счет применения цементов определенного минералогического состава, введением активных минеральных добавок, создания плотных бетонов, а также применения защитных покрытий и облицовок. Битумная изоляция, покрытие полимерными пленками, облицовка из стекла и керамики должны исключать воздействие агрессивной среды на бетон¹.

4.8. Применение портландцемента

Портландцемент используют в качестве вяжущего при изготовлении монолитного и сборного железобетона в жилищном, промышленном, гидротехническом, транспортном строительстве. Изделия и конструкции,

¹ Микульский В.Г. Указ. соч. 536 с

изготовленные на портландцементе, можно применять в надземных, подземных и подводных условиях, а также в случаях попеременного воздействия воды и отрицательных температур.

Портландцемент невысоких марок (классов) используют для приготовления кладочных растворов, используемых для кладки фундаментов, монтажа стен, а также для штукатурных растворов, применяемых для помещений с влажным режимом эксплуатации. Портландцемент не рекомендуется применять для изготовления конструкций, которые подвергаются воздействию морской, минерализованной воды. В этих случаях рекомендуется применять цементы специальных видов – сульфатостойкий, пуццолановый, шлакопортландцемент.

4.9. Разновидности портландцемента

Для получения портландцемента с заданными специальными свойствами используют следующие методы:

1. регулирование минерального состава и структуры цементного клинкера
2. введение минеральных или органических добавок, позволяющих целенаправленно изменять свойства портландцемента, экономить клинкер, уменьшать расход цемента в бетоне;
3. оптимизация тонкости помола и зернового состава цемента, влияющих на скорость твердения, активность, тепловыделение цемента;

В настоящее время наряду с обыкновенным портландцементом выпускают большое количество его разновидностей: быстротвердеющий, пластифицированный, гидрофобный и сульфатостойкий портландцементы. Эти цементы рекомендуются применять только в тех случаях, когда их специальные свойства могут быть использованы с максимальной эффективностью.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) портландцемент с минеральными добавками, характеризующийся более интенсивным нарастанием прочности через 3 суток твердения. Быстрое твердение цемента достигается за счет содержания в клинкере активных минералов (C_3S+C_3A) не менее 60–65 %), а также за счет повышения тонкости помола клинкера до

удельной поверхности 3500–4000 см²/г, что ускоряет твердение цемента. При помоле БТЦ допускается введение активных минеральных добавок, но не более 10-15 % .

Быстротвердеющие портландцементы целесообразно применять при изготовлении сборных высокопрочных, обычных и предварительно напряженных железобетонных изделий и конструкций. Их применение сокращает длительность тепловлажностной обработки, ускоряет оборачиваемость металлических форм, а в отдельных случаях даже позволяет отказаться от тепло-влажностной обработки изделий. Употребляя быстротвердеющий портландцемент для возведения сооружений из монолитного бетона, можно значительно сократить сроки выдержки конструкций в опалубке. Кроме того, его следует использовать при ремонтных и восстановительных работах, где требуется быстрое нарастание прочности бетона и раствора.

Цементы для транспортного строительства. По назначению цементы для транспортного строительства подразделяют на: - цемент для бетонов дорожных и аэродромных покрытий; - цемент для бетонов дорожных оснований; - цемент для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций, применяемых в транспортном строительстве; - цемент для укрепления грунтов.

Классификация цементов, по типам и классам прочности приведена в табл. 4.1¹.

Таблица 4.1

Типы и классы прочности цементов для транспортного строительства			
Для бетона дорожных и аэродромных покрытий	ДП	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III	32,5Н;32,5Б; 42,5Н;42,5Б; 52,5Н; 52,5Б
Для бетона дорожных оснований	ДО	ЦЕМ II/A-III, ЦЕМ II/B-III, ЦЕМ III/A, ЦЕМ V/A	32,5Н;32,5Б; 42,5Н
Для железобетонных изделий и мостовых конструкций	ЖИ	ЦЕМ I, ЦЕМ II/A-III	32,5Н;32,5Б; 42,5Н;42,5Б; 52,5Н; 52,5Б

¹ ГОСТ 311–2016 Цементы общестроительные. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 14 с.

Начало схватывания цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий, дорожных оснований и цемента, применяемого для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций, в том числе железобетонных труб, должно наступать не ранее 2 ч от начала затворения.

Минералогический состав клинкера, используемого для изготовления цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий, мостовых конструкций и железобетонных изделий, используемых в транспортном строительстве, должен соответствовать приведенному в табл. 4.2¹.

Таблица 4.2

Минералогический состав портландцементного клинкера

Клинкерный минерал	Содержание клинкерного минерала, % массы клинкера, применяемого для изготовления цемента	
	для бетона дорожных и аэродромных покрытий	для железобетонных изделий и мостовых конструкций
C_3A , не более	7	7
Сумма (C_3A+C_4AF), не более	24	-
C_2S не менее	55	55

Сульфатостойкий портландцемент (ЦЕМ I СС) применяют для работы бетона в условиях сульфатной коррозии, для изготовления бетона наружных зон гидротехнических и других сооружений, работающих в условиях сульфатной агрессии и одновременно подверженных систематическим попеременным увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию а также для изготовления свай при сооружении опор мостов, молов предназначенных для службы в минерализованных водах². Сульфатостойкий портландцемент изготавливают тонким помолом клинкера нормированного минерального состава: алит (C_3S) – не более 50 %, целит (C_3A) – не более 3,5 – 7 %, в сумме целит и четырехкальциевый алюмоферрит

¹ Гост Р 55224-2012. Цементы для транспортного строительства. Технические условия. - М. : Стандартиформ, 2013. - 12 с.

² ГОСТ 22266-2016. Цементы общестроительные. Технические условия. - М. : Стандартиформ, 2016. - 14 с.

(C_3A+C_4AF) – не более 22 %, оксид магния (MgO) – 5 %. Введение в цемент инертных и активных минеральных добавок не допускается. При таком минералогическом составе цемента уменьшается возможность образования в цементном камне (бетоне) под действием сульфатных вод гидросульфатоалюмината кальция – «цементной бациллы».

Остальные требования к этому цементу такие же, как и обыкновенному портландцементу. Выпускают сульфатостойкий портландцемент следующих классов и подклассов по прочности: 22,5Н; 32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б; 52,5Н; 52,5Б¹.

Белый и цветные портландцементы изготавливают из сырьевых материалов, характеризующихся малым содержанием окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома), из чистых известняков, мраморов и белых каолиновых глин. Цветные портландцементы получают совместным помолом клинкера белого портландцемента со свето- и щелочестойкими пигментами (суриком, охрой, ультрамарином).

Белый и цветные цементы используют при архитектурно-отделочных работах, для получения фактурного слоя стеновых панелей, а также для изготовления искусственного мрамора и облицовочных плиток².

4.10. Портландцементы с активными минеральными добавками

К этой группе гидравлических вяжущих веществ относят цементы, получаемые совместным помолом портландцементного клинкера с активными минеральными добавками или тщательным смешиванием этих компонентов после отдельного измельчения каждого из них.

Активные минеральные добавки – 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 в воде (т.е. проявлять гидравлические свойства), поэтому такие добавки чаще называют гидравлическими. Активные минеральные добавки могут природного происхождения или

¹ Гост 22266-2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2014. - 14 с.

² Микульский В.Г. Указ. соч. 536 с.

полученные искусственным путем. Основные виды активных минеральных добавок представлены в табл. 4.3.

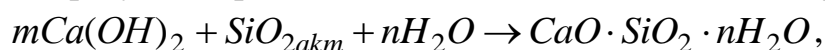
Таблица 4.3

Активные минеральные добавки		
Добавки природные вулканического происхождения	Добавки осадочного происхождения	Искусственные добавки
Вулканические пеплы, вулканические туфы, пемза	Диатомиты, опока, трепелы, глиежи (естественно обожженные глины)	Доменные гранулированные шлаки, зола – унос

В зависимости от вида исходного вяжущего и используемой активной минеральной добавки цементы подразделяют: на пуццолановые портландцементы и шлакопортландцементы.

Пуццолановый портландцемент - изготавливают совместным помолом клинкера с активными минеральными добавками и необходимым количеством гипса. Добавок осадочного происхождения (диатомиты, опока, трепелы) должно быть не менее 20 % и не более 30 %, а вулканического происхождения (вулканические пеплы, вулканические туфы, пемза), а также искусственных добавок не менее 25 % и не более 40 %.

Активные минеральные добавки химически связывают гидроксид кальция, который образуется при взаимодействии алита с водой по реакции:

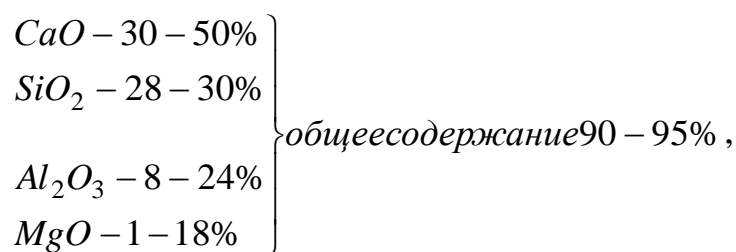


В результате этого процесса, происходящего во влажных условиях и при положительной температуре растворимый гидроксид кальция связывается в нерастворимый гидросиликат кальция. В результате этого процесса значительно возрастает стойкость бетона к коррозии первого вида – выщелачиванию $Ca(OH)_2$ бетона.

Применяют пуццолановый портландцемент для бетонов постоянно находящихся во влажных условиях (подводные и подземные части сооружения). Бетоны на пуццолановом портландцементе имеют низкую морозостойкость, на воздухе дают большую усадку и в сухих условиях значительно теряют прочность. В нормальных условиях бетоны на пуццолановых цементах твердеют медленнее, чем на портландцементе, поэтому при зимних работах пуццолановый портландцемент не применяется.

Цвет цемента светлый, плотность в рыхлом состоянии 800–1000 кг/м³, в уплотненном состоянии 1200–1600 кг/м³, водопотребность его составляет 30–38 %. Сроки схватывания, тонкость помола и равномерность изменения объема пуццоланового портландцемента такие же, как и у обыкновенного портландцемента.

Шлакопортландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным измельчением портландцементного клинкера и доменного гранулированного шлака с добавлением небольшого количества гипса, вводимого для регулирования сроков схватывания и активизации твердения шлака. Шлакопортландцемент можно также изготавливать и путем смешивания тех же исходных материалов, но измельченных отдельно. Содержание доменного гранулированного шлака в шлакопортландцементе должно составлять не менее 21 и не более 80% по массе цемента. Доменные шлаки по своему составу напоминают цементный клинкер. В них преобладают оксиды:



Гидравлическая активность шлаков характеризуется коэффициентом качества:

$$K = \frac{\% CaO + \% MgO + \% Al_2O_3}{\% SiO_2} ,$$

Утилизация доменных шлаков и отходов ТЭЦ для получения цемента пример безотходного производства. Шлакопортландцемент выпускают марок 300, 400, 500. Цвет шлакопортландцемента сероватый с голубоватым оттенком, отличается от других видов цемента тем, что содержит большое количество металлических частиц, выявляемых магнитом. Плотность шлакопортландцемента в рыхлом состоянии 1000–1300 кг/м³, а в уплотненном состоянии 1400–1800 кг/м³, нормальная густота цементного

теста 26–30 %, тонкость помола и равномерность изменения объема такие же, как и у портландцемента.

Применяют шлакопортландцемент в гидротехнических сооружениях, а также в конструкциях, находящихся во влажных условиях. Тепловыделение шлакопортландцемента при твердении меньше, чем у портландцемента, но он обладает большей жаро-, водо- и сульфатостойкостью. Морозостойкость шлакопортландцемента несколько ниже.

У шлакопортландцемента по сравнению с портландцементом несколько замедлено нарастание прочности в начальные сроки твердения. В более отдаленные сроки твердения прочность шлакопортландцемента возрастает и через 2–3 месяца превосходит прочность портландцемента той же марки. Замедление твердения особенно ярко проявляется при пониженных температурах, однако это не является препятствием к широкому применению шлакопортландцемента, а повышение температуры при достаточной влажности окружающей среды резко ускоряет его твердение. Бетоны на шлакопортландцементе, подвергаемые тепловлажностной обработке при 80–95 °С, набирают более высокую прочность, чем бетоны на портландцементе той же марки, твердеющие в тех же условиях.

Разновидностью шлакопортландцемента является быстротвердеющий шлакопортландцемент, который отличается от обычного шлакопортландцемента меньшим содержанием гранулированного доменного шлака (не более 50 %) и более высокой тонкостью помола. Быстротвердеющий шлакопортландцемент марки 400 характеризуется интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения. В условиях тепловлажностной обработки его твердение ускоряется.

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

4.11. Специальные виды цемента

Расширяющиеся и безусадочные цементы отличаются способностью при твердении во влажных условиях увеличиваться в объеме без структурных нарушений, т. е. не давать усадки. Промышленность выпускает водонепроницаемый расширяющийся цемент, гипсоглиноземистый расширяющийся цемент, а также водонепроницаемый безусадочный цемент.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) представляет собой быстросхватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола или тщательного смешивания измельченного глиноземистого цемента, гипса и высокоосновного гидроалюмината кальция. Водонепроницаемый расширяющийся цемент характеризуется быстрым схватыванием: начало не ранее 4 минут, конец не позднее 10 минут с момента его затворения. Линейное расширение образцов из цементного теста на основе водонепроницаемого расширяющегося цемента, твердеющего в воде в течение первых суток должно быть в пределах 0,3–1 %. Водонепроницаемый расширяющийся цемент применяют для зачеканки и гидроизоляции швов труб, раструбных соединений, создания гидроизоляционных покрытий, заделки стыков и трещин в железобетонных конструкциях. Водонепроницаемый расширяющийся цемент нельзя применять в конструкциях, эксплуатируемых при температуре выше 80 °С.¹

Водонепроницаемый безусадочный цемент это быстросхватывающееся и быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тщательного смешивания глиноземистого цемента, полуводного гипса и гашеной извести. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее чем через 1 мин, а конец схватывания не позднее 5 минут с момента затворения водой. Величина относительного линейного расширения образцов из цементного теста через одни сутки их твердения в воде должно находиться в пределах 0,01–0,1 %.

Водонепроницаемый безусадочный цемент применяют для устройства гидроизолирующей торкретной оболочки бетонных и железобетонных

¹ Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Указ. соч.

подземных сооружений, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности (туннели, фундаменты)¹.

4.12. Транспортирование и хранение цементов

Цементы, поступающие навалом, хранят в силосных или бункерных складах отдельно по видам, маркам и партиям от различных заводов. Запрещается при хранении смешивать цементы различных видов и марок. Цемент в бумажных мешках хранят в закрытых складах с плотными водонепроницаемыми крышами, стенами и деревянным полом, приподнятым от земли не менее чем на 30 см. В процессе транспортирования и хранения необходимо оберегать цемент от воздействия влаги и засорения посторонними примесями.

При длительном хранении цемента на складе обычно за счет поглощения влаги из воздуха и преждевременной гидратации происходит его комкование и снижение активности. Активность портландцемента снижается через 3 месяца в среднем на 15–20 %, через 6 месяцев хранения его активность снижается на 20–30 %. Тонкомолотые быстротвердеющие портландцементы теряют активность значительно быстрее, поэтому большие запасы цемента на складах строек и предприятий строительной индустрии нежелательны.

