

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Е.Н. Самошина, А.П. Самошин,
И.Ю. Шитова, С.Н. Кислицына

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2015

УДК 691(075.8)
ББК 38.3я73
С17

Рецензенты: доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой УКиТСП В.И. Логанина
(ПГУАС);
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Высшая и прикладная
математика» О.В. Болотникова(ПГУ)

Самошина Е.Н.

С17 Строительные материалы. Строительное материаловедение:
учеб. пособие / Е.Н. Самошина, А.П. Самошин, И.Ю. Шитова,
С.Н. Кислицына. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 156 с.

Приведены теоретические основы строительного материаловедения. Рассмотрены строительные материалы различного назначения. Дана взаимосвязь состава, строения, свойств, областей применения и особенностей технологических процессов производства материалов и изделий.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Технологии строительных материалов и деревообработки» и предназначено для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2015
© Самошина Е.Н., Самошин А.П.,
Шитова И.Ю., Кислицына С.Н., 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие подготовлено в соответствии с учебной программой по дисциплине «Строительные материалы», в нем изложены общие основы современного строительного материаловедения: номенклатура, состав, строение, свойства, области применения строительных материалов, а также основные принципы технологических процессов производства материалов. Данный курс является базисным для изучения других специальных дисциплин: строительные конструкции, технология строительного производства, архитектура, экономики и организации строительства. Поэтому овладение знаниями по этому курсу служит залогом успешной профессиональной подготовки бакалавров строительного профиля.

Целью настоящего учебного пособия является систематизация основных сведений о строительных материалах преимущественно материаловедческого характера на современном научном и в то же время доступном для студентов уровне.

В учебном пособии приведены теоретические основы строительного материаловедения и рассмотрены строительные материалы различного назначения. Дана взаимосвязь их состава, строения, свойств, областей применения и особенностей технологических процессов производства.

Учебное пособие предназначено для использования студентами, обучающимися по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», при изучении дисциплин: «Строительные материалы», «Технология конструкционных материалов», «Современные строительные материалы», «Современные композиционные материалы».

После проработки материала настоящего учебного пособия обучающийся:

– **должен знать:** взаимосвязь состава, строения и свойств строительных материалов, способы формирования заданных структуры и свойств материалов при максимальном ресурсосбережении, а также методы оценки показателей их качества;

– **должен уметь:** правильно организовывать рабочие места, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования; правильно выбирать конструкционные материалы, обеспечивающие требуемые показатели надежности, безопасности, экономичности и эффективности сооружений; анализировать воздействия окружающей среды на материал в конструкции, устанавливать требования к строительным и конструкционным материалам и выбирать оптимальный материал исходя из его назначения и условий эксплуатации;

– **должен владеть:** необходимыми знаниями и навыками определения основных свойств строительных материалов; методами проведения испытаний строительных материалов согласно требованиям соответствующих нормативных или руководящих документов; методами контроля над соблюдением технологической дисциплины и экологической безопасности; методами и средствами дефектоскопии строительных конструкций, контроля их физико-механических свойств.

Для лучшего усвоения материала студент должен самостоятельно ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце каждого раздела.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние строительного комплекса является одной из важнейших составляющих развития страны в целом.

Строительные материалы – это основа строительства. Без достаточных знаний о многочисленных разновидностях строительных материалов, способах их производства и качественных показателях, методах их правильного хранения и использования невозможно проектировать и строить здания и сооружения, реконструировать или ремонтировать их, выполнять научно-технические разработки в области строительства. Затраты на материалы составляют около 50 % от общей стоимости строительства зданий и сооружений, поэтому экономия при строительстве объекта во многом зависит от эффективности применения строительных материалов и изделий, а также правильного их выбора. Успехи практики производства и использования строительных материалов во многом зависят от того, в какой мере она учитывает научные положения взаимосвязи состава и структуры (строения) материалов с их свойствами, а также, насколько уровень технологии и качественных показателей соответствует мировым достижениям в данной отрасли.

Технологии промышленности строительных материалов очень разнообразны: от простейших механических операций до сложных химических и физико-химических процессов. Соответственно и продукты этих технологий – строительные материалы и изделия – отличаются огромным разнообразием.

Ни одно здание, сооружение нельзя спроектировать, построить и эксплуатировать без знания свойств и особенностей материалов.

Все современные строительные материалы должны:

- снижать стоимость и трудоёмкость строительно-монтажных работ;
- уменьшать вес здания;
- иметь повышенную тепловую защиту.

Получение таких материалов должно способствовать решению общих проблем современности:

1. Использование вторичных ресурсов и отходов промышленности в качестве сырьевых материалов (при этом решается вопрос экологии и охраны окружающей среды).
2. Экономия топливно-энергетических ресурсов, т.е. переход на энерго-сберегающие технологии.
3. Получение местных строительных материалов на базе сырья данного региона.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Стандартизация строительных материалов

Для выпуска материалов с определенными показателями свойств, вне зависимости от места производства и предприятия-производителя продукции, создана система стандартизации. Это система нормативных документов, в соответствии с которыми выпускается, транспортируется, хранится и используется материал. Нормативные документы определяют перечень свойств и требуемый уровень показателей этих свойств.

В зависимости от сферы действия стандарты подразделяют на следующие категории: государственные (ГОСТ); отраслевые (ОСТ); республиканские (РСТ); стандарты предприятий и объединений (СТП). Наряду со стандартами действуют технические условия (ТУ), устанавливающие комплекс требований к конкретным типам, маркам, артикулам продукции.

В государственных стандартах на строительные материалы, являющихся обязательными для всех ведомств и предприятий, указываются четкое определение и классификация разновидностей данного материала, способ изготовления или происхождение, конкретные цифровые показатели технических свойств и методы их определения, необходимые сведения о маркировке, упаковке, правилах хранения и транспортирования.

Основные положения строительного проектирования, производства строительных работ и требования к строительным материалам и изделиям регламентируются *строительными нормами и правилами* (СНиП), обязательными для всех организаций и предприятий. СНиПы разработаны с учетом развития строительной индустрии, внедрения передовой техники в строительство, максимального использования в строительстве изделий и конструкций заводского изготовления.

Сравнение СНиП и системы государственных стандартов показывает, что оба комплекса нормативных документов имели ряд общих положений и различий. Например, ГОСТы разрабатывались преимущественно на материалы и изделия массового изготовления, СНиПы устанавливали требования ко всей строительной продукции. В СНиПах отсутствуют методы определения показателей свойств материалов, для этого имеются соответствующие ссылки на действующие стандарты. В СНиПах содержатся почти все нормы строительного проектирования, между тем как стандартов на такие нормы нет. В результате оба комплекса нормативных документов по строительству – СНиП и ГОСТ – взаимно дополняют друг друга.

Методическую основу стандартизации размеров в проектировании, изготовлении строительных изделий и возведении сооружений составляет *модульная координация размеров в строительстве* (МКРС), представляющая собой совокупность правил координации размеров элементов

зданий и сооружений, строительных изделий и оборудования на базе основного модуля, равного 100 мм (обозначается 1 М). Применение МКРС позволяет унифицировать и сократить число типоразмеров строительных изделий из разных материалов или отличающихся по конструкции. В МКРС входят и производные модули, которые получают путем умножения основного модуля на целые или дробные коэффициенты. При умножении на целые коэффициенты образуются укрупненные модули (от 2М до 60М), а при умножении на коэффициенты менее единицы – дробные модули (от 1/2М до 1/100М).

В стандартах и СНИПах требования к свойствам материалов выражены в виде *марок* и *классов* на эти материалы. Признаком деления на марки обычно является показатель основного свойства материала, обусловленный условиями эксплуатации материала в конструкциях и сооружениях.

Например, для конструкционных материалов наиболее важным свойством является прочность, поэтому для них марка – требуемый показатель прочности. Марка цемента – 400, 500, 550 и 600 – показатель прочности при сжатии с учетом прочности при изгибе. Классы для тяжелого бетона – В10, В20, В30 и т.д. – также характеризуют прочность при сжатии.

Для теплоизоляционных материалов главным свойством является способность проводить тепло, поэтому класс этих материалов определяет требования к коэффициенту теплопроводности, а марка – значение средней плотности.

Обычно для большинства материалов существует не один нормативный документ, а несколько. Один из них определяет название, виды, перечень нормируемых свойств и требований к ним. Например, «ГОСТ 10178–95. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия». Другие документы устанавливают методы испытаний (т.е. определение показателей свойств для конкретного материала) – например, шесть ГОСТов под общим номером ГОСТ 310 для испытаний портландцемента и шлакопортландцемента, правил транспортирования, хранения и т.д.

Стандарты регулярно пересматриваются, требования к материалам, методы испытаний при этом могут изменяться. Учитывается технический прогресс и возрастающий уровень требований к потребительским свойствам. Это стимулирует выпуск более эффективных материалов.

1.2. Состав и строение материалов, применяемых в строительстве

Состав строительного материала может быть охарактеризован:

- химическим составом;
- минеральным или фазовым составом;
- вещественным составом.

Химический состав отражает содержание в материале химических элементов или их оксидов в процентах.

В зависимости от *химического состава* строительные материалы принято делить на следующие группы:

1) органические – состоящие главным образом из углеводов (древесина, битум, дегти, полимеры);

2) неорганические, которые подразделяются на:

– неметаллические (или минеральные) – горные породы, бетон, керамика;

– металлические (сталь, чугун, цветные металлы).

Химический состав органических материалов принято выражать процентным содержанием химических элементов. Например, химический состав битума:

C	H	O	S	N
70...87%	до 15%	до 10%	до 1,5%	менее 1%

Химический состав неорганических материалов принято выражать процентным содержанием оксидов. Например, химический состав обычного оконного стекла:

SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
71...72%	14...15%	6,5...7%	4%	2%

Химический состав строительного материала влияет на его свойства. Так, органические материалы не выдерживают высоких температур и горят; минеральные, напротив, хорошо противостоят действию огня, а металлы очень хорошо проводят электричество и теплоту.

Изменяя химический состав материала, можно изменять его свойства.

Например, изменение химического состава стеклянных расплавов позволяет изменять свойства получаемых из него стекол:

– увеличение содержания SiO₂ приводит к увеличению тугоплавкости, механической прочности и термостойкости стекла;

– введение соединений фтора и фосфора приводит к тому, что стекло становится непрозрачным;

– увеличение содержания PbO приводит к увеличению блеска и светопреломления стекла.