4.13. Экономия цемента

Цемент – это дорогой и дефицитный материал, производство которого далеко не безупречно с точки зрения воздействия на окружающую среду, на сегодняшний день его перерасход в строительстве очень велик. Нехватка качественных заполнителей для бетона, несоответствие фактической и заявленной марки (класса) цемента, грубые нарушения правил транспортировки и хранения, недостаточно полное использование его потенциальных возможностей, все эти факторы самым негативным образом влияют на качество и себестоимость бетона. Поэтому экономия цемента – исключительно важная задача в технологии изготовления бетона и

¹ Попов Л.Н. Указ. соч.

железобетона. Применяя различные технологические приемы при проектировании состава бетона, устранение внутривозовских потерь при дозировании, транспортировке и хранении цемента можно достичь его экономии от 10 до 25 % .

Одним из основных вопросов рационального использования цемента в строительной индустрии является применение обоснованных методов проектирования состава бетона.

Проектирование состава бетона включает достаточно широкий круг технологических вопросов, правильный подход к которым во многом определяет экономичность производства. К таким вопросам относятся:

- установление необходимых требований к бетону и бетонной смеси;
- назначение обоснованного режима тепловой обработки изделий;
- выбор оптимальных по качеству материалов;
- оптимизация и корректировка состава бетона с учетом зернового состава применяемых заполнителей;

Расход цемента в бетоне нормируется согласно СНиП 82-02-95 «Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций» и непосредственно зависит от таких характеристик как состав бетона и бетонной смеси, величина водоцементного отношения, структура бетона.

Важнейшим фактором, обеспечивающим экономию цемента, является снижение водопотребности бетонной смеси, которая позволяет снизить расход воды и цемента без изменения их соотношения, т. е. без изменения прочности бетона. Применение цементов с низкой нормальной плотностью цементного теста, в том числе пластифицированных цементов, позволит существенно снизить водосодержание бетонных смесей. На водопотребность бетонной смеси существенное влияние оказывают свойства применяемых материалов. Она повышается с увеличением нормальной плотности цементного теста, удельной поверхности и пустотности крупного заполнителя.

Немаловажным фактором в экономии цемента является рациональное использование ассортимента выпускаемых цементов, главным условием которого является взаимное согласование выбора их марки, вида и качества с требованиями к бетону сборных железобетонных конструкций, а также продолжительностью их тепловой обработки.

Цементы, используемые в промышленности сборного железобетона, должны обеспечивать интенсивное твердение бетона в условиях тепловой обработки. Для такого производства из широкого ассортимента выпускаемых промышленных цементов при их распределении и потреблении следует отбирать такие, которые отвечают различным условиям изготовления сборных изделий и конструкций с учетом продолжительности тепловой обработки на предприятиях. Эффективность применения цементов в условиях тепловой обработки следует оценивать по их активности при пропаривании.

Для обеспечения потребности в производстве сборного железобетона цементным вяжущим, необходимо увеличивать выпуск быстротвердеющих портландцементов, эффективных при пропаривании. В целях стабилизации технологии и более эффективного использования цемента необходимо расширить прикрепление предприятий сборного железобетона к постоянным поставщикам цементов.

Использование качественных заполнителей – еще один из важнейших факторов в экономии цемента. Основными причинами, вызывающими перерасход цемента до 5–10 % и более, являются нарушение требований к зерновому составу крупных заполнителей, недостаточная прочность и повышенное содержание в них слабых зерен, применение песков с низким модулем крупности, повышенное содержание в заполнителях пылевидных и глинистых частиц. На прочность бетона и соответственно на расход цемента существенное влияние оказывает прочность породы щебня. В целях экономии цемента следует применять щебень и песок с максимально возможной наибольшей крупностью зерен. Для повышения качества заполнителей и снижения расхода цемента следует внедрять промывку зерен заполнителей для бетона.

Снижение расхода цемента в производстве сборного железобетона до 10 % и более может быть достигнуто за счет применения зол ТЭЦ, тонкомолотых шлаков и других отходов различных производств. Лабораторный анализ, а также производственный опыт ряда промышленных предприятий показывает, что применение золы – уноса взамен части цемента в тяжелых бетонах марок М 100–400 позволяет снизить расход цемента на 50–70 кг на 1 м³ бетона. Для этой цели пригодны золы алюмосиликатного

состава, содержащие в преобладающем количестве стекловидные частицы мелких фракций. Присутствие в золе алюмосиликатного стекла обуславливает гидравлическую активность золы, ее способность при затворении водой образовывать – гидросиликаты, гидроалюминаты и гидросульфалюминаты кальция. Однако, применение зол ТЭЦ в тяжелых бетонах пока незначителен, из-за ряда отрицательных факторов, таких как повышенная водопотребность золобетонной смеси.

Одним из наиболее перспективных направлений экономии цемента является расширение применения эффективных химических добавок-пластификаторов, ускорителей твердения и комплексных добавок.

Из пластифицирующих добавок в наибольшем объеме в промышленности используются добавки на основе технических лигносульфанатов. Объем применения химических добавок в строительной индустрии в целом составляет около 25 % от возможного количества их использования. Особенно целесообразно использовать пластифицирующие добавки в комплексе с ускорителями твердения в виде сульфатов, хлоридов и нитратов. Использование таких добавок при сокращенных режимах тепловой обработки, а также при необходимости получения бетонов с повышенной величиной отпускной прочности позволяет экономить до 10 % цемента.

Помимо введения химических добавок непосредственно при приготовлении бетонных смесей снижение расхода цемента при производстве сборных железобетонных изделий может быть достигнуто за счет использования эффективных пластифицированных цементов, не замедляющих скорость твердения бетона при тепловой обработке.

Немаловажным мероприятием по сокращению расхода цемента является устранение его прямых потерь при транспортировании, хранении, которые зачастую превышают нормативные (не более 1 %) Внутривозовские и транспортные потери цемента составляют в промышленности в среднем около 2 %. Нельзя допускать доставку цемента вагоном навалом, разгружать вручную, транспортировать с большим количеством перегрузок. Этих потерь можно избежать, если в труднодоступные районы доставлять не цемент, а цементный клинкер, на месте его можно помолоть и всегда иметь цемент высокой активности.

Внутризаводские потери могут быть снижены за счет улучшения учета цемента при его получении и хранении, оснащения силосов и бункеров уровнемерами, оснащения дозаторов цемента шнековыми питателями, улучшения уплотнения выпускных затворов дозаторов. Следует так же не допускать выпуск изделий с превышением проектных габаритных размеров.

Вопросы для самоконтроля

1. Что принято называть неорганическими (минеральными) вяжущими веществами?
2. По каким признакам и как классифицируют минеральные вяжущие вещества?
3. Воздушные вяжущие, определение и виды этих вяжущих.
4. Что собой представляет воздушная комовая известь? Из какого сырья и как получают воздушную известь?
5. Что такое активность извести, от чего она зависит и как определяется? Что принято считать скоростью гашения, виды извести по данному показателю?
6. Что понимают под гашением извести? Виды гашеной и негашеной извести. Что собой представляет гидратная известь (пушонка)?
7. Гипсовые вяжущие вещества, их классификация. Из какого сырья и как получают строительный гипс? Основные свойства строительного гипса.
8. Как определить скорость твердения гипсовых вяжущих, чем она характеризуется? Как определить марку гипса?
9. Что называют магнезиальными вяжущими?
10. Что собой представляют гидравлические вяжущие вещества, виды этих веществ?
11. Что такое портландцемент? Из какого сырья и какими способами получают портландцемент?
12. Что собой представляет портландцементный клинкер? Какие минералы входят в состав клинкера? Какими свойствами обладают минералы портландцементного клинкера и как они влияют на свойства портландцемента?
13. Какими техническими свойствами характеризуется качество портландцемента?
14. Как определяются сроки схватывания портландцемента и от чего они зависят?
15. Что такое марка и активность цемента, от чего зависят?
16. В каком возрасте принято определять марку цемента и в каких условиях хранятся образцы перед испытанием?
17. Что происходит при разрушении цементного камня при первом, втором, третьем виде коррозии?
18. Наиболее эффективные меры борьбы с разрушениями цементного камня.
19. Достоинства и недостатки пуццолановых и шлаковых портландцементов.
20. Перечислите основные способы экономии цемента в производственных условиях

5. БЕТОНЫ

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды и заполнителя (песка, щебня или гравия) и в случае необходимости специальных добавок. Смесь этих материалов до затвердевания называют **бетонной смесью**.

Важную роль в формировании свойств бетона играет заполнитель (инертные материалы). Зерна песка и щебня составляют каменный остов (скелет) в бетоне. Цементное тесто, которое образуется после затворения бетонной смеси водой, обволакивает зерна песка и щебня, заполняя пустоты между ними, и играет роль смазки заполнителей, придающей бетонной смеси подвижность, а затвердевая, связывает зерна заполнителя в единый конгломерат, образуя искусственный камень – **бетон**.

Также заполнители снижают усадку при твердении бетонной смеси и снижают их стоимость за счет использования местных материалов. Заполнители для бетона выбирают по зерновому составу, прочности, морозостойкости, плотности, содержанию пылевидных и глинистых частиц, наличию и содержанию вредных и посторонних загрязняющих примесей, радиационно-гигиенической характеристике и другим показателям качества по ГОСТ 8267 и ГОСТ 8736. Бетон в сочетании со стальной арматурой называют **железобетон**. Бетон является одним из важнейших строительных материалов во всех областях строительства.

5.1. Классификация бетонов

Бетон является наиболее распространенным материалом в промышленном и гражданском строительстве. Он имеет множество разновидностей и применяется как конструкционный, отделочный и теплоизоляционный материал.

В соответствии с ГОСТ 26633 бетоны по показателям качества классифицируются по ряду признаков: назначению, по прочности, виду вяжущего, плотности, структуре, составу и т.д.

По прочности бетоны классифицируют:

- на классы прочности на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В70; В80; В90; В100; В110; В120;
- на классы прочности на осевое растяжение;
- на классы прочности на растяжение при изгибе.

По морозостойкости бетоны подразделяют на марки: на марки: F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800, F1000;

По водонепроницаемости на марки: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20. Класс бетона по прочности, марки по морозостойкости, водонепроницаемости и истираемости устанавливают в соответствии со СНиП и указывают в проектной и технологической документации, а также в стандартах на изделия и конструкции.

По плотности бетоны подразделяют на: особо тяжелые – плотность свыше 2500 кг/м^3 , тяжелые – средней плотностью от 2500 до 2000 кг/м^3 включительно, облегченные – плотностью от 2000 до 1800 кг/м^3 , легкие – плотностью от 1800 до 500 кг/м^3 , особо легкие – плотностью менее 500 кг/м^3 .

По различному сочетанию прочностных и теплоизоляционных свойств бетоны подразделяются на: конструкционные бетоны для несущих конструкций, конструкционно-теплоизоляционные для несущих конструкций в малоэтажном строительстве и для ограждающих конструкций и теплоизоляционные бетоны – применяются в качестве тепло- и звукоизоляции.

По структуре бетоны подразделяют:

- плотные – общая пористость не превышает 5 % (тяжелые и особо тяжелые бетоны);
- бетоны на пористых заполнителях – основная пористость приходится на заполнитель (керамзитобетон, туфобетон, пенополистиролбетон);
- крупнопористый бетон – пористая структура создается за счет пустот в крупном заполнителе, не заполненных мелким заполнителем (в основном бетоны из отходов деревоперерабатывающей промышленности – фибролит, ксилолит);
- ячеистый бетон – бетон, изготовленный без применения крупного заполнителя, в котором поры равномерно распределены по объему (пенобетон, газобетон).

По виду вяжущего различают: бетон на гидравлических вяжущих, известково-кремнеземистом вяжущем (силикатобетоны), бетоны на гипсовом вяжущем (гипсобетон). В строительстве наиболее широко применяется тяжелый бетон (порядка 80% от всего бетона, применяемого в строительстве).

5.2. Компоненты для тяжелого бетона

Цемент. Основные технические свойства цементов и требования, предъявляемые к ним, были описаны ранее в главе «минеральные вяжущие вещества». Минимальный расход цемента для бетона выбирают в зависимости от вида конструкции и в соответствии с принятыми стандартами по табл. 5.1¹.

Таблица 5.1

Минимальный расход цемента для тяжелых бетонов			
Вид конструкции	Расход цемента вида(типа), кг/м ³		
	ПЦ-ДО; ПЦ-Д5; ЦЕМ I; ЦЕМ I СС;	ПЦ-Д20; ЦЕМ II; ЦЕМ II СС;	ШПЦ ЦЕМ III АСС; ЦЕМ III; ЦЕМ IV; ЦЕМ V
Неармированные	Не нормируется		
Армируемые ненапрягаемой арматурой	с 150	170	180
Армированные напрягаемой арматурой	с 220	240	270

Затворитель. В качестве затворителя в бетоне используется вода. К воде предъявляются требования по ГОСТ 23732, также к воде предъявляются требования по кислотности (РН в пределах 4-12,5), содержанию сульфатов (не более 2000 – 2700 мг/л) и солей в целом (от 3000 до 5000 мг/л). Предельные значения меняются в таком значительном диапазоне, поскольку зависят от вида цемента, условий эксплуатации и ответственности конструкций.

¹ Гост 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 14 с.

Мелкий заполнитель. В качестве мелкого заполнителя в бетонах используют: песок природный, песок обогащенный и песок фракционированный.

Песок это природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке валунно-гравийно-песчаных, гравийно-песчаных и песчаных месторождений.

Песок обогащенный это природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, с улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц, полученный с использованием специального оборудования.

Песок фракционированный это природный неорганический сыпучий материал, разделенный на две или более фракций с использованием специального оборудования.

Требования к мелкому заполнителю. Основные требования к мелкому заполнителю предъявляются по зерновому составу и наличию примесей. В качестве мелкого заполнителя для бетонов применяют природный песок по ГОСТ 8736, песок из отсевов дробления горных пород по ГОСТ31424, их смеси, песок из доменных шлаков черной металлургии по ГОСТ 5578, а также мелкозернистые золошлаковые смеси по ГОСТ 25592.

Истинная плотность мелкого заполнителя должна находиться в пределах от 2000 до 2800 кг/м³ включительно. Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе для бетонов, не должно быть более 3 % по массе. Для бетонов класса В60 и выше содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе не должно быть более 2 % по массе¹.

В зависимости от зернового состава и содержания пылевидных и глинистых частиц песок подразделяют на два класса:

- класс I;
- класс II.

В зависимости от крупности зерен (модуля крупности) песок классов I и II подразделяют на группы:

¹ Гост 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 15 с.

- песок класса I - повышенной крупности, крупный, средний и мелкий;
- песок класса II - повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

Каждая группа песка характеризуется значением модуля крупности M_k в соответствии с табл. 5.2¹.

Таблица 5.2

Группа песка	Модуль крупности M_k
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5
Крупный	Св. 2,5 до 3,0
Средний	Св. 2,0 до 2,5
Мелкий	Св. 1,5 до 2,0
Очень мелкий	Св. 1,0 до 1,5
Тонкий	Св. 0,7 до 1,0
Очень тонкий	До 0,7

Полный остаток песка на сите N 063 должен соответствовать значениям, указанным в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Группа песка	Полный остаток на сите N 063, %
Повышенной крупности	Св. 65 до 75
Крупный	Св. 45 до 65
Средний	Св. 30 до 45
Мелкий	Св. 10 до 30
Очень мелкий	До 10
Тонкий	Не нормируется
Очень тонкий	-

Содержание в песке зерен крупностью св. 10; 5 и менее 0,16 мм не должно превышать значений, указанных в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Класс песка	Группа песка	Содержание зерен крупностью		
		Св. 10 мм	Св. 5 мм	Менее 0,16 мм
I	Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5
	Мелкий	0,5	5	10
II	Повышенной крупности	5	20	10
	Крупный и средний	5	15	15
	Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
	Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не нормируется

¹ Гост 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2015.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать значений, указанных в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Класс песка	Группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
I	Повышенной крупности, крупный и средний	2	0,25
	Мелкий	3	0,35
II	Повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
	Мелкий и очень мелкий	5	0,5
	Тонкий и очень тонкий	10	1,0

Содержание пылевидных и глинистых частиц в мелком заполнителе бетона класса В60 и выше не должно быть более 2 % по массе¹.

Зерновой состав песка должен обеспечивать так называемую плотную упаковку, когда мелкие частицы занимают большую часть объема пустот между крупными частицами, что приводит к максимальному снижению объема цементного камня. В свою очередь не допускается излишнее количество пылеватых частиц, которое по ряду причин приводит к снижению качества бетона. Для определения зернового состава осуществляют просев песка через стандартный набор сит размеров 5, 2,5, 1,25, 0,63, 0,315 и 0,16 мм. По результатам отсева рассчитываются в % частные a_i и полные A_i остатки на ситах. Под полным остатком на сите понимается сумма всех частных остатков, находящихся выше этого сита. Пример расчета приведен в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Наименование остатка	Диаметры сит, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	<0,16
a_i , г	0	100	150	250	350	120	30
a_i , %	0	10	15	25	35	12	3
A_i , %	0	10	25	50	85	97	-

¹ Гост 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 15 с.

По найденным полным остаткам строится график зернового состава, который сопоставляется с требованиями стандартов (рис. 5.1), и рассчитывается величина модуля крупности по формуле:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}$$

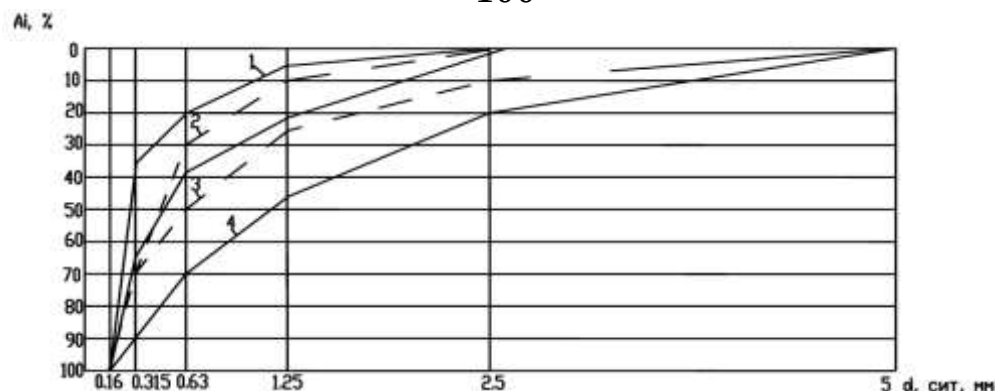


Рис. 5.1. Требования стандарта к зерновому составу мелкого заполнителя: 1 – допустимая нижняя граница крупности песка ($M_k = 1,5$); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k = 2,0$) для бетонов марки М200 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница ($M_k = 2,5$) для бетонов марки М350 и выше; 4 – допустимая верхняя граница крупности

Наиболее оптимальным для изготовления бетонной смеси считается песок с модулем крупности 2,5-3,25.

Крупный заполнитель. В качестве крупного заполнителя для бетонов применяют: щебень, щебень из гравия и гравий из плотных горных пород (ГОСТ 8267), щебень из отсеков дробления плотных горных пород (ГОСТ 31424), щебень из доменных шлаков черной металлургии (ГОСТ 5578), щебень из дробленого бетона и железобетона (ГОСТ 32495), щебень из шлаков ТЭЦ (ГОСТ 26644). Средняя плотность крупного заполнителя должна находиться в пределах от 2000 до 3000 кг/м³ включительно.

Щебень из горных пород это неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый дроблением горных пород, гравия, валунов.

Гравий из горных пород это неорганический зернистый сыпучий материал с зернами крупностью св. 5 мм, получаемый рассевом природных гравийно-песчаных смесей.¹

Требования к крупному заполнителю. К крупному заполнителю предъявляются требования по зерновому составу, прочности, наличию примесей и слабых зерен. Поскольку максимальная и минимальная крупность щебня и гравия может колебаться, стандартный набор сит для определения зернового состава имеет множество размеров: от 5(3) до 10 мм; св. 10 до 15 мм; св. 10 до 20 мм; св. 15 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80(70) мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм. По согласованию изготовителя с потребителем выпускают щебень и гравий в виде других смесей, составленных из отдельных фракций, а также фракций от 80(70) до 120 мм, св. 120 до 150 мм. Но просев обычно осуществляется через четыре контрольных сита размерами $1,25D_{\text{наиб}}$; $D_{\text{наиб}}$; $0,5(D_{\text{наиб}}+d_{\text{наим}})$; $d_{\text{наим}}$, а также сит размером: 2,5 и 1.25. Где $D_{\text{наиб}}$ –наибольшая крупность заполнителя, характеризуется размером отверстий сита, полный остаток на котором ещё не превышает 10 %; $d_{\text{наим}}$ – наименьшая крупность заполнителя, характеризуется размером отверстий первого из сит, на котором полный остаток составляет не менее 90 % от массы просеиваемой пробы табл.5.3.

Полные остатки на контрольных ситах при расसेве щебня и гравия фракций от 5(3) до 10 мм; св. 10 до 15 мм; св. 10 до 20 мм; св. 15 до 20 мм; св. 20 до 40 мм; св. 40 до 80(70) мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм должны соответствовать значениям, указанным в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	$d_{\text{наим}}$	$0,5(d_{\text{наим}}+D_{\text{наиб}})$	$D_{\text{наиб}}$	$1,25D_{\text{наиб}}$
Полные остатки на ситах, % по массе	От 90 до 100	От 30 до 60	До 10	До 0,5

Примечания: 1 Для щебня и гравия фракций от 5(3) до 10 мм и смеси фракций от 5(3) до 20 мм применяют дополнительно: нижние сита 2,5 мм (1,25 мм), полный остаток на которых должен быть от 95% до 100%. 2 По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать щебень и гравий с полным остатком на сите $0,5(d_{\text{наим}}+D_{\text{наиб}})$ от 30% до 80% по массе.

¹ Гост 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М. : Стандартинформ, 2016. - 15 с.

Для щебня и гравия фракций св. 80(70) до 120 мм и св. 120 до 150 мм, а также для смеси фракций, полные остатки на контрольных ситах диаметром $d_{\text{наим}}$; $D_{\text{наиб}}$; $1,25D_{\text{наиб}}$ должны удовлетворять указанным в табл. 5.3, а соотношение фракций в смесях устанавливается в соответствии с нормативными документами на применение этих смесей для строительных работ. Если значения $D_{\text{наиб}}$ и $d_{\text{наим}}$ заранее не известны, то они определяются экспериментально просевом через полный набор сит. По результатам просева, аналогично испытаниям мелкого заполнителя, производится расчет и строится график зернового состава, который сопоставляется с требованиями стандартов. Наибольшую крупность зерен заполнителя устанавливаю в стандартах на бетонные и железобетонные изделия и конструкции, которые утверждены в установленном порядке.

Поскольку основная задача крупного заполнителя в структурообразовании бетона – создание прочностного каркаса, наиболее важным для него свойством является прочность. Прочность щебня, полученного путем дробления горных пород характеризуется пределом прочности при сжатии образцов, выпиленных или высверленных из соответствующей горной породы. Но в большинстве случаев подобное испытание трудно осуществить. Наиболее приемлема **оценка прочности крупного заполнителя его маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре**. Для определения марки по дробимости используется приспособление – полый цилиндр с плунжером и съемным дном (рис. 5.3).

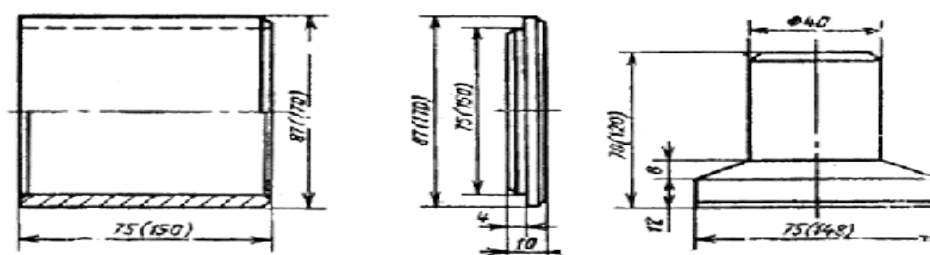


Рис. 5.3. Приспособление для определения марки по дробимости

Стандартом установлены следующие марки по дробимости щебня из осадочных и метаморфических горных пород: 1200; 1000; 800; 600; 400; 300

и 200. Из изверженных горных пород марки по дробимости щебня: 1400; 1200; 1000; 800; 600.

Кроме того, щебень и гравий предназначенные для строительства автомобильных дорог, характеризуются маркой по дробимости при сжатии (раздавливании) в цилиндре, а также маркой по истираемости. Марка по истираемости определяется испытанием пробы в полочном барабане. Марка по дробимости щебня из осадочных и метаморфических пород, а также марка по истираемости должны соответствовать требованиям государственных стандартов. Также к крупному заполнителю предъявляются **требования по содержанию зерен неправильной формы**, т.е. содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. Щебень в зависимости от содержания зерен пластинчатой и игловатой формы подразделяют на пять групп, которые должны соответствовать значениям, указанным в табл. 5.8¹.

Таблица 5.8

Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы

Группа щебня	Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, % по массе
1	10 включ.
2	Св. 10 до 15 включ.
3	Св 15 до 25 включ.
4	Св. 25 до 35 включ.
5	Св. 35 до 50 включ.

Для обычных бетонов содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в крупном заполнителе не должно превышать 35% массы, а для бетонов классов по прочности на сжатие В60 и выше содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не должно превышать 15% массы.

¹ ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2). М. : Госстрой России ГУП ЦПП, 1998. – 14 с.

Виды вредных примесей в заполнителях и их допустимое содержание определяют в соответствии с ГОСТ 8267.

В бетонах классов по прочности на сжатие В25 и выше содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из изверженных и метаморфических пород, щебне из гравия и в гравии не должно превышать 1.0 % от массы. Для бетонов класса В25 и выше содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне из осадочных пород не должно превышать 2.0% от массы. В бетонах класса по прочности выше В35 нельзя применять щебень из дробленого бетона и железобетона¹.

5.3. Свойства бетонной смеси

Поскольку бетонная смесь является полуфабрикатом для получения бетона, ее основным свойством является технологический параметр – удобоукладываемость.

Удобоукладываемость – способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться под действием собственной массы или от механического воздействия.

По удобоукладываемости все смеси подразделяются: на **жесткие** и **подвижные**, а их технологический параметр, соответственно, подразделяется на **жесткость** и **подвижность**.

Жесткость – способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться от механического воздействия.

Подвижность – способность бетонной смеси заполнять форму бетонируемого изделия и уплотняться под действием собственной массы. Подвижность бетонной смеси определяется по осадке (под собственной массой) стандартного конуса, отформованного из бетонной смеси (рис. 5.4).

Подвижность бетонной смеси характеризуется либо непосредственно осадкой конуса (ОК, см), либо маркой по подвижности (табл. 5.4).

После формирования конуса из жесткой смеси, её осадка равна нулю.

¹ Гост 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. –М.: Стандартинформ, 2016. - 15 с.

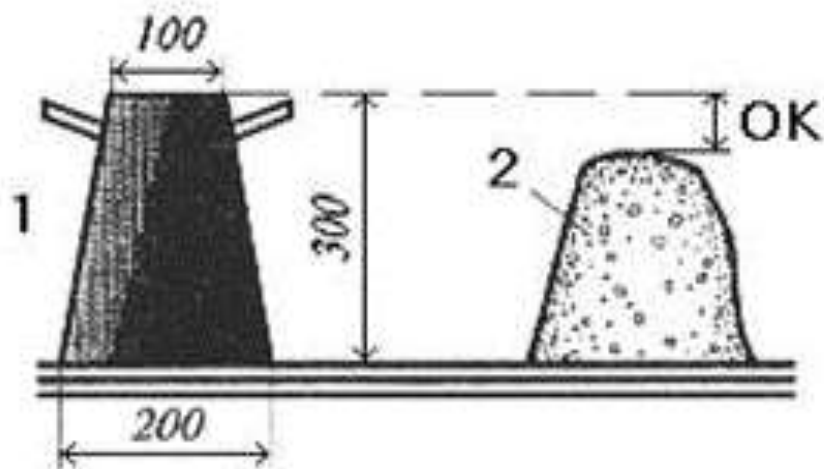


Рис. 5.4. Определение подвижности бетонной смеси: 1 – стандартный конус, 2 – бетонная смесь

Для определения жесткости бетонной смеси, отформованный конус устанавливают в стандартный прибор (рис. 5.5). Уплотняют ее на лабораторной виброплощадке, измеряя время, затраченное на уплотнение бетонной смеси. Жесткость бетонной смеси характеризуется временем уплотнения в секундах, либо маркой по жесткости (табл. 5.9).

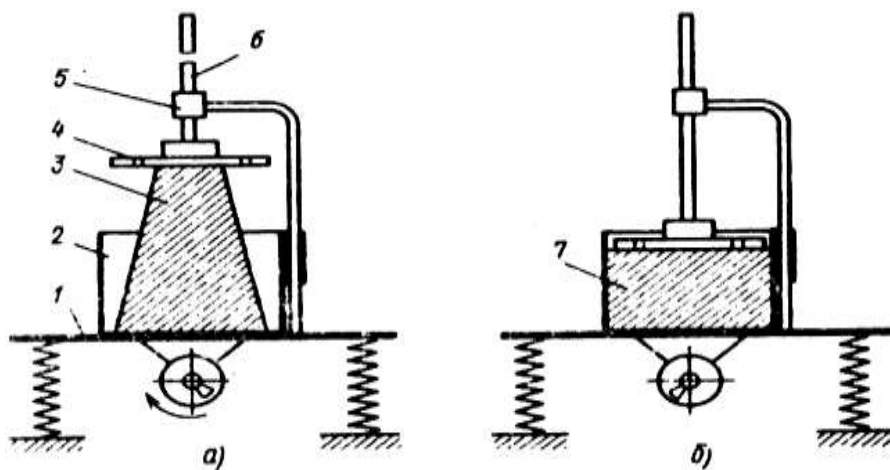


Рис. 5.5. Определение жесткости бетонной смеси: а – прибор в начальном положении; б – то же в момент окончания испытаний; 1 – виброплощадка; 2 – цилиндрическая форма; 3 – бетонная смесь; 4 – диск с отверстиями; 5 – втулка; 6 – штанга; 7 – бетонная смесь после вибрирования

Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателю	
	жесткости, с	подвижности, см
Ж4	31 и более	-
Ж3	21...30	-
Ж2	11...20	-
Ж1	5...10	-
П1	1...4	4 и менее
П2	-	5...9
П3	-	10...15
П4	-	16 и более

Смеси, время уплотнения которых составляет более 50 с, называют сверхжесткими. Если осадка конуса превышает 20 см, смесь называют литой.