Минеральный состав показывает, в какие минералы соединены химические элементы в материале и каково их содержание в процентах. Зная минеральный состав, можно судить о свойствах материала.

Например, способность неорганических вяжущих веществ твердеть и сохранять прочность в водной среде обусловлена присутствием в них минералов силикатов, алюминатов, ферритов кальция, причем при большом их количестве ускоряется процесс твердения и повышается прочность цементного камня.

Фазовый состав материала – это содержание и соотношение кристаллических и аморфных веществ, воздушных пор, микротрещин и пор, заполненных водой. *Фазой* называют однородную часть системы, обладающую одинаковым составом, физическими и химическими свойствами и отделенную от других частей системы поверхностью раздела, т.е. любой минерал можно рассматривать как отдельную фазу.

Вещественный состав характеризует содержание различных веществ в композиционном материале, получаемом смешиванием нескольких веществ (материалов), каждый из которых при этом не будет изменять ни своего состава, ни строения. Например, вещественный состав бетонной смеси показывает содержание в ней цемента, мелкого (песка) и крупного (щебня или гравия) заполнителя и воды. Состав бетонной смеси часто выражают не в процентах, а в частях по массе, где за единицу принимается масса цемента. Например: 1:2,3:4 при В/Ц=0,5, т.е. масса песка в 2,3 раза больше массы цемента, а щебня – в 4 раза больше массы цемента, соотношение воды и цемента – 0,5, т.е. масса воды в два раза меньше массы цемента.

Под *строением* строительного материала понимают пространственное расположение отдельных частей, частиц, пор, микротрещин, а также соотношение компонентов, фаз и поверхностей раздела.

Строение материала изучают на трех уровнях:

1. *Макроструктура* материала – строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении.

Типы макроструктур:

- *конгломератная структура* характерна для материалов, состоящих из различных по размеру, форме, составу зерен, соединенных воедино непрерывной матрицей затвердевшего вяжущего вещества. Типичные представители – природные горные породы, бетоны;

- *ячеистая структура* характеризуется наличием макропор, свойственных газобетонам и пенобетонам, ячеистым пластмассам, пористым керамическим материалам;

- *мелкопористая структура* свойственна, например, керамическим материалам, поризованным способами высокого водозатворения и введения выгорающих добавок;

- *волоконистая и слоистая структура* характерна для материалов, состоящих из волокон (слоев), расположенных параллельно одно к другому. Волоконистая структура присуща древесине, стеклопластикам, изделиям из минеральной ваты, а слоистая – рулонным, листовым материалам. Для волоконистых и слоистых материалов характерна анизотропия – наличие различных свойств в разных направлениях, поэтому их называют анизотропными;

- *рыхлозернистая структура* характерна для материалов, состоящих из отдельных, не связанных одно с другим зерен (песок, гравий, порошкообразные материалы для мастичной теплоизоляции и засыпок и др.).

2. *Микроструктура* материала – строение, видимое под микроскопом. Микроструктура вещества, составляющего материал, может быть кристаллической и аморфной.

У *кристаллических* веществ молекулы, атомы или ионы, расположенные упорядоченно, образуют так называемую кристаллическую решетку.

Аморфные вещества характеризуются беспорядочным расположением частиц.

Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различия в их свойствах. Аморфные вещества, обладая нерастроченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны (аморфные формы кремнезема – пемзы, туфы, трепелы, диатомиты), чем кристаллические такого же состава (кристаллический кварц).

Существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании имеют определенную температуру плавления, а аморфные – размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Прочность аморфных веществ, как правило, ниже кристаллических, поэтому для получения материалов повышенной прочности специально проводят кристаллизацию.

3. *Внутреннее строение веществ* – это строение на молекулярно-ионном уровне, это расположение, взаимоотношение и взаимосвязь атомов, ионов и молекул, из которых слагаются вещества.

Типы связей между атомами, группами атомов, молекулами: ионные, ковалентные, молекулярные (связи Ван-дер-Ваальса), водородные и металлические.

Тип связей между микрочастицами отражается на свойствах вещества. Например, для веществ с ковалентными связями характерна повышенная прочность; ионные связи определяют способность хорошо растворяться в воде; металлические связи – способность проводить электрический ток.

1.3. Классификация строительных материалов

Чтобы легче ориентироваться в многообразии строительных материалов и изделий, их классифицируют по назначению, исходя из условий работы материалов в сооружениях.

По *назначению* материалы можно условно разделить на следующие группы:

1. Конструкционные материалы – предназначены для создания несущих конструкций, т.е. воспринимающих эксплуатационные механические нагрузки:

природные каменные материалы (например блоки, камни);

искусственные каменные материалы:

– на основе неорганических вяжущих веществ (цементные и силикатные бетоны);

– керамические кирпич и камень;

– стеклянные изделия (стеклоблоки, стеклопрофильные изделия);

металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы);

полимеры;

древесные материалы;

композиционные материалы (асбестоцемент, бетонополимер, фибробетон, стеклопластик и др.).

2. Материалы специального назначения, используемые для защиты конструкций от вредных воздействий среды или повышения эксплуатационных свойств и создания комфорта:

теплоизоляционные материалы предназначены для предотвращения потерь тепла (или холода):

– минеральные (стеклянная и минеральная вата, пеностекло, пенокерамика);

– органические (древесноволокнистые плиты, фибролит);

– полимерные – ячеистые пластмассы (пенополистирол, пенополиуретан, фенольные поропласты);

гидроизоляционные материалы – предназначены для защиты (изоляции) конструкций от воды:

– битумные и дегтевые рулонные материалы (рубероид, толь, гидроизол), эмульсии и мастики;

– полимерные материалы – пленки (полиэтиленовая, поливинилхлоридная) и мастики;

отделочные материалы – предназначены для придания привлекательного внешнего вида, улучшения санитарно-гигиенических свойств поверхности и защиты материалов конструкций:

– из природного камня – плиты с полированной поверхностью из гранита, мрамора;

– керамические – плитки для облицовки фасадов и внутренней поверхности стен;

– материалы и изделия из древесины;

– из пластмасс – моющиеся обои, бумажно-слоистые пластики;

материалы для пола и дорожные материалы;

кровельные материалы;

гидротехнические материалы;

акустические;

антикоррозионные;

огнеупорные;

материалы для защиты от радиационных воздействий.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о государственной стандартизации в строительстве и о применяемых нормативных документах.
2. Как можно выразить состав материала? Как состав материала влияет на его свойства?
3. В чем заключается взаимосвязь строения и свойств материала? Укажите уровни изучения строения материала.
4. Как классифицируют строительные материалы по условиям их работы в сооружении?

2. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Классификация свойств

Каждый строительный материал обладает комплексом разнообразных свойств.

Свойство – способность материала определенным образом реагировать на воздействие отдельного или нескольких внешних или внутренних факторов: силовых, усадочных, тепловых и др.

Чтобы здание или сооружение выполняло свое назначение и было долговечным, строители должны отчетливо представлять те эксплуатационные условия, в которых будет работать каждая изготовленная ими конструкция. Зная эти условия, можно установить, какие свойства должен иметь материал, предназначенный для изготовления данной конструкции.

Главным требованием к материалам, из которых изготавливаются несущие конструкции, является их способность хорошо сопротивляться изменению формы и разрушению под действием нагрузок, а также в ряде случаев низкие теплопроводность и звукопроницаемость (например, для ограждающих конструкций). Основными требованиями к отдельным материалам являются: водонепроницаемость, низкая электропроводность, радиационная стойкость и т.д.

Но ни один материал в сооружении не работает изолированно от окружающей среды. Если он соприкасается с водой, то подвергается действию воды и содержащихся в ней веществ, если он находится на воздухе – действию воздуха и содержащихся в нем водяных паров и газов, а на открытом воздухе также и действию мороза, дождя, солнца, ветра, резких перемен температуры, влажности и т.п. Под воздействием окружающей среды материалы в сооружении подвергаются деформациям и находятся в напряженном состоянии. Неравномерное увлажнение и высыхание материала приводит к появлению в нем внутренних напряжений вследствие различия в деформациях сильно увлажненной и мало увлажненной частей материала. Колебания температуры также приводят к изменению расстояний между частицами и, следовательно, к изменению объема материала. Если имеет место неравномерное изменение размеров и объема, то в материале появляются внутренние напряжения, которые могут привести к его постепенному разрушению.

Специальные технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке. Например, для каменных материалов важной является способность шлифоваться и полироваться. Сравнительно легкая формуемость глин и бетонных смесей при производстве строительных изделий является также важной технологической характеристикой.

Таким образом, при выборе и обосновании целесообразности применения строительного материала требуется учитывать различные его свойства.

Все многообразие свойств строительных материалов принято разделять на следующие группы:

1. Физические свойства характеризуют материал как физическое тело, а также его отношение к различным физическим факторам (действию воды, различных температур, электрического тока и т.д.).

2. Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться действию внешних механических сил, приводящих к сжатию, растяжению, изгибу и т.д.

3. Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке и переработке (шлифоваться и полироваться, изменять форму, уплотняться и т.д.).

4. Эксплуатационные свойства определяют работу материала в конструкции, сооружении в течение заданного срока службы.

5. Химические свойства характеризуют способность материала к химическим превращениям под действием различных веществ и факторов.

2.2. Физические свойства строительных материалов

2.2.1. Свойства материала, характеризующие его как физическое тело

Средняя плотность ρ_m (г/см³, кг/м³) характеризует массу единицы объема материала в естественном состоянии (вместе с порами и пустотами):

$$\rho_m = \frac{m}{V_{\text{ест}}},$$

где m – масса образца материала в сухом состоянии, г (кг, т);

$V_{\text{ест}}$ – объем образца в естественном состоянии, см³ (м³).

На среднюю плотность влияют:

– пористость материала (при увеличении пористости средняя плотность уменьшается);

– влажность материала (чем выше влажность, тем выше средняя плотность).

Насыпная плотность $\rho_{\text{нас}}$ (г/см³, кг/м³) характеризует массу единицы объема зернистого материала (песка, щебня, цемента и т.п.) в рыхлонасыпанном состоянии. В ее величине отражается влияние не только пор в каждом зерне (или куске), но и межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объеме материала.

Истинная плотность ρ (г/см³, кг/м³) – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор и пустот.

Таким образом, истинная плотность характеризует не материал, а вещество, из которого состоит материал, – это физическая константа вещества.

Значение истинной плотности вещества зависит в основном от его химического состава, и у материалов с близким химическим составом истинная плотность приблизительно одинаковая.

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{абс}}},$$

где m – масса материала, г;

$V_{\text{абс}}$ – объем материала в абсолютно плотном состоянии (без пор), см³,

$$V_{\text{абс}} = V - V_{\text{пор}}$$

где V – объем материала в естественном состоянии;

$V_{\text{пор}}$ – объем заключающихся в нем пор.

Объем пор ($V_{\text{пор}}$) можно определить по объему жидкости (воды, керосина), заполнившей поровое пространство материала при его насыщении под вакуумом. При точных измерениях объема пор используют сжиженный гелий, способный проникать в тонкие поры. Стандартный метод определения плотности и пористости предусматривает измельчение материала в порошок и определение $V_{\text{абс}}$ с помощью пикнометра по величине объема вытесненной жидкости известной массой этого порошка.

Большинство строительных материалов имеют поры, поэтому у них истинная плотность всегда больше средней. Лишь у плотных материалов (стали, стекла, битума и др.) истинная и средняя плотности практически равны, так как объем внутренних пор у них ничтожно мал.

Для ряда простых технических расчетов определяют коэффициент плотности, характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{\text{пл}} = \frac{\rho_m}{\rho} \cdot 100\%.$$

Относительная плотность d – отношение плотности материала к плотности эталонного вещества. В качестве эталонной жидкости чаще всего используют воду, плотность которой при температуре +4 °С составляет 1 г/см³:

$$d = \frac{\rho_m}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}^{4^\circ\text{C}}}$$

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

Пористость материалов колеблется в широких пределах: от 0,2...0,8 % у гранита и мрамора до 75...85 % у теплоизоляционного кирпича и ячеистого бетона и свыше 90 % – у пенопластов и минеральной ваты.

Общая пористость – относительная величина, показывающая, какая часть объема материала занята внутренними порами:

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

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

$$\Pi_o = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{H_2O}} \cdot 100\%,$$

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

Закрытая пористость (Π_3) равна:

$$\Pi_3 = \Pi - \Pi_o$$

Поры представляют собой ячейки, не заполненные структурным материалом.

Классификация пор в материале:

1. По форме и характеру:

- изолированные, закрытые поры (рис.2.1а);
- сообщающиеся поры (рис. 2.1б);
- открытые поры (рис. 2.1в).

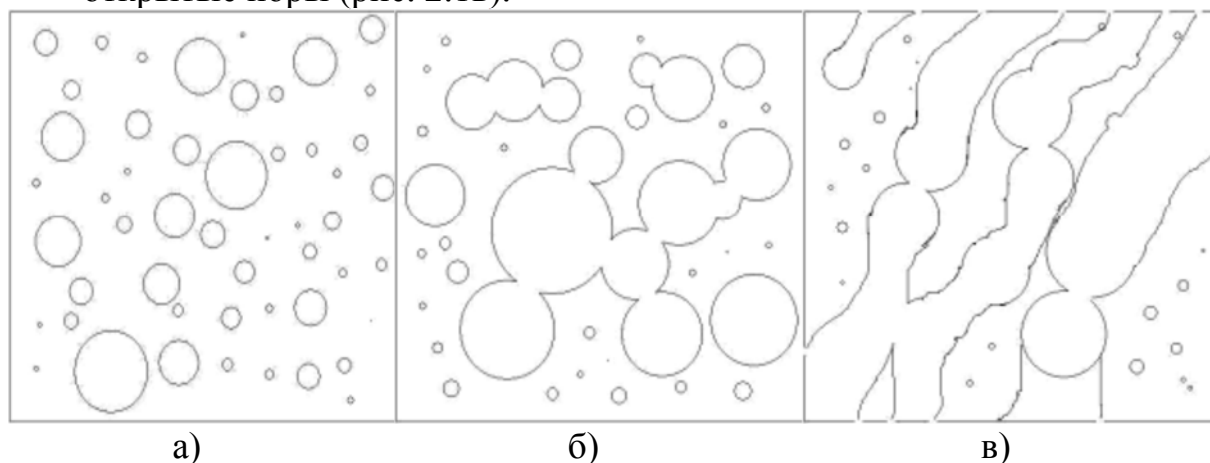


Рис. 2.1. Классификация пор в материале

2. По размеру поры представляют собой:

- микрокапилляры, r 0,1 мкм (мелкие);
- макрокапилляры, r от 0,1 до 10 мкм (средние);
- некапиллярные поры (крупные).

От величины пористости и ее характера (размера и формы пор, равномерности распределения пор по объему материала, их структуры – сообщающиеся поры или замкнутые) зависят важнейшие свойства материала: плотность, прочность, долговечность, теплопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость и др. Так, например, открытые поры увеличивают проницаемость и водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость. Однако в звукопоглощающих материалах открытые поры желательны, так как они поглощают звуковую энергию. Увеличение закрытой пористости за счет открытой повышает долговечность материала и уменьшает его теплопроводность.

Сведения о пористости материала позволяют определять целесообразные области его применения. Значения истинной и средней плотностей, а также пористости некоторых строительных материалов приведены в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2 . 1

Истинная, средняя плотность и пористость
некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Пористость, %
	истинная	средняя	
Бетон:			
тяжелый	2600	2400	10
легкий	2600	1000	61,5
ячеистый	2600	500	81
Кирпич:			
обыкновенный	2650	1800	32
пустотелый	2650	1300	51
Природные камни:			
гранит	2700	2670	1,4
Стекло:			
оконное	2650	2650	0,0
пеностекло	2650	300	88
Полимерные материалы:			
стеклопластик	2000	2000	0,0
пенополистирол	1200	150	98
Древесные материалы:			
сосна	1530	500	67
ДВП	1500	200	86
Сталь	7850	7850	0,0

2.2.2. Гидрофизические свойства строительных материалов

Строительные материалы в процессе их эксплуатации и хранения подвергаются действию воды или водяных паров, находящихся в воздухе. При этом их свойства существенно изменяются. Так, при увлажнении материала повышается его теплопроводность и средняя плотность, происходят некоторые структурные изменения в материале, вызывающие появление в нем внутренних напряжений, что, как правило, приводит к снижению прочности материала. Поэтому при всех расчетах необходимо учитывать как влажность материала, так и его способность к поглощению влаги.

Гидрофильность и гидрофобность – свойства поверхности материала по отношению к воде. Мерой гидрофильности и гидрофобности служит энергия связи молекул воды с поверхностью вещества, из которого состоит материал.

Гидрофильные (от греч. *phileo* – люблю) материалы (бетон, керамика) имеют высокую степень связи с водой, гидрофобные (от греч. *phobos*) материалы (битум, большинство полимеров) – низкую степень связи с водой.

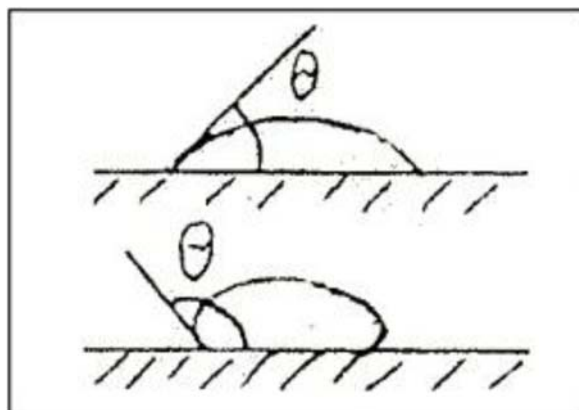


Рис. 2.2. Определение краевого угла смачивания

Вода – полярная жидкость. Способность воды смачивать поверхность материалов зависит от степени полярности поверхности. Степень смачиваемости оценивается краевым углом смачивания. Для гидрофильных материалов угол острый. Чем меньше угол, тем лучше поверхность смачивается водой. Если угол смачивания тупой, то вода почти или совсем не смачивает поверхность материала.

Гигроскопичность – способность материала поглощать и конденсировать водяные пары из воздуха.

Гигроскопичность характеризуется величиной отношения массы поглощенной материалом влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре 20°C, к массе сухого материала, выраженной в процентах.

Гигроскопичность вызывается сорбцией, представляющей собой физико-химический процесс поглощения водяных паров из воздуха в результате как их адсорбции на внутренней поверхности материала, так и капиллярной конденсации. Капиллярная конденсация возможна только в капиллярах с малым радиусом (менее 10^{-7} м), так как разность давлений насыщенного водяного пара над вогнутой поверхностью мениска и плоской поверхностью в капиллярах с большим радиусом незначительна. Гигроскопичность зависит как от свойств материала – величины и характера пористости, так и от условий внешней среды – температуры и относительной влажности, а для сыпучих материалов также от их растворимости в воде, дисперсности и снижения температуры воздуха. Этот процесс носит обратимый характер.

Капиллярное всасывание – способность материала всасывать и передавать по своей толще влагу с помощью тонких капиллярных пор.

Капиллярными называют поры с такими условными радиусами, при которых их капиллярный потенциал (потенциальная энергия поля капиллярных сил, отнесенных к единице массы жидкости) значительно больше потенциала поля тяжести.

Например, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Чтобы избежать увлажнения кладки первого этажа, поверх фундамента укладывают гидроизоляционный материал.