5.4. Свойства бетона

Основными показателями качества бетона являются его прочность, морозостойкость и водопроницаемость.

Прочность. Предел прочности бетона при сжатии в среднем в 15 раз выше, чем при растяжении, по этому основной характеристикой прочности бетона является прочность на сжатие.

Отличительная особенность бетона – значительная неоднородность его свойств. Поскольку бетон – композитный материал, следовательно и вариация свойств заполнителей, вяжущего и технологических параметров накладываются друг на друга. Это приводит к ощутимому разбросу значений прочности даже для бетона одного состава, полученного на одних компонентах и на одном оборудовании. Для объективной оценки прочности бетона вводятся две характеристики – марка и класс бетона по прочности.

Марка бетона по прочности – это средняя прочность серии образцов кубиков размером ребра 15 см, изготовленных из рабочей бетонной смеси, твердевших при нормальных условиях (20 ± 2 °С, при 95 % влажности или в воде) и испытанных в возрасте 28 суток.

Допускается испытывать нестандартные образцы размером ребра 10, 20 и 30 см, но при расчете прочности используются переводные коэффициенты для приведения прочности к стандартному образцу (0,95, 1,05 и 1,1 соответственно). Количество образцов в серии может быть 6, 4, 3 и 2 и выбирается в зависимости от однородности свойств бетона. Во избежание влияния качества изготовления образцов на результаты испытаний (образцы, изготовленные на строительной площадке, уплотняются вручную), при испытании серии из 6 образцов отбрасываются 2 наименьших значения прочности, в сериях из 4 и 3 образцов – 1 наименьшее значение.

При обозначении марки, ее записывают как индекс «М» и числовое значение прочности в кг/см^2 (пример – М 350). Для тяжелого бетона установлены следующие марки по прочности на сжатие: 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800.

Класс бетона по прочности – гарантированное значение прочности бетона с обеспеченностью 0,95. Выражаясь языком математической статистики, класс бетона по прочности – это нижняя граница доверительного интервала прочности бетона с доверительной вероятностью (вероятностью попадания в этот интервал) 0,95.

В ряде источников утверждается, что это значит, что заданное классом значение прочности достигается в 95 случаях из 100. Это не соответствует действительности, поскольку речь идет о нормальном распределении – математической модели случайной величины. В теории вероятности случайная величина изменяется от $-\infty$ до $+\infty$. Обеспеченность 0,95 означает, что вероятность попадания в доверительный интервал составляет 95 %, а за его пределы – 5 % (не вероятное событие, существующее только в математической модели и не происходящее в реальной жизни, включающее выпадение значений от $-\infty$ до $+\infty$).

Фактически можно утверждать, что класс бетона по прочности – это гарантированное значение прочности в 100 случаях из 100.

Для определения класса бетона по прочности проводится статистическая обработка результатов испытаний нескольких серий образцов бетона, по методике указанной в ГОСТ 18105. По результатам этой обработки рассчитывается коэффициент вариации прочности бетона. Далее рассчитывается величина требуемой прочности бетона $R_{тр}$, МПа, по формуле:

$$R_{тр} = K_T \cdot B,$$

где K_T – коэффициент требуемой прочности, определяется по таблице 2 ГОСТ 18105; B – нормируемое значение прочности (проектное значение класса по прочности), МПа. Далее величина требуемой прочности сравнивается с результатами испытаний образцов. Если средняя прочность образцов в серии не ниже требуемой, считается, что класс бетона соответствует проектному значению (заданному при проектировании состава бетона). Таким образом, класс бетона по прочности является характеристикой однородности прочности бетона. Более того, при проектировании строительных конструкций используется именно класс бетона по прочности, а не марка, поскольку это гарантированное значение.

Улучшение однородности прочности бетона за счет повышения уровня культуры производства позволит повысить прочностные показатели бетона (увеличение класса бетона при одной и той же марке), либо понизить расход вяжущего (понижение марки при сохранении класса бетона). Соотношение между классом и маркой бетона приведено в табл. 5.10.

Таблица 5.10

**Соотношение между марками и классами тяжелого бетона
по прочности при коэффициенте вариации 13,5 %**

Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона	Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона
B3,5	46	M50	B30	393	M400
B5	65	M75	B35	458	M450
B7,5	98	M100	B40	524	M550
B10	131	M150	B45	589	M600
B12,5	164	M150	B50	655	M600
B15	196	M200	B55	720	M700
B20	262	M250	B60	786	M800
B25	327	M350	-	-	-

Помимо класса и марки бетона по прочности, определяемых для бетона, твердевшего 28 суток, существуют также промежуточные значения прочности, являющиеся технологическими характеристиками бетона –

распалубочная, отпускная, передаточная прочности. Эти характеристики могут определяться в возрасте 3, 7, 14 суток в зависимости от технологии. В ряде случаев, для определения фактической прочности образцы твердеют в тех же условиях, что и бетонируемая конструкция. При производстве железобетона в заводских условиях определяется прочность при пропаривании.

Марка бетона по морозостойкости. Морозостойкость бетона оценивается путем попеременного замораживания при минус (18 ± 2) °С и оттаивания в воде при (20 ± 2) °С предварительно насыщенных **водой** образцов испытуемого бетона (ГОСТ 10060). Продолжительность одного цикла – не менее 4 ч для образцов 100х100х100 мм и не менее 6 ч для образцов 150х150х150 мм.

За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов «замораживания – оттаивания», которое образцы выдерживают без снижения прочности на сжатие более 10 % (15 % для легких бетонов) по сравнению с прочностью контрольных образцов в начале испытаний и потери массы более 2 %. Установлены следующие марки бетона по морозостойкости: F 50, F75, F100, F150, F200, F300, F400, F500, F600, F800,

Стандартом предусмотрены и ускоренные методы испытаний в растворе соли или глубоким замораживанием до минус (50 ± 5) °С.

Поскольку на морозостойкость бетона влияют открытая пористость и водопоглощение, **повышения морозостойкости** можно добиться за счет: снижения пористости (снижения расхода воды в бетон за счет введения пластифицирующих добавок); повышения закрытой пористости (введение воздухововлекающих добавок); обработка бетона гидрофобными пропитками.

Марка бетона по водонепроницаемости. Водонепроницаемость бетона определяется испытанием образцов цилиндров размером 15х15 см. К образцам подводят воду и последовательно повышают ее давление до тех пор, пока вода не начнет просачиваться сквозь них. Бетону присваивается марка по водонепроницаемости, в которой число обозначает давление воды в атмосферах, при котором началось просачивание. По водонепроницаемости бетон делят на марки W2, W4, W6, W8, W12, W14, W16, W18, W20;

5.5. Проектирование состава тяжелого бетона

Состав бетона – соотношение компонентов бетонной смеси. Состав может задаваться в виде соотношений – расход заполнителей задается в виде отношений к расходу цемента, водоцементное соотношение задается отдельно (1:2,5:3,5 при В/Ц равном 0,5); или в табличном виде (табл. 5.11).

Таблица 5.11

Пример состава бетона			
Ц	Щ	П	В
300	1050	750	150

Проектирование состава состоит из расчета и корректировки. **Исходными данными для расчета состава бетона** являются: проектная марка бетона по прочности на сжатие, требуемая марка бетонной смеси по удобоукладываемости, свойства компонентов бетона.

Первым этапом расчета является определение цемента-водного отношения по уравнению Болломея - Скрамтаева:

$$R_6 = AR_{ц}(\text{Ц}/\text{В} - 0,5) , \text{ при } \text{Ц}/\text{В} \leq 2,5 \text{ или } \text{В}/\text{Ц} \geq 0,4$$

$$R_6 = A_1 R_{ц}(\text{Ц}/\text{В} + 0,5), \text{ при } \text{Ц}/\text{В} > 2,5 \text{ или } \text{В}/\text{Ц} < 0,4$$

где R_6 – проектная марка бетона по прочности; $R_{ц}$ – марка (активность) цемента по прочности; A и A_1 – коэффициенты, учитывающие качество заполнителя (табл. 5.12).

Водоцементное отношение для $\text{Ц}/\text{В} \leq 2,5$ определяется как

$$\text{Ц}/\text{В} = R_6 / AR_{ц} + 0,5.$$

Следующим шагом определяется водопотребность бетонной смеси по табл. 5.13.

По полученным значениям расхода воды и цемента-водного отношения определяется расход цемента

$$\text{Ц} = \text{Ц}/\text{В} \cdot \text{В},$$

Таблица 5.12

Значения характеристик заполнителей бетона

Характеристика заполнителей бетона	A	A ₁
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания: *Высококачественные материалы:* щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности; заполнитель чистый, промытый, фракционированный, с оптимальным зерновым составом смеси фракций.

Рядовые материалы: заполнители среднего качества, в том числе гравий, отвечающие требованиям стандарта, портландцемент средней активности и высокомарочный шлакопортландцемент.

Материалы пониженного качества: крупный заполнитель низкой активности и мелкие пески, цементы низкой активности.

Таблица 5.13

Расход воды на 1 м³ бетона

Осадка конуса ОК, см	Показатель жёсткости, Ж, с	Расход воды на 1 м ³ бетона, кг, при наибольшей крупности							
		гравия, мм				щебня, мм			
		10	20	40	70	10	20	40	70
–	40 ... 50	150	135	125	120	160	150	135	130
–	25 ... 30	160	145	130	125	170	160	145	149
–	15 .20	165	150	135	130	175	165	150	145
2...4	10 ... 15	175	160	145	140	185	175	160	155
5...7	–	190	175	160	155	200	190	175	170
8...10	–	200	185	170	165	210	200	185	180
10...12	–	205	190	175	170	215	205	190	185
12...16	–	215	205	190	180	225	215	200	190
16...20	–	220	210	197	185	230	220	207	195
	–	227	218	203	192	237	228	213	202

Расчёт расхода заполнителей определяют, опираясь на следующие предположения:

а) Сумма абсолютных объемов всех компонентов бетона должна быть равна 1 м³ или 1000 л уплотненной бетонной смеси:

$$Ц/\rho_{ц} + В/\rho_{в} + П/\rho_{п} + Щ(\Gamma)/\rho_{щ(\Gamma)} = 1000;$$

б) пустоты между зёрнами крупного заполнителя должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с некоторой раздвижкой зёрен $\alpha_{р.з.}$.

Это положение записывается уравнением:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{В}{\rho_{в}} = \frac{\frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(\Gamma)}^H} \cdot \Pi_{пуст} \alpha}{\rho_{щ(\Gamma)}^H},$$

где Ц; В; П; Щ(Г) – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг; $\rho_{ц}$; $\rho_{п}$; $\rho_{в}$; $\rho_{щ(\Gamma)}$ – истинные плотности этих материалов, кг/л; $\rho_{щ(\Gamma)}^{Hac}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/л; $\Pi_{пуст}$ – пустотность крупного заполнителя в долях единицы объёма, (см. п 1.4), α - коэффициент раздвижки зерен.

$$\Pi_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_{cp}}{\rho_u}\right) 100,$$

где $\alpha_{р.з.}$ – безразмерный коэффициент раздвижки зёрен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором – отношение объёма растворной части бетонной смеси к объёму пустот в крупном заполнителе, определяется по графику (рис. 5.6). Решая совместно уравнения, получим формулы для определения расхода крупного и мелкого заполнителей для бетона:

а) крупного заполнителя

$$\frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(\Gamma)}^H} = \frac{1000}{\frac{\Pi_{пуст} \alpha_{р.з.}}{\rho_{щ(\Gamma)}^H} + \frac{1}{\rho_{щ(\Gamma)}^H}}$$

б) песка

$$\Pi = [1000 - (\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Щ(\Gamma)}{\rho_{щ(\Gamma)}^H})] \rho_{п}.$$

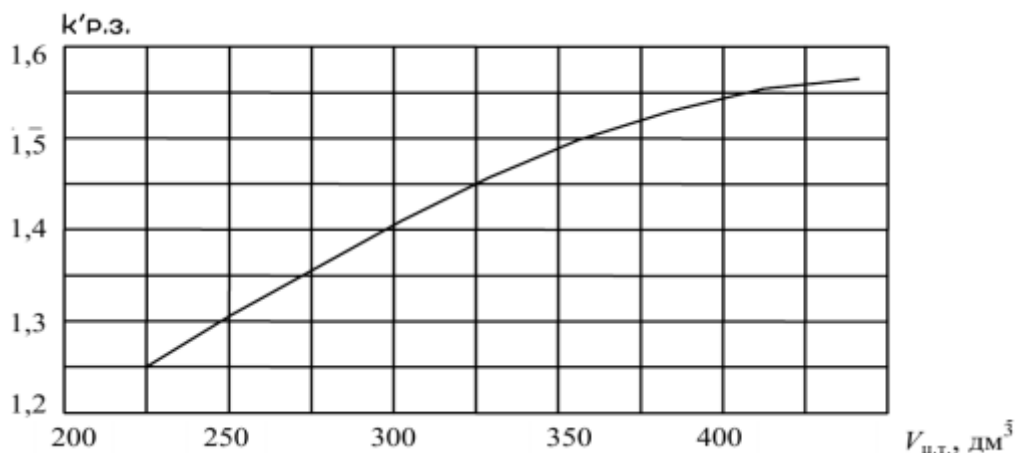


Рис. 5.6. Коэффициент раздвижки зерен

Состав, полученный по результатам данного расчета, называют номинальным или лабораторным.

Номинальный состав бетона – состав бетона, полученный в результате расчета, на сухих заполнителях.

После получения номинального состава производится пробный замес. У полученной смеси определяют показатель удобоукладываемости. Если он отличается от проектного значения, то состав смеси корректируют путем увеличения (уменьшения) количества цементного теста при необходимости повысить (понижить) подвижность. Если требуемая подвижность достигнута, из бетонной смеси изготавливают серию образцов кубиков для определения соответствия фактической прочности значению, принятому при проектировании. Если условие прочности не выполняется, производят перерасчет с повышением требуемого значения прочности.

В виду того, что заполнители для приготовления бетона хранятся в открытых складах и имеют некоторую естественную влажность, производится **корректировка состава бетона по влажности заполнителей**. Скорректированный состав называют производственным или полевым.

Корректировка состава производится по следующим формулам:

$$\text{Щ}(\Gamma)_{\text{пол}} = \text{Щ}(\Gamma)_{\text{лаб}} \cdot (1 + W_{\text{щ}(\Gamma)}),$$

$$\text{П}_{\text{пол}} = \text{П}_{\text{лаб}} \cdot (1 + W_{\text{п}}),$$

$$B_{\text{пол}} = B_{\text{лаб}} - \text{Щ}(\Gamma)_{\text{лаб}} \cdot W_{\text{щ}(\Gamma)} - \text{П}_{\text{лаб}} \cdot W_{\text{п}},$$

где $Щ(Г)_{пол}$, $П_{пол}$, $В_{пол}$ и $Щ(Г)_{лаб}$, $П_{лаб}$, $В_{лаб}$ – производственные и номинальные расходы воды, крупного и мелкого заполнителей, кг; $W_{щ(г)}$, $W_{п}$ – влажность крупного и мелкого заполнителя в долях.