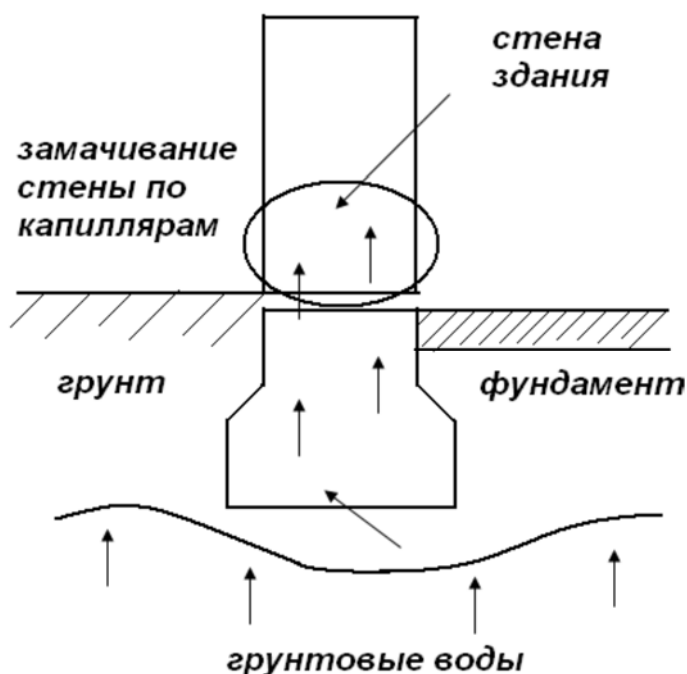


Рис. 2.3. Пример капиллярного всасывания

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия уровня воды в капиллярах материала, количеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

Высоту поднятия жидкости (h) в капилляре можно определить по формуле Жюрена:

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

где σ – поверхностное натяжение на границе жидкость – воздух;

θ – краевой угол смачивания;

r – радиус капилляра;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

Объем воды, поглощенный материалом путем капиллярного всасывания за время t , в начальной стадии подчиняется параболическому закону:

$$V^2 = Kt,$$

где K – константа всасывания.

Уменьшение интенсивности всасывания (т.е. значения K) указывает на улучшение структуры материала и повышение его морозостойкости.

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

Водопоглощение характеризуется максимальным количеством воды, поглощаемым образцом материала при выдерживании его в воде и отнесенным к массе сухого образца (водопоглощение по массе W_m) или к его объему (водопоглощение по объему W_o):

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%;$$

$$W_o = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{сух}}$ – масса образца материала в сухом состоянии, г;

$m_{\text{вл}}$ – масса образца материала, насыщенного водой, г;

V – объем материала в естественном состоянии, см³.

Водопоглощение по объему отражает степень заполнения пор материала водой. Так как вода проникает не во все замкнутые поры и не удерживается в открытых пустотах, объемное водопоглощение меньше истинной пористости.

Зная водопоглощение по массе и объему, можно рассчитать ρ_m :

$$\rho_m = \frac{W_o}{W_m}.$$

Коэффициент насыщения пор водой – отношение водопоглощения по объему к общей пористости:

$$k_n = W_o/n.$$

Коэффициент насыщения позволяет оценить структуру материала. Он может изменяться от 0, когда все поры в материале замкнуты, до 1, когда все поры открыты.

Коэффициент насыщения пор дает возможность косвенно оценивать морозостойкость материала. Если k_n менее 0,6 (поры на 60% и менее заполнены водой) – материал считается морозостойким, при k_n в пределах от 0,6 до 0,8 материал имеет так называемую сомнительную морозостойкость, если k_n больше 0,8 – материал не морозостоек.

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

Разрушение материала при таких циклических воздействиях связано с появлением в нем напряжений, вызванных как односторонним давлением растущих кристаллов льда в порах материала, так и всесторонним гидростатическим давлением воды, вызванным увеличением объема при образовании льда примерно на 9%.

При полном заполнении всех пор и капилляров пористого материала водой разрушение может наступить даже при однократном замораживании. Однако у многих пористых материалов вода не может заполнить весь объем доступных пор, поэтому образующийся при замерзании воды лед имеет свободное пространство для расширения.

При насыщении пористого материала водой в основном заполняются макрокапилляры, микрокапилляры при этом заполняются водой частично и служат резервными порами, куда отжимается вода в процессе замораживания.

При работе пористого материала в атмосферных условиях (наземные конструкции) водой заполняются в основном микрокапилляры за счет сорбции водяных паров из окружающего воздуха; крупные же поры и макрокапилляры являются резервными. Следовательно, морозостойкость пористых материалов определяется величиной и характером пористости, а также условиями эксплуатации изготовленных из них конструкций. Она тем выше, чем меньше водопоглощение и больше прочность материала при растяжении. Учитывая неоднородность строения материала и неравномерность распределения в нем воды, удовлетворительную морозостойкость можно ожидать у пористых материалов, имеющих объемное водопоглощение не более 80% объема пор.

Марка по морозостойкости характеризуется числом циклов попеременного замораживания при -15, -17°C и оттаивания в воде при температуре около +20°C. Выбор температуры замораживания не выше -15, -17°C вызван

тем, что при более высокой температуре вода, находящаяся в мелких порах и капиллярах, не может вся замерзнуть. Число циклов, которые должен выдерживать материал, зависит от условий его будущей службы в сооружении, климатических условий и указывается в СНиПах и ГОСТах на материалы.

Материал считают выдержавшим испытание, если после заданного количества циклов замораживания и оттаивания потеря массы образцов в результате выкрашивания и расслаивания не превышает 5%, а прочность снижается не более чем на 15% (для некоторых материалов – на 25%).

Марка по морозостойкости обозначается F. Так, например, для бетона марки по морозостойкости: F25, 35, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 1000. Для керамического и силикатного кирпича: F15, F25, F35 и F50.

Влажностные деформации – изменение размеров и объема материала при изменении его влажности.

Усадкой (усушкой) называют уменьшение размеров и объема материала при его высыхании. Она вызывается уменьшением толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала. Усадка возникает и увеличивается, когда из материала удаляется вода, находящаяся в гидратных оболочках частиц и в мелких порах. Испарение воды из крупных пор не ведет к сближению частиц материала и практически не вызывает объемных изменений.

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

Водостойкость – способность материала сохранять свою прочность после насыщения водой. Числовой характеристикой водостойкости является коэффициент размягчения:

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}.$$

Коэффициент размягчения находится в пределах от нуля (полностью размокающие материалы, например необожженные глиняные материалы и др.) до единицы (металлы, стекло, гранит, т.е. материалы, полностью сохраняющие свою прочность в насыщенном водой состоянии).

Строительный материал считается водостойким, если $K_{\text{разм}} \geq 0,8$; такие материалы можно применять во влажных условиях эксплуатации без специальных мер по защите от увлажнения.

Воздухостойкость – способность материала выдерживать циклические воздействия увлажнения и высушивания без заметных деформаций и потери механической прочности.

Влагоотдача – способность материала отдавать находящуюся в его порах воду окружающей среде при благоприятных условиях (понижении влажности воздуха, увеличении температуры). Влагоотдача характеризуется количеством воды, испаряющейся из образца материала в течение 1 суток при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C.

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением.

Характеристикой водопроницаемости служит *коэффициент фильтрации* K_{ϕ} (м/ч) – объем воды (м^3), просачивающейся в течение 1 ч через 1 м^2 поверхности материала толщиной 1 м при заданном давлении воды:

$$K_{\phi} = V_{\text{в}} \delta / [S(P_1 - P_2)t],$$

где $V_{\text{в}}$ – объем воды, м^3 ;

S – площадь поверхности, м^2 ;

δ – толщина слоя материала, м;

t – время, ч;

$(P_1 - P_2)$ – разность гидростатического давления на противоположных поверхностях материала.

Коэффициент фильтрации имеет размерность скорости.

Водопроницаемость зависит от плотности и строения материала. Чем больше в материале пор и чем они крупнее, тем больше его водопроницаемость.

Водонепроницаемость – способность материала не пропускать воду под давлением. Характеризуется маркой, обозначающей одностороннее гидростатическое давление, при котором образец материала не пропускает воду в условиях испытания.

Марки по водонепроницаемости: $W2$, $W4$, $W6$, $W8$, $W12$.

Цифра означает давление воды в атмосферах ($W2$ – давление 0,2 МПа).

Между коэффициентом фильтрации и маркой по водонепроницаемости имеется определенное соотношение: чем ниже K_{ϕ} , тем выше марка по водонепроницаемости.

Паропроницаемость и газопроницаемость – способность материала пропускать через свою толщу водяной пар или газы (воздух) при разности давлений на противоположных поверхностях материала. Пар стремится пройти через материал в ту сторону, где его парциальное давление ниже (например, из теплого помещения в холодное).

Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, численно равным количеству водяного пара, проникающего через

слоем материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 с, и разностью парциальных давлений пара в 133,3 Па.

Материалы для стен жилых зданий должны обладать определенной проницаемостью (стена должна «дышать»), т.е. через наружные стены происходит естественная вентиляция. Наоборот, стены и покрытия влажных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения в них водяного пара, особенно зимой, когда содержание пара внутри помещения значительно больше, чем снаружи, и пар, проникая в холодную зону ограждения, конденсируется, резко повышает влажность в этих местах.

Аналогичным коэффициентом оценивается и газопроницаемость (воздухопроницаемость).

2.2.3. Теплофизические свойства строительных материалов

Теплопроводность – свойство материала передавать тепло через толщину от одной поверхности к другой. Теплопроводность [Вт/(м·°С)] характеризуется количеством теплоты (Дж), проходящей через материал толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях материала 1°С.

Теплопроводность материала зависит от его химического состава и структуры, степени и характера пористости, влажности и температуры, при которых происходит процесс передачи теплоты. Материалы слоистого или волокнистого строения имеют различную теплопроводность в зависимости от направления потока теплоты по отношению к волокнам. Например, у древесины теплопроводность вдоль волокон в 2 раза больше, чем поперек волокон. Материал кристаллического строения более теплопроводен, чем материал того же состава, но аморфного строения.

В значительной мере теплопроводность зависит от величины пористости, размера и характера пор. У пористых материалов тепловой поток проходит через твердый «каркас» материала и воздушные ячейки. Теплопроводность воздуха очень низка – 0,023 Вт/(м·°С), а вещества, из которых построен твердый каркас материала, имеют значительно большую теплопроводность. Мелкопористые материалы и материалы с замкнутыми порами обладают меньшей теплопроводностью, чем крупнопористые материалы и материалы с сообщающимися порами. Это связано с тем, что в крупных и сообщающихся порах усиливается перенос теплоты конвекцией, что и повышает суммарную теплопроводность. Теплопроводность однородного материала зависит от плотности. Для некоторых групп материалов установлена определенная связь между теплопроводностью и относительной плотностью (d) (формула В.П. Некрасова):

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

С увеличением влажности материала теплопроводность возрастает, поскольку вода имеет теплопроводность, в 25 раз большую, чем воздух. Еще в большей степени возрастает теплопроводность сырого материала с понижением его температуры, особенно при замерзании воды в порах, так как теплопроводность льда равна 2,3 Вт/(м·°С), т.е. в 4 раза больше, чем теплопроводность воды.

Теплопроводность большинства строительных материалов увеличивается с повышением их температуры. Это необходимо знать при выборе материалов для тепловой изоляции теплопроводов, котельных установок и т.п.

Теплопроводность материалов учитывается при теплотехнических расчетах толщины стен и перекрытий отапливаемых зданий, а также при определении требуемой толщины тепловой изоляции горячих поверхностей и холодильников. Она связана с *термическим сопротивлением* слоя материала R (м²·°С/Вт), которое определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda},$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – теплопроводность слоя материала, Вт/(м·°С).

От термического сопротивления зависят толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий. В табл. 2.2 приведены значения теплопроводности некоторых строительных материалов в воздушно-сухом состоянии.

Т а б л и ц а 2 . 2

Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Сталь	58
Гранит	2,9...3,3
Бетон тяжелый	1,28...1,55
Кирпич керамический сплошной	0,81...0,87
Вода (для сравнения)	0,59
Известняк	0,52...0,98
Бетон легкий	0,35...0,8
Пенобетон	0,12...0,15
Фибролит	0,09...0,17
Минеральная вата	0,06...0,09
Древесноволокнистые плиты	0,08

Теплоемкость – способность материалов поглощать (аккумулировать) теплоту при нагревании. Теплоемкость оценивается величиной удельной теплоемкости C , которая равна количеству тепла, необходимому для нагревания 1 кг материала на 1 °С:

$$C = Q / m(t_2 - t_1),$$

где C – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) или Дж/(кг·°С);

Q – количество тепла, Дж, кДж;

m – масса материала, кг;

$(t_2 - t_1)$ – разность температур, К или °С.

Удельная теплоемкость материала зависит от его природы и, в незначительной степени, от пористости. Органические материалы имеют значительно большую C , чем минеральные.

Чем больше теплоемкость материала, тем больше тепла он аккумулирует при повышении температуры окружающей среды (дольше нагревается) и тем больше выделяется теплоты при снижении температуры окружающей среды, тем самым поддерживается температурный режим в помещении. В деревянных домах тепло зимой и прохладно летом.

Термическая стойкость – способность материала выдерживать чередование резких тепловых изменений без разрушений.

Термостойкость в значительной степени зависит от однородности материала и от способности каждого компонента к тепловым расширениям.

Коэффициент линейного температурного расширения характеризует удлинение 1 м материала при нагревании его на 1 °С. *Коэффициент объемного расширения* характеризует увеличение объема 1 м³ материала при нагревании его на 1 °С. Чем меньше эти коэффициенты и выше однородность материала, тем выше и его термическая стойкость, т.е. он может выдержать большое количество циклов резких смен температуры. Так, каменные материалы из мономинеральных горных пород (мрамор) более термостойки, чем породы, сложенные из нескольких минералов (например гранит). При жестком соединении материалов с различными коэффициентами линейного расширения в конструкциях могут возникнуть большие напряжения и, как результат, – коробление и растрескивание материала. Во избежание этого конструкции большой протяженности разрезают деформационными швами.

Огнестойкость – способность материалов противостоять действию огня при пожаре в течение определенного времени без существенного снижения прочности и значительных деформаций.

По степени огнестойкости строительные материалы делятся на следующие группы:

- несгораемые;
- трудносгораемые;
- сгораемые.

Несгораемые материалы в условиях высоких температур не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию. При этом некоторые материалы почти не деформируются (кирпич, черепица), другие могут сильно деформироваться (сталь) или растрескиваться (гранит). Поэтому стальные конструкции часто требуется защищать другими, более огнестойкими материалами.

Трудносгораемые материалы под воздействием высоких температур с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются, но только в присутствии огня. При удалении огня процессы горения, тления и обугливания прекращаются (фибролит, асфальтовый бетон и др.).

Сгораемые материалы под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, горят или тлеют и после удаления источника огня (древесина, войлок, битумы, смолы и др.).

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное воздействие высоких температур без разрушения и деформаций (без плавления).

По огнеупорности строительные материалы делятся на следующие группы:

- легкоплавкие – $< 1350^{\circ}\text{C}$;
- тугоплавкие – $1350 \dots 1580^{\circ}\text{C}$;
- огнеупорные – $1580 \dots 2000^{\circ}\text{C}$;
- высшей огнеупорности – $> 2000^{\circ}\text{C}$.

2.3. Механические свойства строительных материалов

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться воздействию внешних механических сил – нагрузок, которые вызывают в них деформации и внутренние напряжения.

Нагрузки бывают:

✓ статические (действующие постоянно) – возникают от оборудования, конструкций, мебели, людей;

✓ динамические (прикладываются внезапно и вызывают силы инерции) – возникают в результате природных катастроф, аварий на предприятиях, взрывов и ударов.

Последние более опасны, так как в них в короткий промежуток времени аккумулируется огромная энергия, способная вызвать разрушение конструкций.

Механические свойства разделяются на деформационные и прочностные.

Деформационные свойства

Деформация – изменение формы и размеров строительного материала под действием внешних и внутренних факторов. Главные виды деформаций – растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг.

В зависимости от того, исчезают или нет деформации после снятия нагрузки (восстанавливаются размеры и форма или нет), деформации делят на две группы:

1) обратимые деформации полностью исчезают после снятия нагрузки, форма и размеры восстанавливаются полностью. Обратимые деформации называют *упругими*, если они исчезают мгновенно после снятия факторов, их вызвавших, и *эластическими*, если они, оставаясь полностью обратимыми, спадают в течение более или менее длительного периода времени;

2) необратимые (остаточные), или пластические, деформации полностью или частично сохраняются после снятия нагрузки.

Упругость – свойство материала деформироваться под влиянием нагрузки и самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы.

Модуль упругости (модуль Юнга) характеризует меру жесткости материала, т.е. его способность сопротивляться упругому изменению формы и размеров при приложении к нему внешних сил. Модуль упругости E связывает упругую относительную деформацию (ε) и одноосное напряжение (σ) соотношением, выражающим закон Гука:

$$\varepsilon = \sigma / E,$$

где σ – напряжение при растяжении (сжатии), МПа, которое находится как $\sigma = F/S$, где F – сила, действующая на тело (кгс, H); S – площадь поперечного сечения материала, m^2 . Для характеристики поведения данного материала под нагрузкой строят экспериментальные зависимости в координатах «напряжение – относительные деформации».

Существует прямая зависимость модуля упругости от вида и энергии химических связей, действующих между атомами и молекулами данного материала. Материалы с высокой энергией межатомных связей характеризуются и большим модулем упругости.

При нагрузках материал вынужден деформироваться. Деформации для разных видов материалов бывают разными.

Зависимость «напряжение – относительная деформация» может быть представлена графически (рис. 2.4):

Эластичность – способность к значительным упругим деформациям под действием сравнительно небольших нагрузок (первоначальная форма и размеры в основном восстанавливаются после снятия нагрузок) – резина, эластомеры (каучуки, поролон).

Пластичность – свойство строительного материала изменять свою форму и размеры под действием внешних сил, без разрушения, причем

после прекращения действия силы тело не может самопроизвольно восстановить свою форму и размеры, т.е. у тела остается некоторая пластическая деформация.

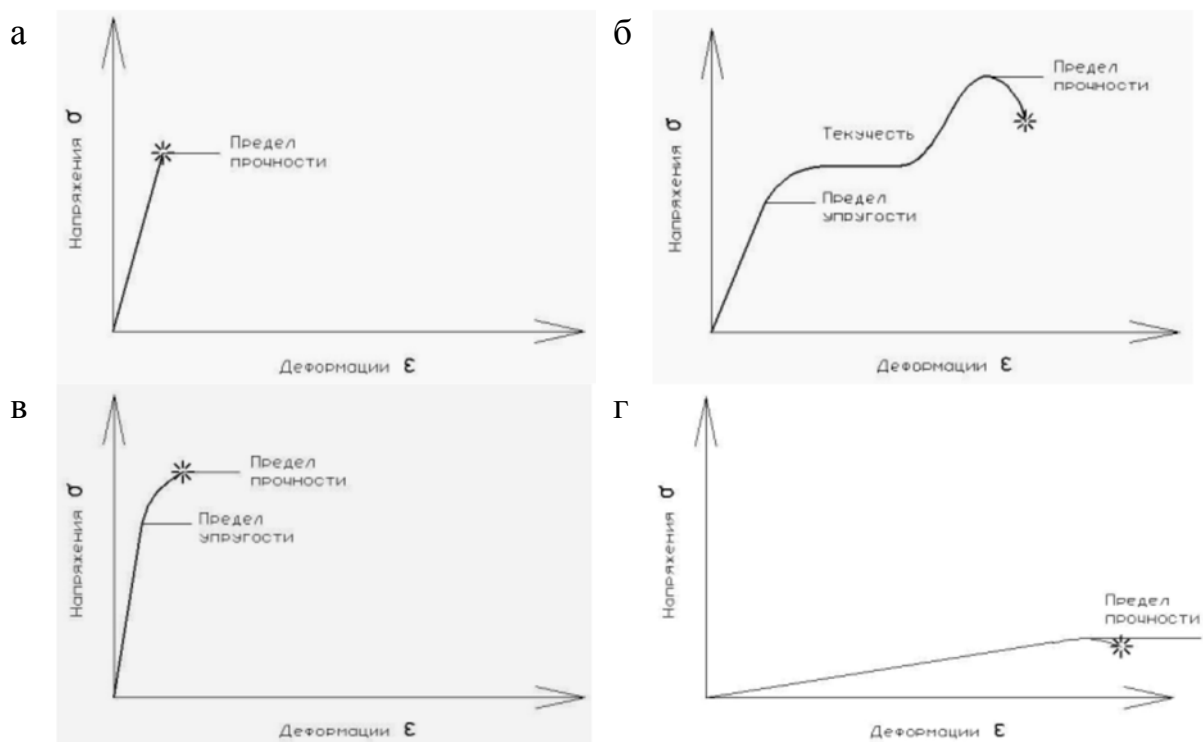


Рис. 2.4. Диаграммы деформации:
 а – стекло (упругий хрупкий материал); б – сталь (сохраняет упругость при значительных напряжениях); в – бетон (хрупкий материал);
 г – эластомер (эластичный материал)

Это свойство важно учитывать при выборе материалов для несущих конструкций, а также выборе технологии изготовления некоторых изделий (например, керамических). Наиболее желательными для несущих конструкций являются материалы, которые наряду с большой упругостью перед разрушением обладают высокой пластичностью. Разрушение в подобных материалах не будет происходить внезапно (например, такие характеристики наблюдаются у стали).