По окончании корректировки состав пересчитывается с 1 м^3 на объем замеса бетоносмесителя. Поскольку насыпной объем минеральных компонентов смеси превышает конечный объем смеси, для правильного выбора бетоносмесителя рассчитывается **коэффициент выхода бетонной смеси**, который находится в границах $0,6 - 0,7$:

$$\beta = \frac{1}{V_{щ(г)} + V_{п} + V_{ц}}$$

где $V_{щ(г)}$, $V_{п}$, $V_{ц}$ – насыпные объемы заполнителей (определяются в естественно – влажном состоянии) и цемента, м^3 .

5.6. Технология производства бетонных работ

Технология производства бетонных работ включает в себя следующие технологические операции: изготовление, транспортирование, укладка и уплотнение бетонной смеси.

Приготовление бетонной смеси состоит из двух этапов – дозирование и перемешивание компонентов. В зависимости от того, задан ли состав в массовых или объемных соотношениях, дозирование осуществляется массовыми (отмеряющими массу) или объемными (отмеряющими объем) дозаторами. Чаще всего минеральные компоненты смеси отмеряются массовыми дозаторами, а вода – объемными. Перемешивание осуществляется в бетоносмесительных машинах. Бетоносмесители бывают гравитационного и принудительного действия. В гравитационных бетоносмесительных установках перемешивание осуществляется за счет вращения корпуса с приваренными к нему лопастями. Они применяются для бетонных смесей на плотных прочных заполнителях. В бетоносмесительных установках принудительного действия перемешивание осуществляется за счет вращения вала или ротора с лопастями. Они применяются для бетонных смесей на пористых заполнителях, а также для приготовления пенобетонной смеси (рис. 5.7).

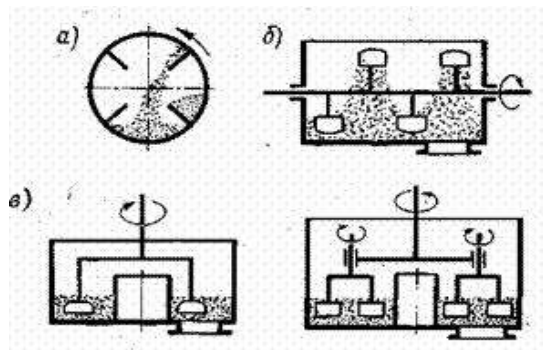


Рис. 5.7. Схемы бетоносмесителей: а) – гравитационного; б) – принудительного действия с лопастным валом; в) – принудительного действия с ротором

Технология приготовления бетонной смеси может осуществляться циклическим и непрерывным способом. При **циклическом способе** компоненты дозируются в бетоносмесительную установку в количестве, необходимом на один замес, затем осуществляется их перемешивание и отгрузка готовой смеси. При **непрерывном способе** компоненты дозируются в бетоносмесительную установку с постоянным расходом в единицу времени, а дозирование, перемешивание и отгрузка бетонной смеси происходят одновременно и непрерывно. По такому принципу дозаторы и бетоносмесители подразделяются на циклические и непрерывного действия.

Транспортирование бетонной смеси. Транспортирование бетонных и смесей от места их приготовления к месту укладки осуществляется различными типами машин в зависимости от дальности и условий перемещения, состава смеси, характера сооружаемого объекта, объемов и технологии выполняемых работ.

Для перевозки на большие расстояния (до 30 км) товарных бетонных и растворных смесей от бетоносмесительных установок к строящимся сооружениям применяют специализированные транспортные средства на базе грузовых автомобилей – автобетоносмесители, автобетоновозы. Транспортирование смесей в пределах строительной площадки (на расстояние до 300 м и высоту до 50 м) наиболее эффективно осуществляется средствами трубного транспорта – бетононасосами. Современные бетононасосы – поршневые машины с механическим и гидравлическим приводом. Бетононасосы с механическим приводом выполняют одноцилиндровыми, а с гидравлическим приводом – двухцилиндровыми.

При строительстве железобетонных коллекторов, туннелей и других сооружений применяют пневматические бетононагнетатели, которые используют для транспортирования бетонной смеси по трубам - энергию сжатого воздуха.

При производстве сборного железобетона на заводах смесь к месту укладки транспортируют в бадах краном или самоходной тележкой.

Укладка и уплотнение бетонной смеси. Для уплотнения бетонной смеси при ее укладке применяют вибрирование. Методы вибрирования подразделяются на поверхностное, глубинное (рис. 5.8) и объемное.

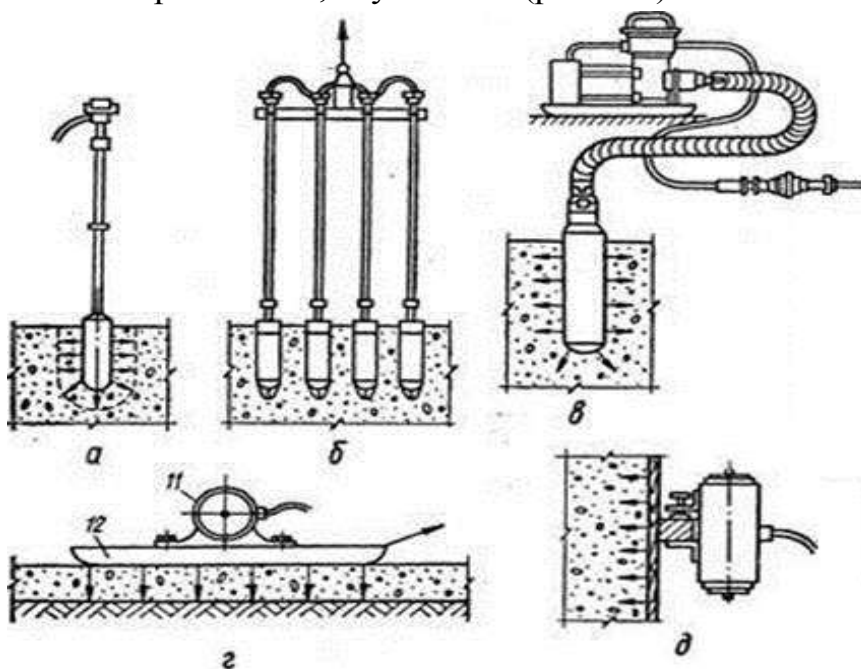


Рис. 5.8. Схема вариантов уплотнения бетона: а) – глубинным вибратором; б) – пакетом глубинных вибраторов; в) – вибратором с гибким валом; г) – поверхностным вибратором; д) – наружным вибратором

Под объемным вибрированием понимается уплотнение изделий сборного железобетона на виброплощадке.

Также, на заводах сборного железобетона применяют ряд других методов формования: вибропрессование (для уплотнения жестких смесей), вибровакуумирование, центрифугирование (для формования изделий кольцевого сечения).

5.7. Методы зимнего бетонирования

В зимний период при укладке бетонной смеси понижение температуры и замерзание воды в ее составе приводит к прекращению химической реакции твердения бетона. Последующее нарастание прочности при оттаивании бетона и набор марочной прочности зависят от происшедших структурных изменений в бетоне.

Если замораживание произошло сразу после укладки бетона в конструкцию, то дальнейшее повышение температуры приводит к оттаиванию бетона и набору им заданной марки. Однако, если твердение бетона уже началось, для замораживания конструкции необходимо достижение **критической прочности** – прочности, при которой сформировавшаяся структура бетона уже способна к восприятию без разрушения давления замерзающей воды, возникающего от давления льда, вследствие увеличения его объема по отношению к воде на 9 %.

Для набора критической прочности, которая составляет в зависимости от марки бетона 25 – 50 %, применяют комплекс мер:

- теплоизоляцию поверхности свежеложенного бетона, приготовленного на подогретых компонентах (заполнители нагревают до 30 °С, воду до 90 °С) – метод термоса;
- тепловую обработку с использованием энергии пара, нагретого воздуха или электрического тока;
- использование высокоэффективных быстротвердеющих цементов;
- введение специальных противоморозных добавок, обеспечивающих гидратацию вяжущего за счет понижения температуры замерзания воды;
- снижение расхода воды затворения;
- гелиообработка – применяют или гелиоформы, фокусирующие энергию солнца, или специальные пленочные покрытия черного цвета.

5.8. Особые виды тяжелого бетона

Для конструкций, эксплуатируемых в специфических условиях и подвергающихся особым видам воздействия, применяют специальные виды тяжелого бетона.

Высокопрочный модифицированный бетон. Отличается высокой прочностью на сжатие (60-80 МПа и выше), высокой плотностью, практически нулевым водопоглощением. Этот бетон получают на основе чистых заполнителей с хорошим зерновым составом (на фракционированном щебне из плотных и прочных горных пород, песке с пустотностью не выше 40 %) с добавками суперпластификатора и дисперсного наполнителя (например, микрокремнезема – SiO_2 в аморфной форме, имеющего ультратонкие частицы). Высокопрочный бетон применяют для ответственных сооружений (для высотных зданий, защитных сооружений).

Бетон для дорожных и аэродромных покрытий. К этому виду бетона предъявляют требования высокой прочности на изгиб, коррозионной стойкости, малого водопоглощения. Получают его на основе специальных цементов нормированного минерального состава (ПЦ-500-Н) с содержанием C_3A до 5 %, применением химических добавок (пластификаторов, воздухововлекающих и др.). При изготовлении бетона ограничивают водоцементное отношение (В/Ц должно быть не более 0,5 – 0,55).

Гидротехнический бетон. Должен иметь высокую прочность, долговечность и в то же время сравнительно низкую стоимость. С этой целью гидротехнические сооружения разделяют на разные (обычно три) зоны, для которых применяют свой бетон. Для подводной зоны используют бетон на пуццолановом портландцементе, который отличается водонепроницаемостью и сульфатостойкостью. Наиболее ответственную зону – зону переменного уровня воды – выполняют из высококачественного бетона на сульфатостойком портландцементе. Для надводной зоны применяют более дешевый вид бетона на шлакопортландцементе, белитовом портландцементе с меньшим тепловыделением. С целью улучшения свойств в гидротехнический бетон вводят различные добавки, в том числе микронаполнители (микрокремнезем и др.). Важным является правильное назначение В/Ц, от значений которого во многом зависят плотность, прочность и долговечность бетона.

Бетон для защиты от радиации. Для защиты от γ -излучения используют особо тяжелый бетон на чугунном, свинцовом и другом сверхтяжелом заполнителе. Такие бетоны требуют тщательного подбора состава, соблюдения технологических режимов изготовления и твердения.

Нейтронное излучение наиболее эффективно поглощается гидратными бетонами, имеющими повышенное содержание химически связанной воды. Для их приготовления чаще всего используют глиноземистый цемент, а в качестве заполнителей – лимонит и серпентин. В бетон вводят добавки, содержащие легкие элементы: литий, фтор и др. Особые требования, прежде всего по долговечности и прочности, предъявляются к бетонам для подземных хранилищ радиоактивных отходов и других захоронений. При их изготовлении обязательно вводят дисперсные наполнители (микрокремнезем и др.) в композиции с суперпластификатором.

Декоративный (архитектурный) бетон предназначен для отделки зданий и сооружений. Применяются светлые, цветные и офактуренные (имитирующие природный камень и т.п.) бетоны. В качестве вяжущего используют белый портландцемент, цветные цементы, иногда используют обычный портландцемент с отбеливающей добавкой и (или) с добавкой пигмента. Мелким заполнителем обычно служит природный песок. Для получения бетонов светлых тонов применяют белые кварцевые пески (для стекольной промышленности). В качестве крупного заполнителя используют щебень из мрамора, гранита, известняка, доломита. Для получения цветного бетона на белом цементе в бетонную смесь добавляют различные минеральные и органические пигменты. Для достижения высокой прочности и долговечности архитектурного бетона в него вводят дисперсные наполнители (микрокремнезем и др.) в композиции с суперпластификатором и другие добавки.

Жаростойкий бетон предназначен для изделий и конструкций, работающих в условиях длительного воздействия высоких температур (свыше 200 °С). Этот бетон изготавливают на портландцементе с активными минеральными (жаростойкими) добавками, глиноземистом цементе, жидком стекле с добавкой отвердителя – кремнефтористого натрия, а также жаростойких заполнителях (шамоте, магнезите, хромомagneзите и др.).

Бетоны химически стойкие предназначены для изделий и конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред: минеральных и органических кислот, солей и оснований, растворителей и нефтепродуктов. Их изготавливают на основе фурановых, фураноэпоксидных, карбамидных, акриловых синтетических смол (полимербетоны), жидкого

стекла с добавкой отвердителя – кремнефтористого натрия (жидкостекольные бетоны), жидкого стекла с полимерной добавкой (полимерсиликатные бетоны), серы (серные композиты). Используют химически стойкие заполнители: базальт, андезит, диабаз.

Бетоны с компенсированной усадкой и напрягающие бетоны. Это бетоны на основе расширяющихся и напрягающих цементов, предназначенные для получения водонепроницаемых и самонапряженных (из напрягающего бетона) конструкций. Использование специальных цементов, а также соответствующих добавок обуславливает компенсацию усадки бетона и даже определенное остаточное расширение, что позволяет получить плотную структуру и, соответственно, высокую степень водо- и газонепроницаемости (марка по водонепроницаемости не ниже W 12). Кроме того, эти бетоны отличаются высокой маркой по морозостойкости (от 300 до 1000 и более).

Мелкозернистый бетон характеризуется максимальной крупностью заполнителей до 10 мм. К таким бетонам относятся песчаные бетоны (пескобетоны). Ранее производство мелкозернистых бетонов сдерживалось необходимостью увеличения расхода воды и цемента вследствие большой удельной поверхности заполнителей. В настоящее время развитие технологии бетона позволяет за счет специальных мер ликвидировать этот недостаток и в полной мере ощутить достоинства таких бетонов:

- возможность создания однородной структуры;
- отказ от дорогостоящего крупного заполнителя;
- возможность получения качественной поверхности изделий при формировании методами прессования;
- вибропрессования;
- вибролитья;
- легкая транспортируемость, в том числе по трубопроводам;
- эффективность армирования дисперсной арматурой (фибробетоны).

Для снижения расхода воды и цемента следует применять крупные чистые пески с хорошим зерновым составом, химические добавки (суперпластификаторы), а также интенсивное уплотнение бетонной смеси.

5.9. Ячеистые бетоны

Ячеистыми бетонами называют искусственные каменные материалы, состоящие из затвердевшего вяжущего вещества (или смеси вяжущего и заполнителя) с равномерно распределёнными в нем воздушными ячейками.

Ячеистые бетоны подразделяют по способу получения пористой структуры на газобетоны и пенобетоны; по условиям твердения на бетоны автоклавного, неавтоклавного и естественного твердения.

Пенобетон получают путем смешения растворной смеси с технической пеной и последующим твердением полученной массы в формах. В качестве пенообразующих веществ применяются клееканифольная эмульсия, алюмосульфонафтенная эмульсия и др.

Газобетон получают из раствора на цементном или силикатном связующем путем добавления в него газообразователя. Как правило, в качестве газообразователя используется алюминиевая пудра. Газообразователь, реагируя с продуктами гидратации вяжущего, выделяет газ, в результате чего в смеси создается ячеистая структура.

В строительстве применяются различные изделия из ячеистых бетонов: панели, блоки и камни для наружных и внутренних стен и перегородок, плиты для утепленных кровель промышленных сооружений и т. д.

Прочностные свойства ячеистых бетонов зависят в большей степени от вида вяжущего и условий твердения. Наиболее прочными являются автоклавные ячеистые бетоны, их прочность превышает прочность ячеистых бетонов естественного твердения в 8-10 раз.