Хрупкость – свойство строительного материала разрушаться при механических воздействиях без заметных деформаций. Так как для развития пластических деформаций требуется определенное время, то хрупкость особенно четко проявляется при ударной нагрузке. Для хрупких материалов характерна также большая разница (в 10...15 раз и более) в пределах прочности при растяжении и сжатии. Характер разрушения строительных материалов зависит от температуры, влажности, скорости нагружения. Так, битум при отрицательных, а сталь при очень низких температурах могут разрушаться как хрупкий материал; поэтому более правильно для большинства материалов говорить о пластичном и хрупком состояниях.

Текучесть – способность материалов к значительным пластическим деформациям, медленно нарастающим без увеличения напряжений.

Ползучесть – способность материалов к пластическим деформациям, медленно нарастающим в течение длительного времени под действием нагрузки, не способной вызвать остаточные деформации за непродолжительный период. Ползучесть характерна для пластмасс.

Релаксация – свойство материала самопроизвольно снижать напряжения при условии, что начальная величина деформации зафиксирована жесткими связями и остается неизменной. При релаксации напряжений может измениться характер начальной деформации, например, из упругой постепенно перейти в необратимую (пластическую), при этом изменения размеров не происходит. Такое исчезновение напряжений возможно за счет межмолекулярных перемещений и переориентации внутримолекулярной структуры.

Прочностные свойства

Прочность – свойство материала сопротивляться, не разрушаясь, внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под действием нагрузки или других факторов.

Прочность материала является одной из основных характеристик для большинства строительных материалов, так как они в сооружениях всегда подвергаются тем или иным воздействиям, вызывающим напряженное состояние (сжатие, растяжение, изгиб, срез, удар и др.). Знание прочностных показателей позволяет правильно выбрать максимальные нагрузки, которые может воспринимать данный элемент при заданном сечении, или по заданным нагрузкам рассчитывать технически и экономически целесообразное сечение конструкции из данного материала.

В зависимости от вида внешних воздействий различают:

- прочность при сжатии;
- прочность при растяжении;
- прочность при изгибе и т.д.

Прочность количественно оценивается пределом прочности.

Предел прочности (R) – критическое напряжение, при котором наступает разрушение материала.

Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле

$$R_{сж} = F/S,$$

где F – разрушающая сила, Н (кгс);

S – площадь поперечного сечения образца до испытания, см².

Предел прочности при сжатии строительных материалов определяют с опорными гранями образца и плитами пресса, удерживают части образца, прилегающие к плитам, от разрушения. Средние же части образца разрушаются в первую очередь (рис. 2.5). Поэтому для хрупких материалов

наблюдается характерная форма разрушения кубов: две усеченные пирамиды, сложенные вершинами.

Действием сил трения объясняется разница в пределе прочности материала, определенная на образцах разного размера: у кубиков малых размеров предел прочности при сжатии оказывается выше, чем у кубиков больших размеров из того же материала.

Если же смазать опорные грани куба или покрыть их парафином, то силы трения уменьшаются, стремятся к нулю и изменяется характер разрушения образца (рис. 2.5). Куб распадается на ряд слоев, разделенных вертикальными трещинами. Предел прочности куба со смазанными опорными гранями составляет 50% предела прочности того же образца с несмазанными поверхностями.

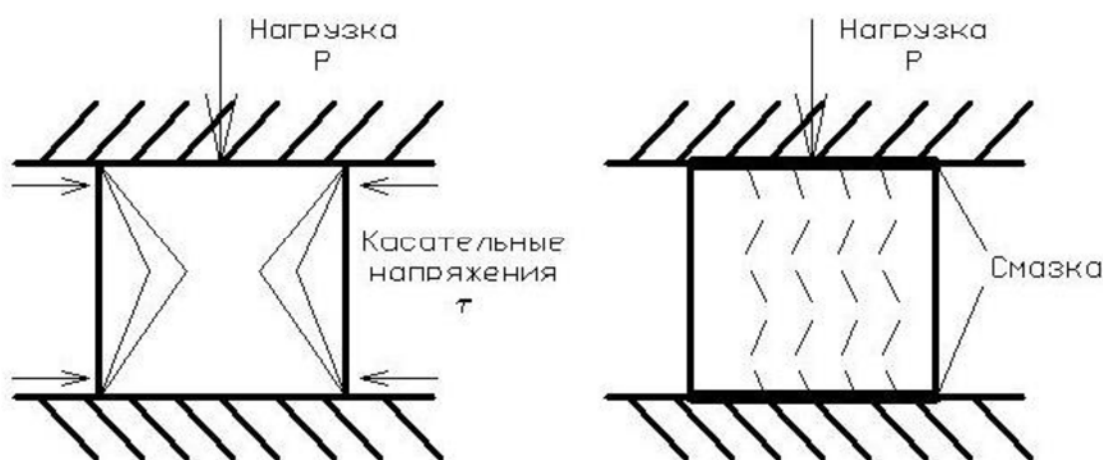


Рис. 2.5. Характер разрушения образцов при сжатии

Предел прочности материала (чаще при сжатии) характеризует его марку и колеблется в широких пределах – 0,5...1000 МПа и более. У большинства материалов (кроме древесины, стали, полимерных материалов) предел прочности при растяжении и изгибе значительно ниже, чем при сжатии. Так, каменные материалы при растяжении выдерживают нагрузку, меньшую в 10...15 раз и более, чем при сжатии, поэтому их применяют главным образом в конструкциях, которые работают на сжатие.

Для строительных материалов, работающих в сооружениях, действующее напряжение должно быть меньше величины предела их прочности. В результате создается запас прочности. Необходимость создания запаса прочности вызывается рядом причин: неоднородностью материала, возможностью значительной деформации еще до предела прочности и появления трещин, усталостью материала при переменных нагрузках, «старением» материала под влиянием окружающей среды и т.д. Запас прочности устанавливается нормативными требованиями в зависимости от вида и качества материала, долговечности и класса сооружения.

Для определения предела прочности при изгибе испытывают образцы материалов в виде балочек, расположенных на двух опорах. Расчет предела прочности при изгибе производят по формуле

$$R_{\text{изг}} = 3Fl / (2bh^2),$$

где F – разрушающая сила, Н (кгс);

l – расстояние между опорами, см;

b и h – ширина и высота балки в поперечном сечении, см.

Вышеуказанные характеристики прочности в значительной степени являются условными:

1) они не учитывают фактора времени, т.е. продолжительности действия напряжений;

2) размеры, форма, характер поверхности образцов материала, скорость нагружения, приборы и другие исходные данные в принятых методах условны.

Предел прочности одного и того же материала может иметь различную величину в зависимости от размера образца, его формы, скорости приложения нагрузки и конструкции прибора, на котором испытывались образцы. Однако у большинства материалов, применяемых в строительстве, период релаксации весьма большой по сравнению со временем действия нагрузки. Поэтому для определения прочностных характеристик вполне допустимы условные методы, получившие широкое распространение в инженерной практике. При этом важно строго соблюдать все условия испытаний, установленные для данного материала в соответствующих ГОСТах.

Для оценки прочностной эффективности материала часто используют *коэффициент конструктивного качества (К.К.К.)*. Величина этого коэффициента определяется отношением предела прочности при сжатии на относительную плотность материала:

$$К.К.К. = R/d .$$

Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность.

При обосновании технической целесообразности применения материала для устройства полов промышленных зданий, дорожных и аэродромных покрытий, тротуаров и в других случаях строительной практики (например, при выборе способа обработки материала) важное значение имеют специальные механические свойства: ударная вязкость, твердость, истираемость и износостойкость.

Ударная вязкость (ударная или динамическая прочность) – свойство материала сопротивляться ударным нагрузкам. Испытания производят на приборах – копрах. Характеристикой этого свойства является работа, затраченная на разрушение стандартного образца (Дж), отнесенная к единице его объема (м^3) или площади (м^2).

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого материала. Для определения твердости материалов в зависимости от их вида и назначения существует ряд методов. Твердость каменных материалов однородного строения определяют по шкале Мооса, которая составлена из 10 минералов с условным показателем твердости от 1 до 10 (самый мягкий тальк – 1, самый твердый алмаз – 10). Показатель твердости испытываемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один царапает испытываемый материал, а другой оставляет черту на образце материала. Твердость металла, бетона, пластмасс устанавливают вдавливанием в испытываемый образец под определенной нагрузкой и в течение определенного времени стандартного стального шарика. За характеристику твердости в этом случае принимают отношение нагрузки к площади отпечатка. Показатели твердости, полученные разными способами, нельзя сравнивать друг с другом. Высокая прочность материала не всегда говорит о его твердости (например, древесина по прочности при сжатии равнозначна бетону, а ее твердость значительно меньше твердости бетона). Для некоторых материалов (например для металлов) существует определенная связь между твердостью и прочностью, для других материалов (однородные каменные материалы) – между твердостью и истираемостью.

Истираемость – свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Одновременное воздействие истирания и удара характеризует износостойкость материала. Оба эти свойства определяют различными условными методами: истираемость – на специальных кругах истирания, а износ – с помощью вращающихся барабанов, куда вместе с пробой материала часто загружают определенное количество металлических шаров, усиливающих эффект измельчения. За характеристику истираемости принимают потерю массы (или объема) материала, отнесенной к 1 см² площади истирания, а за характеристику износа – относительную потерю массы образца в процентах от пробы материала. Допустимые показатели истираемости и износа нормируются в соответствующих стандартах.

2.4. Технологические и эксплуатационные свойства строительных материалов

Технологические свойства характеризуют способность материала к восприятию тех или иных технологических операций, изменяющих агрегатное состояние материала (перевод твердого материала в расплав), структуру его поверхности (например, получение гладкой зеркальной структуры вместо грубооколотой при полировке каменного материала), придающих нужную форму, размеры и т.п.