Прочность автоклавного и неавтоклавного бетонов характеризуют классами по прочности на сжатие в соответствии со СТ СЭВ 1406.

Для бетонов установлены следующие классы: B0,5; B0,75; B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15.

Для конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406, показатели прочности бетона на сжатие характеризуются марками: M7,5; M10; M15; M25; M35; M50; M75; M100; M150; M200.

По показателям средней плотности назначают следующие марки бетонов в сухом состоянии: D300; D350; D400; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200.

Для бетонов конструкций, подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию, назначают и контролируют следующие марки бетона по морозостойкости МРЗ: 15; 25; 35; 50; 75; 100.

Назначение марки бетона по морозостойкости проводят в зависимости от режима эксплуатации конструкции и расчетных зимних температур наружного воздуха в районах строительства.

5.10. Железобетон

Железобетон – композитный материал, в котором совместно работают бетон и стальная арматура.

Как уже упоминалось выше, бетон имеет прочность на растяжение в 10-15 раз меньшую, чем на сжатие. Для повышения прочности конструкций в зоне растягивающих напряжений в них вводят стальную арматуру. К зонам растягивающих напряжений относят:

- нижние слои перекрытий (конструкции – плиты перекрытий, балки, фермы);
- боковые поверхности конструкций, работающих на сжатие (колонны, сваи).

Эффективность совместной работы стальной арматуры и бетона обеспечивается одинаковыми коэффициентами температурного расширения этих материалов, высоким уровнем сцепления между ними, а также слабощелочной средой цементного камня, защищающей арматуру от коррозии.

Железобетон по технологии производства подразделяется на сборный и монолитный. **Сборный железобетон** представляет собой отдельные элементы железобетонных конструкций (рис. 5.9), изготавливаемые в заводских условиях (ЖБИ, ДСК) из которых в последствии уже на строительной площадке собирается здание или сооружение.

Монолитный железобетон это железобетонные конструкции, все технологические операции по производству которых происходят на строительной площадке (за исключением изготовления бетонной смеси,

которая может производиться на заводе (РБУ) с последующей транспортировкой ее на строительную площадку).

Технологические операции по производству железобетона включают в себя: изготовление бетонной смеси, сборка формы (опалубки), изготовление и установка арматурных изделий, бетонирование, мероприятия по ускорению твердения бетона, распалубка. Ряд технологических операций был разобран выше (пп. 5.6-5.7).

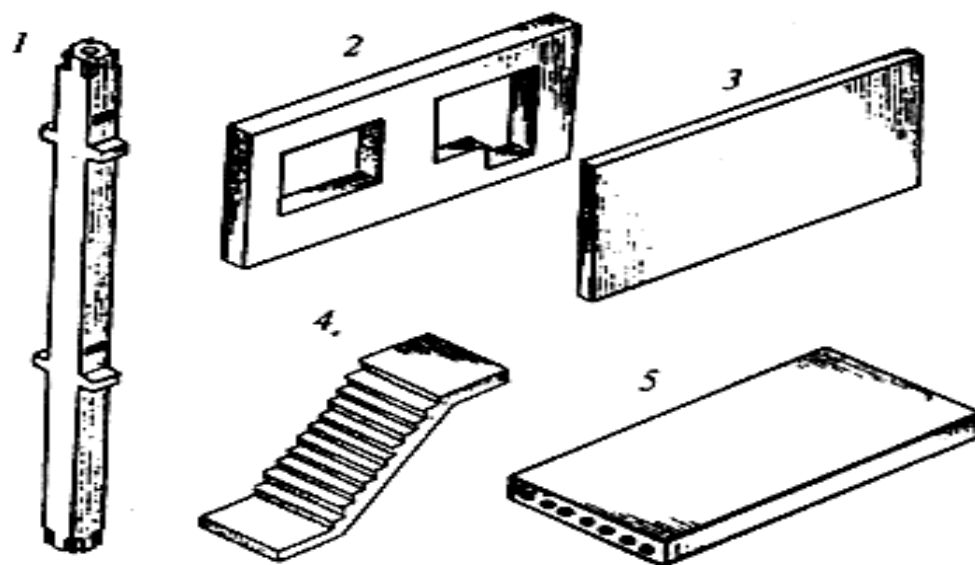


Рис. 5.9. Сборные железобетонные конструкции:
1 – колонна; 2 – наружная стеновая панель; 3 – панель перегородки;
4 – лестничный марш; 5 – плита перекрытия многопустотная

Сборка формы включает в себя чистку элементов формы, их сборку и нанесение смазки, обеспечивающей низкое сцепление элементов формы с бетонизируемым изделием при распалубке.

Изготовление арматурных изделий. Арматура, воспринимающая растягивающие напряжения в железобетонной конструкции, называется **рабочей**; применяемая для обеспечения проектного положения арматуры в элементах конструкций – **монтажной**. Оба вида арматуры – рабочую и монтажную – объединяют в арматурные изделия – сварные и вязаные сетки и каркасы (плоские и пространственные), которые соответствующим образом

размещают в железобетонных элементах. Виды и маркировка арматурной стали приведены в п. 2.5.

Мероприятия по ускорению твердения бетона. Для осуществления технологической операции распалубки необходимо обеспечить определенный уровень прочности бетона. Как правило бетон, твердеющий в нормальных условиях, набирает необходимую прочность в течение 3-7 суток (рис. 10). При заводском изготовлении железобетонных изделий не рационально ожидать столь продолжительный срок – снижается производительность производства. Для увеличения темпов твердения бетона в заводских условиях чаще всего применяют тепловлажностную обработку.

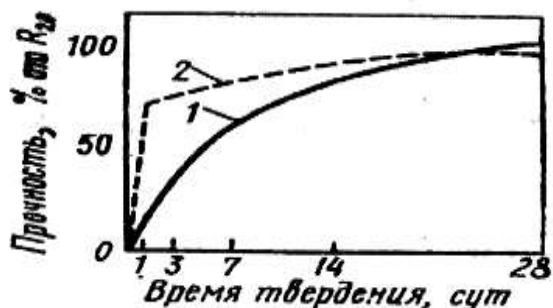


Рис. 5.10. Кривые нарастания прочности бетона: 1 – нормальное твердение при 20°C; 2 – пропаривание при 85°C

Тепловлажностная обработка железобетонных изделий заключается в их нагреве паром и выдержке при заданной температуре и влажности. Обычно она проходит в специальных установках – пропарочных камерах. В зависимости от технологии производства пропарочные камеры бывают циклические (ямные камеры) и непрерывного действия (тоннельные, щелевые, вертикальные) рис 5.11.

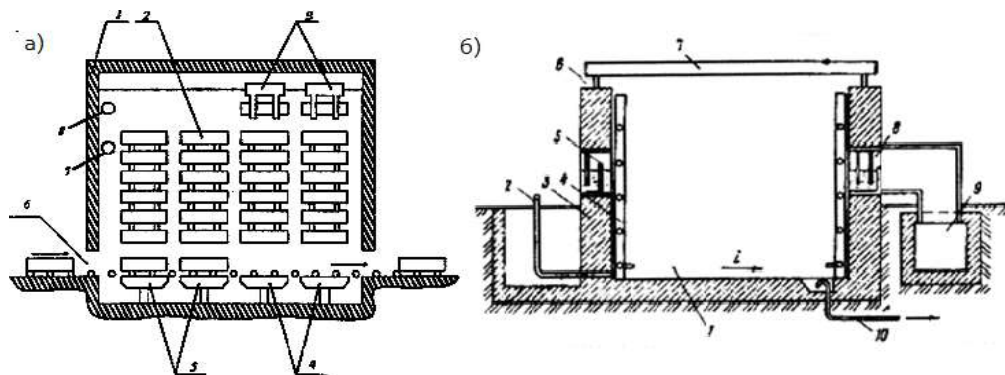


Рис. 5.11. Схемы пропарочных камер: а) вертикальная камера: 1 – ограждение камеры; 2 – формы с изделиями; 3 – передаточная тележка; 4 – стол-снижатель; 5 – стол-подъемник; 6 – вход в камеру; 7 – трубчатое кольцо; 8 – кольцевой паропрогрев;

б) ямная камера: 1 – камера; 2 – паропровод; 3 – стены камеры; 4 – стойки с кронштейнами; 5 – отверстие для забора воздуха; 6 – гидрозатвор крышки; 7 – крышка; 8 – гидрозатвор; 9 – канал для отбора паровоздушной смеси; 10 – система отбора конденсата

Способы производства сборного железобетона. Современные предприятия по изготовлению железобетона используют следующие способы производства изделий:

Стеновый – способ, при котором бетон заливается в неподвижные формы на плоских матрицах или стендах. При этом технологические агрегаты последовательно передвигаются от поста к посту, где на каждом посту происходит выполнение определенных операций. Стеновый способ применяют при изготовлении изделий большого размера (ферм, балок и т.п.). Данный способ производства предполагает наличие достаточно крупных производственных площадей (рис. 5.12)

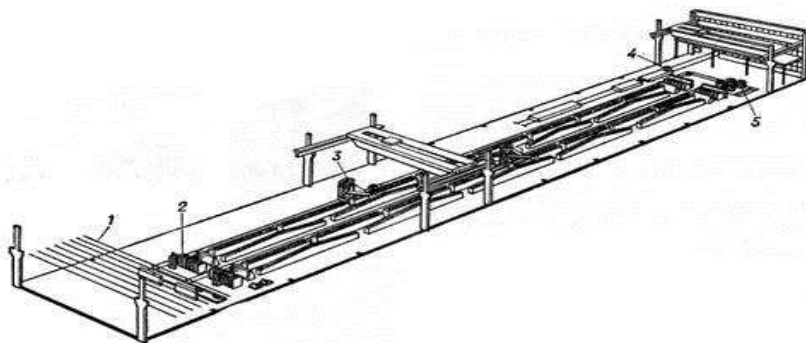


Рис. 5.12. Технологическая схема стенового производства предварительно напряжённых линейных изделий (стропильных балок): 1 – эстакада для подачи бетона; 2 – гидродомкрат; 3 – бетонораздатчик; 4 – самоходная тележка для вывоза готовых изделий; 5 – бухтодержатель

Поточно-агрегатный – способ, при котором все технологические операции (очистка и смазка форм, армирование, формование, твердение, распалубка) выполняются на специализированных постах, которые оборудованы стационарными машинами и установками, образующими поточную технологическую линию. Формы с изделиями последовательно перемещаются по технологической линии от поста к посту. Этот способ требует максимально больших производственных площадей и крупных капитальных затрат (рис 5.13). Номенклатура изделий, производимых этим способом, весьма широка, линия легко переоснащается. Производительность выше, чем у стандового способа.

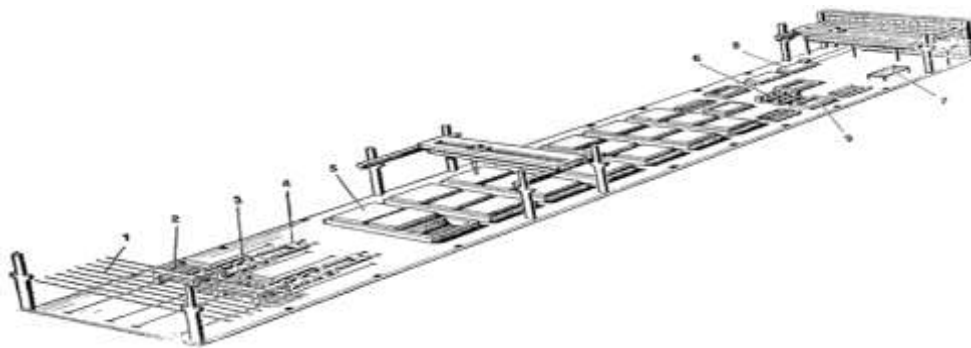


Рис. 5.13. Технологическая схема агрегатно-поточной линии: 1 – эстакада подачи бетона; 2 – бетоноукладчик; 3 – виброплощадка; 4 – формоукладчик; 5 – ямные камеры; 6 – установка для натяжения стержней; 7 – стенд для контроля и ремонта изделий; 8 – самоходная тележка для вывоза изделий; 9 – пост подготовки форм

Конвейерный способ – способ, при котором технологическая линия работает по принципу пульсирующего конвейера, т.е. формы с изделиями перемещаются от поста к посту на специальных поддонах-тележках через строго определенное время (ритм конвейера), необходимое для выполнения самой длительной операции. Для данного способа характерно максимальное разделение производственного процесса на отдельные этапы и используется он исключительно на предприятиях большой мощности, ориентированных на небольшой ассортимент продукции (рис. 5.14).

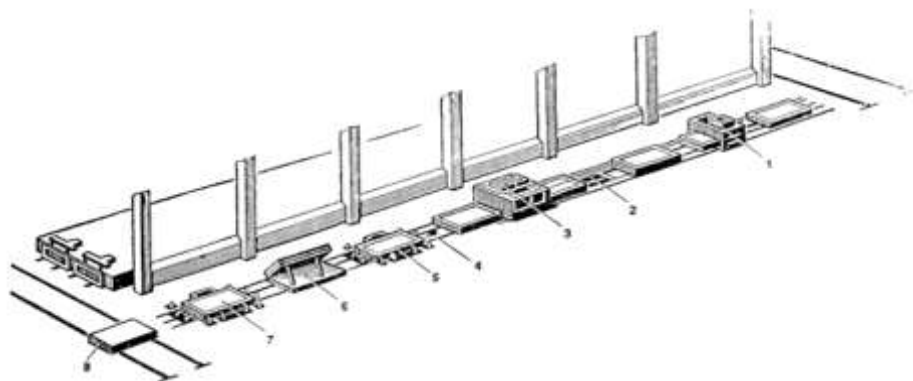


Рис.5.14. Технологическая схема конвейерной линии: 1 – раствороукладчик; 2 – виброплощадка; 3 – бетоноукладчик; 4 – привод конвейерной линии; 5 – устройство для закрывания бортов; 6 – кантователь; 7 – устройство для открывания бортов; 8 – тележка передаточная с толкателем

Кассетный способ – принципиально новая стендовая технология, получившая широкое распространение в производстве железобетонных изделий для панельного домостроительства. Главным отличием кассетного способа является то, что формование железобетонных изделий происходит в вертикальных стационарных кассетных установках, которые состоят из нескольких вертикальных отсеков – металлоформ. В каждом отсеке размещают арматурный каркас, после чего он заливается бетонной смесью. Затем с помощью навесных или глубинных вибраторов происходит уплотнение смеси. Такой способ имеет высокую производительность труда и требует меньше площадей, экономит расход пара и электроэнергии (рис. 5.15).

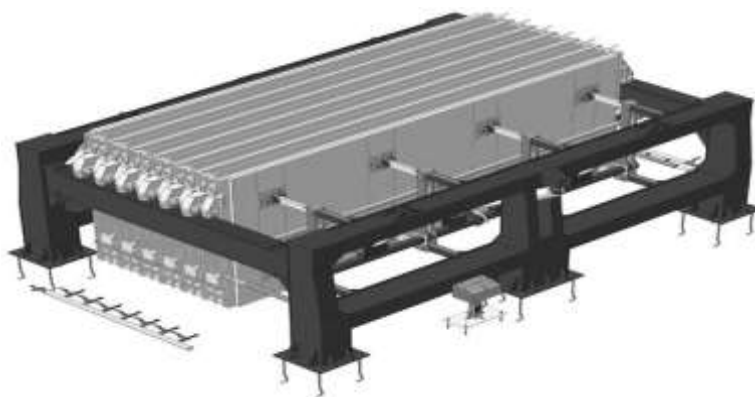


Рис. 5.15. Кассетная установка

Способ непрерывного вибропроката – полностью автоматизированный и механизированный процесс производства железобетонных изделий. Выполняется на вибропрокатном стане – установке с непрерывным действием. Вибропрокатный стан – это движущийся конвейер, который состоит из формующей ленты (из объемных или плоских пластин), секции тепловой обработки, натяжного и приводного оборудования, формующей и калибрующей секций. На непрерывно двигающуюся формующую ленту, при помощи распылителя наносится смазка, затем укладываются арматурные каркасы и подается жидкий бетон. Бетоноукладчик равномерно распределяет его по всей формующей ленте. Уплотнение бетонной смеси происходит благодаря вибробалке, расположенной под лентой.

Вопросы для самоподготовки

1. Что такое бетон и бетонная смесь?
2. По каким признакам и как принято классифицировать бетоны?
3. Классификация бетона по структуре.
4. Классификация бетона по плотности.
5. Роль крупного заполнителя в бетоне.
6. Какие требования предъявляются к крупному заполнителю для тяжелого бетона?
7. Роль мелкого заполнителя в бетоне.
8. Что такое песок? Его виды.
9. Какие требования предъявляются к мелкому заполнителю для тяжелого бетона?
10. С какой целью и как определяется гранулометрический состав заполнителей?
11. С какой целью и как можно определить марку крупного заполнителя?
12. Основные свойства бетонной смеси. Виды бетонных смесей.
13. Подвижные смеси. Чем характеризуются, как определяют степень подвижности?
14. Жесткие смеси. Чем характеризуются, как определяется жесткость смеси?
15. От каких факторов и как зависит удобоукладываемость бетонной смеси?
16. Основное свойство бетона. Как определяется?
17. Что такое марка бетона?
18. Что такое класс бетона, как определяется?
19. От каких факторов и как зависит прочность бетона?
20. Основной закон прочности бетона?
21. Как производится подбор состава тяжелого бетона методом «абсолютных объемов»?
22. С какой целью и как производят пробный замес?
23. Как принято выражать состав бетона?
24. Что такое номинальный и производственный составы бетона?
25. Основы технологии бетона.

26. Как ускорить процесс твердения бетона в производственных условиях?
27. Какие проблемы существуют при зимнем бетонировании и как они решаются?
28. Что такое критическая прочность бетона?
29. Особые виды тяжелого бетона (высокопрочный, дорожный, гидротехнический).

6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

6.1. Классификация строительных растворов

Строительный раствор это искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной растворной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, мелкого заполнителя (песка) и добавок, улучшающих свойства смеси и растворов. Крупный заполнитель в растворах отсутствует, так как его применяют в виде тонких слоев (штукатурка стен, кладка кирпича). Смесь этих материалов до затвердевания называют растворной смесью.

Для изготовления строительных растворов используют неорганические вяжущие вещества такие как: цементы, воздушная строительная известь, гипсовые вяжущие. В дорожном строительстве используют растворы на битумном вяжущем. По своему составу строительный раствор является мелкозернистым бетоном, и для него справедливы закономерности, присущие бетонам.

Строительные растворы классифицируют в зависимости от вида вяжущего, плотности, и назначения.

По виду вяжущего различают строительные растворы: на цементном вяжущем, на известковом вяжущем, на гипсовом вяжущем.

По средней плотности различают растворы: тяжелые – плотностью более 1500 кг/м³ их изготавливают на обычном кварцевом песке; легкие растворы плотностью менее 1500 кг/м³, изготавливаемые на пористом мелком заполнителе с порообразующими добавками.

По назначению различают растворы кладочные, для каменной кладки стен, фундаментов. Штукатурные растворы для оштукатуривания внутренних стен, потолков, фасадов зданий. Монтажные растворы для заполнения швов между конструктивными элементами при монтаже зданий и сооружений.

Специальные растворы, такие как декоративные растворы, гидроизоляционные растворы, тампонажные растворы.

Растворы, приготовленные на одном вяжущем, называются простыми, а на нескольких вяжущих - смешанными или сложными.

6.2. Материалы для строительных растворов

Вяжущие вещества. Строительные растворы готовят с использованием цемента и шлакопортландцемента. Марку цемента принимают в 3-4 раза выше марки раствора согласно табл. 6.1. В целях экономии цемента используют специальные виды цементов, получаемые добавлением при помеле клинкера большого количества минеральных веществ. Широко используют активные минеральные добавки, такие как трепел, диатомиты, пемзу и добавки - наполнители, например, кварцевый песок, известняк¹.

Вода. Вода для затворения растворов не должна содержать примесей, оказывающих вредное влияние на твердение вяжущего вещества. Пригодной для затворения растворов является водопроводная вода.

Таблица 6.1

Рекомендуемые марки вяжущего						
Показатель	Марка раствора					
	200	150	100	75	50	25
Рекомендуемые марки вяжущего, кгс/см ²	500	500	500	500	400	300
	400	400	400	400	300	200
		300	300	300	200	
				200		
Коэффициент пропорциональности	1,8	1,4	1,02	0,81	0,56	0,31

¹ Строительные и декоративные растворы : методические указания к лабораторной работе для студентов строительных специальностей / сост. Е.С. Куликова. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. – 22 с.

Заполнитель. В качестве мелкого заполнителя для строительных растворов применяют природные кварцевые и полевошпатовые пески, а также искусственные пески, полученные дроблением плотных горных пород. Например, для кирпичной кладки применяют строительные растворы на песках с крупностью зерен не более 2 мм. Для растворов марки 100 и выше пески должны удовлетворять тем же требованиям в отношении вредных примесей, что и пески для приговления бетонов. Пористые пески применяют для легких растворов, например, применяют пемзовые, туфовые, шлаковые пески.

Пластифицирующие добавки вводят в строительные растворы с целью улучшить удобоукладываемость растворных смесей. В качестве минеральной пластифицирующей добавки в цементные и известковые растворы вводят глину в виде глиняного молока или тонкомолотого порошка. Для той же цели в растворы вводят тонкомолотые гидравлические добавки - трепел, вулканический пепел. В качестве органических пластификаторов применяют ЛСТ, омыленный древесный пек, мылонафт. Такие добавки не только повышают удобоукладываемость растворных смесей, но также повышают их морозостойкость, снижают водопоглощение и усадку растворов.

В состав растворов, предназначенных для применения в зимних условиях, вводят ускорители твердения, понижающие температуру замерзания растворной смеси - хлористый кальций, хлористый натрий, поташ.

6.3. Свойства растворных смесей и растворов

Строительные растворы по существу являются мелкозернистыми бетонами, поэтому по аналогии с бетонами перед изучением строительных растворов следует рассмотреть свойства свежеприготовленных растворных смесей.

Удобоукладываемость. Основным свойством растворной смеси является удобоукладываемость, под которой понимают способность смеси укладываться на поверхность пористого основания тонким однородным слоем, не расслаиваться при хранении, перевозке и перекачивании

растворонасосами. Удобноукладываемость растворной смеси зависит от степени их подвижности и водоудерживающей способности.

Подвижностью растворной смеси называют ее способность легко растекаться по поверхности камня тонким слоем и заполнять все неровности до основания. Подвижность растворной смеси определяют в соответствии с ГОСТ 5902-96 путем погружения эталонного конуса массой 300 г с углом вершины 30° и высотой 15 см прибора «СтройЦНИЛ» в растворную смесь. Конус погружают в растворную смесь вершиной. Чем больше глубина его погружения, тем большей подвижностью обладает растворная смесь. За показатель подвижности принимают глубину погружения конуса в сантиметрах (рис. 6.1).

Степень подвижности растворной смеси зависит от количества воды затворения, от состава и свойств исходных материалов. Для повышения подвижности растворных смесей в их состав вводят пластифицирующие минеральные добавки. Пластифицирующие добавки позволяют достигать требуемую подвижность растворной смеси при меньшем расходе воды и цемента, то есть получать растворы большей прочности или экономить цемент. Рабочую подвижность раствора в летних и зимних условиях принимают в зависимости от его назначения и вида стенового материала.

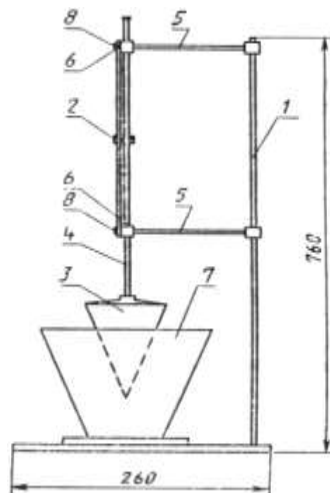


Рис. 6.1. Стандартный конус для определения подвижности растворной смеси:
1 – штатив; 2 – шкала; 3 – эталонный конус; 4 – штанга; 5 – держатели;
6 – направляющие; 7 – сосуд для растворной смеси; 8 – стопорный винт

Строительные растворные смеси по подвижности разделяются на марки согласно ГОСТ 28013 - 89 в зависимости от применения, указанного в табл. 6.2¹.

Водоудерживающей способностью называют свойство растворной смеси удерживать воду при укладке ее на пористое основание, что необходимо для сохранения подвижности раствора на пористом основании (кирпиче). В том случае, когда растворная смесь обладает хорошей водоудерживающей способностью, частичное отсасывание воды уплотняет растворную смесь в кладке, что повышает прочность раствора. Водоудерживающая способность зависит от соотношения составных частей растворной смеси. Она повышается при увеличении расхода цемента, замене части цемента известью, введении высокодисперсных добавок, например глины, золы, а также некоторых поверхностно-активных веществ.

Таблица 6.2

Марки растворных смесей по подвижности

Марка смеси по подвижности	Норма по подвижности, см	Назначение растворной смеси
П _к 4	От 1 до 4	Вибрированная бутовая кладка
П _к 8	Свыше 4 до 8 включительно	Бутовая кладка обычная, из пустотелых кирпича и камней. Монтаж стен из крупных блоков и панелей, расшивка горизонтальных и вертикальных швов и в стенах из панелей и блоков, облицовочные работы.
П _к 12	Свыше 8 до 12 включительно	Кладка из обыкновенного кирпича и различных видов камней, штукатурные и облицовочные работы.
П _к 14	Свыше 12 до 14 включительно	Заливка в бутовой кладке пустот.

Свойства строительных растворов. Основные свойства строительных растворов это прочность и морозостойкость.

Прочность затвердевшего раствора зависит от активности вяжущего, водоцементного отношения, длительности и условий твердения. При укладке растворных смесей на пористое основание, способное интенсивно отсасывать

¹ Строительные и декоративные растворы 22 с.

воду, прочность затвердевших растворов значительно выше, чем тех же растворов, уложенных на плотное основание.

Прочность раствора характеризуется его маркой. Марку раствора устанавливают по пределу прочности при сжатии образцов в виде кубов размером 7,07x7,07x7,07 см или образцов - балочек размером 4x4x16 см, изготовленных из растворной смеси после 28-суточного твердения при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для строительных растворов предусмотрены следующие марки: 4, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200. Марка раствора для каменной кладки устанавливается проектом, при этом учитывается характер конструкций и условия эксплуатации.

При применении растворов на шлакопортландцементе и пуццолановом портландцементе следует учитывать резкое замедление нарастания прочности при температуре твердения ниже $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при температуре ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ их твердение практически прекращается.

Морозостойкость затвердевшего раствора для каменной кладки наружных стен и наружной штукатурки характеризуется следующими марками: F10, F15, F25, F35, F50. Для влажных условий эксплуатации растворы должны иметь более высокую марку по морозостойкости F100, F150, F200 и F300. Требуемую марку раствора получают расчетом и подбором состава. Проверяют морозостойкость раствора путем испытания образцов-кубов в морозильных камерах.

6.4. Виды строительных растворов

Растворы для каменной кладки наружных стен применяют цементные и смешанные, в основном, цементно-известковые марок 10; 25;50, в зависимости от влажностных условий эксплуатации и требуемой долговечности зданий. Стены из кирпича и других материалов в зимнее время кладут, как правило, способом замораживания, с применением подогретого раствора, при этом замерзание раствора допускается спустя некоторое время после обжата его кирпичом.

Монтажные растворы. При монтаже стен из бетонных панелей горизонтальные швы заполняют растворами марок не ниже 100 для панелей из тяжелого бетона и марок раствора не ниже 50 для панелей из легкого

бетона. Горизонтальные и вертикальные швы в стенах из крупных блоков и панелей расширяют растворами марки 50. При возведении жилых каркасно-панельных зданий для замоноличивания швов и стыков применяют цементные растворы марки 200. Цементные растворы марок 50 и 75 с активными минеральными добавками используют для подземной кладки и кладки ниже гидроизоляционного слоя, когда грунт насыщен водой.

Составы строительных растворов подбирают по готовым таблицам, а качество полученных растворов проверяют лабораторными испытаниями

При кладке стен из обычного кирпича в зимних условиях марку раствора по прочности назначают в соответствии с рекомендацией проекта, а также с учетом температуры наружного воздуха.

Отделочные растворы

Отделочные растворы разделяют на два основных вида: растворы для обычных штукатурок и декоративные растворы.

Штукатурные растворы в зависимости от области применения разделяют на растворы для наружных и растворы для внутренних штукатурок. Штукатурные растворы готовят на цементах, цементно-известковых, известковых, известково-гипсовых и гипсовых вяжущих. Составы штукатурных растворов устанавливают с учетом их назначения и условий эксплуатации зданий. Штукатурные растворы должны обладать необходимой степенью подвижности, иметь хорошее сцепление с основанием и не вызывать образования трещин штукатурки¹.

Для внутренней штукатурки стен и перекрытий зданий при относительной влажности воздуха помещений до 60 % используют известковые, гипсовые, известково-гипсовые и цементно-известковые растворы. Для штукатурки наружных стен зданий служат цементно-известковые растворы. Для наружной штукатурки цоколей, поясков, карнизов и других участков стен, подвергающихся систематическому увлажнению, применяют цементные и цементно-известковые растворы на портландцементе.

¹ Попов Л.Н. Указ. соч.

Декоративные цветные растворы предназначены для заводской отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных блоков, а также для отделки фасадов зданий и внутренней отделки общественных зданий.

В качестве вяжущего в декоративных растворах применяют белый, цветные и обычные портландцементы, а для цветных штукатурок внутри зданий - известь и гипс. Заполнителями в цветных декоративных растворах служат чистый кварцевый песок и песок, полученный дроблением гранита, мрамора, туфа, известняка и других белых и цветных горных пород.

В состав раствора отделочного слоя вводят в небольшом количестве слюду, вермикулит или дробленое стекло. В качестве красителей используют щелочестойкие и светостойкие природные и искусственные пигменты (сурик железный, охра, мумия, ультрамарин, оксид хрома).

Декоративные растворы, применяемые для отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и крупных стеновых блоков, а также для штукатурки фасадов зданий, должны иметь марки по прочности при сжатии не менее 150. и марку 50 50 для отделки панелей из легких бетонов и штукатурки фасадов зданий.

Марка декоративных растворов по морозостойкости (F) должна быть не менее F35.

6.5. Приготовление и транспортирование растворов

Строительные растворы готовят двух видов: на бетонорастворных заводах или в растворосмесительных узлах или в виде готовых сухих растворных смесей, требующих перед употреблением смешивания с водой. Процесс приготовления растворов включает подготовку исходных материалов, их дозирование и тщательное перемешивание.