К технологическим свойствам материалов относят дробимость, шлифуемость, полируемость (для каменных материалов), спекаемость (для минерального сырья), укрывистость (для лакокрасочных материалов), удобоукладываемость (для бетонной смеси), распиливаемость и т.п.

Удобоукладываемость – способность бетонной смеси легко и равномерно распределяться в армированном пространстве опалубки.

Формуемость – свойство смесей приобретать заданную форму при минимальных экономических затратах. Она определяет плотность и прочность композиционных материалов.

Нераслаиваемость – свойство смесей (эмульсий, цементобетонных растворов) сохранять однородность при формировании и транспортировке.

Укрывистость – способность красок и лаков равномерно покрывать поверхность.

Слеживаемость – комкование мелкозернистых материалов (цемент, минеральные порошки) в условиях повышенной влажности воздуха. Ее можно снизить путем обработки материалов ПАВ (гидрофобизацией).

Дробимость – способность природных и искусственных материалов при ударе делиться на части различных размеров и формы.

Ковкость – способность материала в нагретом состоянии деформироваться под влиянием ударов.

Гвоздимость – способность древесины и некоторых других материалов удерживать различными способами металлические изделия (гвозди, шурупы, скобы).

Спекаемость – свойство некоторых минеральных материалов (на основе глины) в определенном интервале температур частично размягчаться, уплотняться (за счет плавления легкоплавких компонентов), а при охлаждении приобретать высокую прочность

Эксплуатационные свойства строительных материалов

Долговечность – способность материала сохранять свойства при комплексном воздействии атмосферных и других факторов в условиях эксплуатации.

Нормативный срок службы материала определяется длительностью достижения предельного состояния материалом, конструкцией, сооружением. Так, кирпичные здания должны иметь срок службы более 100 лет, а конструкции из дерева – 20...30 лет.

За предельное состояние материала принимается то допустимое значение показателей свойств, ниже которых материал (конструкция) уже не может применяться в заданных условиях эксплуатации.

Долговечность материала зависит, с одной стороны, от состава, структуры и качества (совокупности свойств) самого материала, с другой – от совокупности воздействующих на него в период эксплуатации факторов:

режима и уровня нагрузок, температуры, влажности и агрессивности среды и т.п.

Безотказность – свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безопасности относятся вероятность безотказной работы.

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

Ремонтопригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению работоспособности в результате устранения отказов. Показателями ремонтпригодности являются среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов.

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

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

2.5. Химические и физико-химические свойства строительных материалов

Химические свойства характеризуют способность материала вступать в химическое взаимодействие с различными веществами окружающей среды.

В зависимости от результата химических превращений материалов (полезные и вредные) условно химические свойства можно разделить на группы.

1. *Свойства, характеризующие химическую активность вяжущих веществ.* В результате химического взаимодействия образуются новые соединения, обеспечивающие формирование структуры и комплекса полезных свойств композиционных материалов.

Твердение неорганических вяжущих веществ основано главным образом на химических реакциях минералов вяжущих веществ с водой.

Например,

✓ твердение строительного гипса:



✓ твердение извести:

а) гашение: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$;

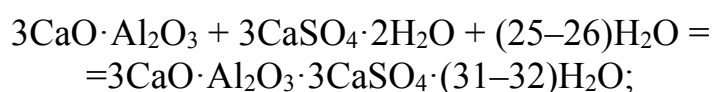
б) карбонизация: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;

✓ твердение цемента:

а) трехкальциевый силикат (алит) взаимодействует с водой с образованием гидросиликатов кальция переменного состава (ГСК) и гидроксида кальция:



б) трехкальциевый алюминат взаимодействует с водой в присутствии гипса с образованием гидросульфоалюмината кальция – минерала этtringита:



кроме того, образуются гидроалюминаты кальция;

в) при взаимодействии с водой двухкальциевого силиката (белита) образуются гидросиликаты.

2. *Свойства, характеризующие способность материалов сопротивляться действию химически агрессивной среды*, вызывающей в них обменные реакции и приводящие к разрушению материалов. Это кислотостойкость, щелочестойкость, стойкость к одновременному действию комплекса химически активных агентов и др. Кроме того, для некоторых материалов химические свойства оцениваются по способности не разлагаться, не разрушаться с течением времени (органические вяжущие вещества, полимеры и материалы на их основе).

Химическая стойкость зависит от:

– химического состава;

– минерального (фазового) состава;

– микроструктуры (соотношение кристаллических и аморфных фаз: у аморфных фаз выше химическая активность, чем у кристаллических);

– макроструктуры: чем плотнее материал (ниже пористость), тем выше химическая стойкость.

Кислото- и щелочестойкость – свойства материалов, характеризующие их способность противостоять разрушающему действию, соответственно, растворов кислот или их смесей и водных растворов щелочей. Эти свойства характеризуются потерей массы измельченного материала при обработке определенными растворами кислот или щелочей (в %).

О химической стойкости материалов можно приблизительно судить по химическому составу и по *модулю основности*:

$$M_o = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3}$$

При низких значениях модуля основности (много SiO_2 в составе) материалы стойки к кислотам, но способны к взаимодействию со щелочами – кварц, гранит, кварцит, силикатное стекло. Кроме того, кислотостойки углеродистые стали, чугуны, содержащие более 2,5% углерода, титан.

При высоких значениях модуля основности материалы щелочестойки, но разрушаются кислотами.

Например, M_0 цементного камня $\sim 3/2$ – цементные материалы разрушаются большинством кислот и щелочестойки. У горных пород, состоящих из кальцита CaCO_3 (известняк, мрамор), модуль основности имеет очень большое значение – породы легко разрушаются кислотами, но щелочестойки.

К щелочестойким материалам относятся известняки, мрамор, бетоны на основе портландцемента и глиноземистого цемента, специальные хромоникелевые стали, никелевые латуни, стекло, содержащее оксид бора и др.

Степень стойкости материалов к разрушающему действию растворов различных кислот или щелочей различна и требует конкретной оценки в зависимости от предполагаемой области применения.

Битум не устойчив в щелочной среде, а древесина не устойчива ни в щелочной, ни в кислой среде.

Достаточно высокую стойкость к действию растворов щелочей и кислот проявляют керамические материалы, диабаз и базальт, шлакоситаллы, многие пластмассы.

Важным свойством, характеризующим стойкость органических строительных материалов, в первую очередь полимерных материалов, является их *маслобензостойкость* (топливостойкость) – способность этих материалов противостоять действию жидких углеводородных топлив. При контакте с углеводородами и маслами минерального происхождения многие полимеры, особенно резины, набухают.

Маслобензостойкость необходимо учитывать при выборе материалов для покрытия полов гаражей, станций технического обслуживания, некоторых промышленных зданий, животноводческих помещений и т.п. При выборе химически стойких материалов следует учитывать также способность материалов противостоять действию растворов солей, газов и одновременному действию нескольких агентов в химически агрессивных средах.

Физико-химические свойства характеризуют влияние физического состояния материалов на протекание определенных химических процессов. К таковым относятся: дисперсность, адгезия, структурная прочность, вязкость.

Дисперсность характеризует размеры твердых частиц и капель жидкости. Некоторые строительные материалы (гипсовые вяжущие, цемент, глина, пигменты и т.п.) находятся в дисперсном состоянии и обладают большой суммарной поверхностью частиц. Показателем степени раздробленности материала и развитости его поверхности является

удельная поверхность, которая характеризуется как поверхность единицы объема ($\text{см}^2/\text{см}^3$) или массы ($\text{см}^2/\text{г}$) материала.

Физико-химические свойства поверхностного слоя дисперсных частиц вещества сильно отличаются от его свойств «в массе». Тончайший поверхностный слой вещества обладает особым запасом энергии, поэтому с увеличением его удельной поверхности возрастает и его химическая активность, так как атомы (молекулы) на поверхности вещества находятся в неуравновешенном состоянии. В частности, цемент с удельной поверхностью 3000...3500 $\text{см}^2/\text{г}$ через одни сутки твердения связывает 10...13% воды, а с удельной поверхностью 4500...5000 $\text{см}^2/\text{г}$ – около 18%.

Адгезия – свойство одного материала прилипнуть к поверхности другого. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы, состояния поверхности и условий контакта и развивается в результате сложных поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз. Этот показатель характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого. Важное значение адгезионные свойства имеют при получении композиционных материалов и изделий (бетоны разных видов, клееные изделия и конструкции, отделочные материалы).

Многие строительные материалы в процессе их изготовления проходят стадию пластично-вязкого состояния (гипсовое, цементное, глиняное тесто, свежеприготовленные растворные и бетонные смеси, мастики, формуемые материалы из полимеров и т.д.). По своим физическим свойствам пластично-вязкие тела занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми. В частности, тесто можно разрезать ножом, чего нельзя сделать с жидкими материалами, и в то же время оно принимает форму сосуда, в который помещено, т.е. ведет себя как жидкость. Пластично-вязкие смеси характеризуются реологическими показателями: структурной прочностью, вязкостью и тиксотропией.

Структурная прочность – прочность внутренних связей между частицами материала. Ее оценивают предельным напряжением сдвига, соответствующим напряжению в материале, при котором он начинает течь подобно жидкости. Это происходит тогда, когда в материале нарушаются внутренние связи между частицами – разрушается структура.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию при деформировании образцов. Когда пластично-вязкий материал начинает течь, напряжения в материале зависят уже от скорости его деформации. Коэффициент пропорциональности, связывающий скорость деформации и необходимое для этого напряжение, называют вязкостью.

Тиксотропия – способность пластично-вязких смесей обратимо восстанавливать свою структуру, разрушенную механическими воздействиями. Физическая основа тиксотропии – разрушение структурных связей внутри пластично-вязкого материала, при этом материал теряет структурную прочность и превращается в вязкую жидкость, а после прекращения

механического воздействия материал обретает структурную прочность. Явление тиксотропии используют при виброуплотнении бетонных и растворных смесей, при нанесении мастичных и окрасочных составов шпателем или кистью.

Коррозионная стойкость – способность материала сопротивляться разрушению в результате действия внешней агрессивной среды.

Коррозионная стойкость определяется составом и структурой материала, наличием механических напряжений, состоянием поверхности, условиями воздействия агрессивной среды.