Материалы подготавливают для того, чтобы не допустить попадания в раствор вредных примесей. При содержании в песке крупных включений (гравия, комьев глины) его предварительно просеивают. Известковое и глиняное тесто доводят до необходимой консистенции, а органические пластификаторы и химические добавки растворяют в подогретой воде в количестве, необходимом для получения растворов рабочей концентрации. Дозируют вяжущие материалы при приготовлении растворов по массе, а

песок и воду по объему. Растворы перемешивают в растворосмесителях периодического действия емкостью 150л, 375л и 750л или в растворосмесителях непрерывного действия. Продолжительность перемешивания обычных растворов составляет с момента окончания загрузки материалов в растворосмеситель 1,5-2,5 минуты, легких растворов с органическими пластификаторами 2,5-3,5 минуты.

Строительные растворы транспортируют в специально оборудованных автоцистернах с автоматической разгрузкой или автосамосвалах. На строительных объектах растворы транспортируют растворонасосами¹

Вопросы для самоподготовки:

1. Что называют строительным раствором?
2. Для каких целей предназначены строительные растворы?
3. Перечислите основные свойства растворных смесей?
4. Перечислите основные свойства строительных растворов согласно ГОСТ.
5. Что называют маркой строительного раствора?
6. Что измеряют с помощью стандартного конуса «СтройЦНИЛа»?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курс «Строительные материалы и изделия» в учебном плане подготовки по направлению «Строительство» для студентов заочной формы обучения, является одной из первых инженерных дисциплин, которая создает необходимую базу для успешного освоения таких дисциплин как «Строительные конструкции», «Технология строительного производства», «Организация и планирование в строительстве», «Архитектура гражданских и промышленных зданий».

Знание структуры и свойств материалов, областей их применения, методов испытаний и основы производства важнейших строительных материалов, являются неотъемлемой частью для подготовки инженерных кадров.

¹ Микульский В.Г. Указ. соч.

Свойства материалов неразрывно связаны с особенностями их структуры, а с помощью технологических приемов удастся получать материалы с заранее заданным набором эксплуатационных характеристик. Поэтому роль и значение строительных материалов и изделий рассматриваются в неразрывной связи с их работой и поведением в конструктивных элементах зданий и сооружений в течение всего срока эксплуатации.

Для удобства самостоятельной подготовки студентов текст учебного пособия составлен из 6 глав, где в конце каждой главы размещены вопросы для самоконтроля и самоподготовки, а в приложениях к учебному пособию размещены тестовые задания для контроля самостоятельной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Августиник, А. И. Керамика: учебник для вузов / А. И. Августиник. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л. : Стройиздат (Ленингр. отделение), 1975. – 592 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебник для вузов / М. Ю. Баженов, А. Г. Комар. – М. : Стройиздат, 1984. – 672 с., ил.
3. Бурлаков, Г. С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей: учебник для вузов / Г.С. Бурлаков. – М. : Высшая школа, 1972.– 424 с.
4. Горчаков, Г. И. Строительные материалы : учебник для вузов / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
5. Комар, А.Г. Строительные материалы : учебник для инж. спец. строит. вузов / А. Г. Комар. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1988. – 527 с.
6. Микульский, В.Г. Строительные материалы : учебник /В.Г. Микульский. – М. : Издательство АСВ, 2000. –536 с.
7. Мороз, И.И. Технология строительной керамики : учебное пособие / И.И. Мороз. –3-е изд. перераб. и доп. / Репринтное воспроизведение издания 1980 г. – М. : ЭОЛИТ, 2011. – 384 с.
8. Попов, Л.Н. Строительные материалы : учебник для инж. спец. строит. вузов / Л. Н. Попов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1988. – 527 с.

Тема: Физико-механические свойства строительных материалов

1. Средняя плотность материала это:

1. Масса в единице объема материала;
2. Масса материала в % от объема;
3. Масса единицы объема материала в естественном состоянии.

2. Водопоглощение материала это:

1. Способность материала поглощать воду под давлением;
2. Способность материала впитывать и удерживать воду;
3. Способность материала заполнять поры водой.

3. С увеличением закрытой пористости морозостойкость:

1. Увеличивается;
2. Уменьшается;
3. Остается без изменения.

4. Водостойкость материала оценивается:

1. Пределом прочности при сжатии;
2. Коэффициентом водонасыщения;
3. Коэффициентом размягчения.

5. Единицы измерения средней плотности:

1. г/см³, кг/м³, т/м³, %;
2. г/см³, см²/г, т/м², кг/м³;
3. г/см³, т/м³, кг/л, кг/м³.

6. Пористость материала определяют по формуле:

1. $P = (\rho_{cp}/\rho) 100$;
2. $P = (\rho_{cp}-\rho)/\rho 100$;
3. $P = (\rho-\rho_{cp})/\rho_{cp}$;
4. $P = (\rho-P_{cp})/\rho 100$;

7. Твердость материала это:

1. Способность материала сопротивляться механическим нагрузкам;
2. Способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела;
3. Способность материала восстанавливать первоначальную форму после проникновения и извлечения из него более твердого тела.

8. Водопоглощение бывает:

1. Насыщенное и ненасыщенное;
2. Полное и неполное;
3. Объемное и массовое.

Тема: Керамические материалы

1. Добавки при производстве керамики:

1. Глина, вода, газообразующие;
2. Цементирующие, газообразующие, отошающие;
3. Отошающие, выгорающие, пластифицирующие.

2. Керамические изделия получают:

1. Обжигом при температуре 1000-1500 °С изделий, отформованных из смеси цемента, глины, песка и воды;
2. Путем тепловой обработки при температуре 400-500 °С изделий нормированного минерального состава с добавкой глин;
3. Обработкой в автоклавах предварительно отформованных изделий на основе глины;
4. Обжигом предварительно отформованных изделий из глинистого сырья с добавками.

3. Выгорающие добавки при производстве керамического кирпича используют для:

1. Увеличение прочности кирпича;
2. Экономии глиняных масс;
3. Получения изделий с повышенной пористостью, а значит с меньшей средней плотностью;
4. Утилизации вторичных продуктов.

4. Отошающие добавки при производстве керамического кирпича вводят для:

1. Получения изделий с меньшей средней плотностью;
2. Увеличения пластичности глины;
3. Уменьшения усадки при сушке и обжиге;
4. Увеличения температуры при обжиге кирпича.

5. Марка керамического кирпича определяется по его

1. Прочности при сжатии и изгибе;
2. Средней и истинной плотности;
3. Внешнему виду и наличию дефектов;
4. Степени обжига.

6. Температура обжига керамических изделий °С:

1. 100 – 300;
2. 400 – 600;
3. 600 – 900;
4. 900 – 1200;
5. 1400 – 1700.

7. Керамический кирпич получают:

1. Пластическим формованием или полусухим прессованием;
2. Методом литья;
3. Пропариванием в автоклаве;
4. Обжигом сырца, изготовленного из смеси гипса, химических добавок, воды, пигментов.

Тема: Воздушные вяжущие вещества

1. Строительной известью называют:

1. Воздушное вяжущее, основой которого являются силикаты кальция;
2. Воздушное вяжущее вещество, основой которого являются CaO;
3. Воздушное вяжущее вещество, состоящее в основном из MgO и примесей;

2. К быстротвердеющим гипсовым вяжущим относят:

1. Строительный гипс и эстрих-гипс;
2. Ангидритовый цемент и высокопрочный гипс;
3. Строительный гипс и высокопрочный;
4. Высокообжиговый и строительный гипс;

3. При испытании механических свойств затвердевшего гипса определяют следующие показатели:

1. Предел прочности при сжатии образцов 7х7х7 см;
2. Предел прочности при сжатии стандартных образцов;
3. Предел прочности на изгиб образцов-балочек;
4. Предел прочности на сжатие и изгиб стандартных образцов.

4 Воздушные вяжущие это:

1. Вяжущие вещества, которые после затворения водой предварительно твердеют в воде, а потом долго сохраняют свою прочность на воздухе;
2. Вещества, которые могут затвердевать и сохранять свою прочность только на воздухе;
3. Вяжущие, которые после смешивания с водой и предварительного затвердевания на воздухе могут продолжать твердеть и сохранять свою прочность в воде.

5. Под активностью извести понимают:

1. Скорость протекания реакции;
2. Предел прочности на сжатие стандартных образцов через 1,5 часа после изготовления;
3. Содержание активных оксидов кальция и магния;
4. Скорость гашения извести.

6. К медленнотвердеющим гипсовым вяжущим относятся:

1. Строительный гипс и эстрих-гипс;
2. Ангидритовый цемент и высокопрочный гипс;
3. Ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс.

7. Перечислите соединения содержащие затвердевший строительный гипс:

1. CaSO₄;
2. CaSO₄·2H₂O;
3. CaSO₄·0,5H₂O;
4. CaSO₄·1,5H₂O;

Тема: Гидравлические вяжущие вещества

1. Свойства целита (СЗА):

1. Быстро твердеет, высокая прочность, высокая морозостойкость;
2. Очень быстро твердеет, малая прочность, малая морозостойкость, очень высокое тепловыделение;
3. Очень медленно твердеет, малая теплота гидратации, невысокая прочность.

2. Гидравлические вяжущие это:

1. Вяжущие вещества, которые способны твердеть только в воде;
2. Вяжущие вещества, которые способны твердеть только на воздухе;
3. Вяжущие вещества, которые способны твердеть и на воздухе и в воде.

3. За нормальную густоту цементного теста принимают:

1. Консистенцию цементного теста, при которой оно расплывается в лепешку диаметром 180 ± 5 мм;
2. Консистенцию цементного теста, при которой пестик прибора Вика не доходит до пластинки на 5-7 мм;
3. Консистенцию цементного теста, при которой игла прибора Вика не доходит до пластины на 1-2 мм.

4. Основные этапы твердения портландцемента по теории Байкова А.А.:

1. Растворение, гидратация и коллоидация;
2. Растворение гидроксида кальция, образование коллоидного геля, высыхание его;
3. Растворение и гидратация, кристаллизация и перекристаллизация.

5. Особенности пуццоланового портландцемента:

1. Пониженная водостойкость;
2. Замедленное нарастание прочности, низкая морозостойкость;
3. Высокая прочность, высокая морозостойкость.

6. Портландцемент это:

1. Порошкообразный материал, полученный помолом клинкера и корректирующих добавок, способный твердеть только на воздухе;
2. Гидравлическое вяжущее вещество, полученное совместным помолом портландцементного клинкера и добавок гипса;
3. Материал, полученный совместным помолом известняка и глины с добавкой гипса.

7. За тонкость помола цемента принимают:

1. Остаток на сите № 008, выраженный в %;
2. Остаток на сите № 02 в процентах к первоначальной массе;
3. Крупностью частиц цемента при их измерении.

Тема: Бетоны:

1. Для достижения наибольшей прочности бетона зерна заполнителя должны быть:

1. Окатанные с гладкой поверхностью;
2. Кубовидной формы с шероховатой поверхностью;
3. Пластинчатой формы с шероховатой поверхностью.

2. Для бетона М400 рекомендуемая марка цемента:

1. 300;
2. 400;
3. 500.

3. При замене щебня гравием того же зернового состава подвижность бетонной смеси:

1. Увеличится;
2. Уменьшится;
3. Не изменится.

4. При замене рядового заполнителя (5-40 мм) на однофракционный (10-20 мм) средняя плотность бетонной смеси:

1. Уменьшится;
2. Увеличится;
3. Не изменится.

5. Для повышения морозостойкости бетона используют добавки:

1. Понижающие температуру замерзания воды;
2. Активные минеральные;
3. Воздухововлекающие.

6. Правильное соотношение между прочностью щебня $R_{щ}$ и прочностью бетона R_b :

1. $R_{щ} > 1,5R_b$;
2. $R_{щ} = R_b$;
3. $R_{щ} < 1,5R_b$;
4. $R_{щ} = R_b A(\frac{C}{B}+0,5)$.

7. Выражение М300 означает:

1. Марку тяжелого бетона по морозостойкости;
2. Марку тяжелого бетона по прочности;
3. Плотность тяжелого бетона.

8. С повышением жесткости бетонной смеси:

1. Уменьшается средняя плотность бетона;
2. Уменьшается морозостойкость, водостойкость;
3. Увеличивается прочность, плотность.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	4
1.1. Классификация основных свойств строительных материалов.....	4
1.2. Строение строительных материалов.....	5
1.3. Характеристика состава материалов.....	6
1.4. Физические свойства материалов.....	7
1.5. Механические свойства строительных материалов.....	19
2. МЕТАЛЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	24
2.1. Металлы и их классификация.....	24
2.2. Виды и свойства сталей.....	26
2.3. Свойства сталей.....	28
2.4. Изделия из стали.....	30
2.5. Виды стальных изделий.....	31
2.6. Защита металлов от коррозии.....	33
3. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	35
3.1. Основные сведения о керамических материалах. Классификация.....	35
3.2. Глинистые материалы.....	36
3.3. Добавки в технологии керамики.....	38
3.4. Свойства глин.....	40
3.5. Производство керамических изделий.....	42
3.6. Свойства керамических изделий.....	58
3.7. Стеновые керамические материалы и изделия.....	59
3.8. Керамические облицовочные материалы.....	64
3.9. Керамические материалы и изделия специального назначения.....	67
4. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	71
4.1. Классификация минеральных вяжущих веществ.....	71
4.2. Строительная воздушная известь.....	72
4.3. Гипсовые вяжущие вещества.....	76
4.4. Магнезиальные вяжущие вещества.....	81
4.5. Жидкое стекло и кислотоупорный цемент.....	82
4.6. Гидравлическая известь.....	83
4.7. Портландцемент.....	84
4.8. Применение портландцемента.....	97
4.9. Разновидности портландцемента.....	98
4.10. Портландцементы с активными минеральными добавками.....	101
4.11. Специальные виды цемента.....	105
4.12. Транспортирование и хранение цементов.....	106
4.13. Экономия цемента.....	106
5. БЕТОНЫ.....	111
5.1. Классификация бетонов.....	111
5.2. Компоненты для тяжелого бетона.....	113
5.3. Свойства бетонной смеси.....	121
5.4. Свойства бетона.....	123
5.5. Проектирование состава тяжелого бетона.....	127

5.6. Технология производства бетонных работ.....	131
5.7. Методы зимнего бетонирования.....	133
5.8. Особые виды тяжелого бетона.....	134
5.9. Ячеистые бетоны.....	137
5.10. Железобетон.....	139
6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ.....	145
6.1. Классификация строительных растворов.....	145
6.2. Материалы для строительных растворов.....	146
6.3. Свойства растворных смесей и растворов.....	148
6.4. Виды строительных растворов.....	151
6.5. Приготовление и транспортирование растворов.....	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	154
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	155
Приложение 1.....	156
Приложение 2.....	157
Приложение 3.....	158
Приложение 4.....	159
Приложение 5.....	160

Учебное издание

Куликова Елена Сергеевна, Украинский Илья Сергеевич

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(краткий курс)

Компьютерный набор *Е. С. Куликовой*

Дизайн обложки *Т. А. Куликовой*

Печатается с авторского оригинала-макета

Подписано в печать 01.06.17. Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 9,53. Тираж 100 экз. Заказ 169.

Издательство Тихоокеанского государственного университета.

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета

680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.