Коррозия металлов – разрушение вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой; коррозию железа и сплавов на его основе называют ржавлением. Коррозию горных пород называют выветриванием. Коррозия бетона – разрушение бетона в результате физического, химического, физико-химического и биологического взаимодействия с внешней средой.

Свойства строительных материалов оцениваются числовыми показателями, которые устанавливаются путем испытания материала по стандартным методикам (ГОСТы РФ, ТУ и проч.).

Вопросы для самоконтроля

1. На какие основные группы можно разделить свойства строительных материалов?

2. Дайте определения истинной и средней плотности строительных материалов. В чем различия этих характеристик? У каких материалов совпадают значения средней и истинной плотности, а у каких – нет? Поясните на конкретных примерах.

3. Что такое насыпная плотность? Для каких материалов она определяется?

4. Какая плотность характеризует плотность вещества, из которого состоит материал, а какая – плотность самого материала?

5. Как определяются относительная плотность и коэффициент плотности строительных материалов? В чем их различие? Приведите примеры.

6. Что такое пористость материалов? Как она выражается математически? О каких свойствах материала можно судить, зная его пористость?

7. Что такое гигроскопичность? Приведите примеры гигроскопичных строительных материалов.

8. Что такое водопоглощение? Приведите формулу, связывающую водопоглощение по массе и объему.

9. Что такое коэффициент размягчения? Какие материалы считаются водостойкими?

10. Дайте определение морозостойкости материалов. Как морозостойкость материалов связана с их строением? Приведите примеры.

11. Дайте определение теплопроводности. От каких факторов зависит это свойство материалов?

12. Чем характеризуется мера жесткости материалов? Приведите примеры упругих, пластичных и жестких материалов.

13. Дайте определение пределу прочности материала при сжатии и при изгибе. Приведите расчетные формулы.

14. Что такое коэффициент конструктивного качества? У какого материала он выше: у стали, древесины, тяжелого бетона?

15. Что такое адгезия? Приведите примеры материалов с высокой адгезионной способностью.

3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. Общие сведения

Природные каменные материалы получают из горных пород либо без специальной обработки (гравий, песок, глина), либо с использованием механических технологий (раскалывание, распиливание, шлифование, полирование, дробление). При этом они полностью или почти полностью сохраняют свойства исходной горной породы.

Природный камень, применяемый как строительный материал, привлекает своей декоративностью, стойкостью, долговечностью. Высокая стойкость делает природный камень незаменимым для гидротехнических сооружений, дорожного и мостового строительства и во многих других случаях, когда необходимо обеспечить высокую долговечность сооружения.

Пористые камни (известняк-ракушечник, вулканический туф) эффективны как местный материал для кладки стен. Миллионы кубометров песка, гравия, щебня расходуются на получение бетонов и строительных растворов. Огромное количество природного камня используется в качестве сырья для получения искусственных строительных материалов: керамики, стекла, теплоизоляционных изделий, а также для производства неорганических вяжущих веществ – цементов, извести, гипса.

3.2. Физические свойства минералов

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

Каждый минерал характеризуется определёнными физическими свойствами, по которым его можно отличить от других минералов. Основными из них являются: морфологические особенности (форма), оптические (цвет, цвет черты, блеск, прозрачность), а также другие физические свойства (твёрдость, спайность, излом и др.).

Форма (облик). Минералы обладают различной внешней формой. В природных условиях они чаще всего приобретают неправильные очертания. Хорошо огранённые кристаллы встречаются сравнительно редко. Разнообразные формы кристаллов делят на несколько видов: изометрические формы – одинаково развитые по всем трем направлениям (пирит, галит);

вытянутые в одном направлении формы – призматические, столбчатые, игольчатые, лучистые (кварц, асбест, роговая обманка); вытянутые в двух направлениях формы – таблитчатые, пластинчатые, листоватые, чешуйчатые (слюда, графит).

Иногда минералы образуют землистые агрегаты в виде рыхлых масс, состоящих из мельчайших кристалликов. Землистые агрегаты характерны для осадочных пород (глины, суглинки и т.д.).

Цвет минералов является важным диагностическим признаком. Некоторые минералы характеризуются только им присущим цветом: например, малахит всегда имеет зелёный цвет, азурит – синий, киноварь – красный. Минералы могут иметь самую разнообразную окраску, зависящую от химического состава самого минерала и от примесей таких элементов как железо, никель, кобальт, титан, медь, хром, уран и др.

Цвет черты – это цвет минерала в порошке. Некоторые минералы в порошкообразном состоянии имеют другой цвет, чем в куске. Например, минерал пирит имеет латунно-желтую окраску в крупных зернах, а цвет черты – чёрный. Порошок можно получить, проводя куском минерала черту на белой шероховатой фарфоровой пластинке, при условии, что твердость его меньше твёрдости фарфора. Если твёрдость минерала выше твердости фарфора, то минерал образует на фарфоре царапину.

Блеск – способность минерала отражать от своей поверхности свет. Блеск может быть металлический (золото, серебро, пирит) и неметаллический. Неметаллический блеск подразделяют на стеклянный (полево-шпат), жирный (тальк), шелковистый (асбест), перламутровый (мусковит), матовый (каолинит).

Прозрачность – свойство минерала пропускать свет. По способности пропускать свет выделяют минералы прозрачные (кварц, флюорит), полупрозрачные (гипс, халцедон), непрозрачные (пирит, графит и многие другие).

Твёрдость – степень сопротивления минерала внешним механическим воздействиям (царапанию, резанию, истиранию). Для определения твердости принята шкала Мооса (табл. 3.1), в которой используются минералы с известной и постоянной твердостью. Для определения твердости минерала его свежую поверхность царапают острым углом минерала-эталона из шкалы твердости.

Спайность – это способность минералов раскалываться по гладким параллельным плоскостям. Различают следующие виды спайности.

Весьма совершенная спайность – минералы очень легко (например, ногтем) расщепляются на отдельные тончайшие листочки или пластинки (слюда, гипс, хлорит).

Совершенная спайность – при расколе молотком минерал даёт обломки, ограниченные правильными плоскостями (кальцит, ортоклаз).

Средняя спайность – при ударах образуются обломки минералов, на которых видны плоскости спайности (роговая обманка, флюорит).

Спайность отсутствует – при ударе минерал раскалывается по неопределенным направлениям (кварц, пирит).

Т а б л и ц а 3 . 1

Величины твердости минералов по шкале Мооса

Балл шкалы Мооса	Минералы	Характеристика твердости
1	Тальк или мел	Ноготь легко оставляет черту
2	Гипс	Ноготь оставляет черту
3	Кальцит или ангидрит	Стальной нож легко оставляет черту
4	Плавиновый шпат	Стальной нож под небольшим давлением оставляет черту
5	Апатит	Стальной нож под небольшим давлением оставляет черту, а стекло не оставляет
6	Ортоклаз	Стальной нож оставляет черту; сам же материал слегка царапает стекло
7	Кварц	Стальной нож не оставляет черты; сам же материал легко оставляет черту на стекле
8	Топаз	То же
9	Корунд	То же
10	Алмаз	То же

Излом характеризует поверхность разрыва и раскалывания минералов. Различают излом по спайности (кальцит), раковистый (кварц), землистый (каолинит, лимонит), игольчатый (роговая обманка), зернистый (апатит, ангидрит), неровный (нефелин).

Особые свойства. Ряд минералов характеризуется особыми, специфическими свойствами. Так, для карбонатов характерна реакция со слабой 10% соляной кислотой с выделением углекислого газа в виде пузырьков. Бурно реагирует с соляной кислотой кальцит в куске, доломит – после измельчения его в порошок, магнезит – после его нагревания. Вскипают с соляной кислотой также многие сульфиды с образованием сероводорода, легко различимого по характерному запаху.

К особым свойствам также относят растворимость в воде (галит), растворимость в соляной кислоте (гипс), вкус (галит – соленый, сильвин – горький), горючесть (сера), магнитные свойства (магнетит), жирные на ощупь (тальк, графит).

3.3. Классификация минералов

Основой классификации минералов являются их внутренняя структура и химический состав. В соответствии с кристаллохимической классификацией все минералы делят на 10 классов:

- 1 – силикаты;
- 2 – карбонаты;
- 3 – оксиды;
- 4 – гидроксиды;
- 5 – сульфиды;
- 6 – сульфаты;
- 7 – галоиды;
- 8 – фосфаты;
- 9 – вольфраматы;
- 10 – самородные элементы.

Силикаты – наиболее многочисленный класс, включающий до 800 минералов. Большинство из них имеют эндогенное происхождение (ортоклаз, плагиоклаз, авгит, оливин и др.). Экзогенное происхождение характерно для глинистых минералов, образовавшихся на поверхности земли в процессе выветривания алюмосиликатных эндогенных минералов. Породообразующее значение из них имеют каолинит, монтмориллонит и гидрослюда.

Глинистые минералы являются главной составной частью многих осадочных пород (глины, суглинки и др.).

Карбонаты. К этому классу относятся более 80 минералов. Наиболее распространены кальцит, магнезит и доломит. Происхождение карбонатов в основном экзогенное.

Оксиды. Наиболее распространенным минералом из этого класса является кварц. Происхождение – эндогенное и экзогенное.

Гидроксиды. К гидроксидам относятся опал и лимонит.

Опал образуется путем выпадения из водных растворов, а также выделяется из гидротермальных источников и гейзеров. Входит в состав опоки, трепела, диатомита и других осадочных пород.

Лимонит (бурый железняк) образуется экзогенным путем. Встречается в виде натеков, конкреций, желваков и т.д.

Сульфиды насчитывают до 200 минералов. Типичными представителями являются пирит, галенит, сфалерит и киноварь. Происхождение этих минералов в основном гидротермальное.

Сульфаты. К этому классу относятся более 200 минералов. Образуются они в основном выпадением из водных растворов. Наиболее распространёнными минералами из этого класса являются гипс и ангидрит.

Галоиды. Галоидные соединения включают около 100 минералов, из которых наибольшее распространение имеют галит, сильвин и флюорит. Происхождение минералов экзогенное (галит, сильвин) и эндогенное (флюорит). По окраске эти минералы светлые, часто прозрачные. Многие из них растворяются в воде.

Фосфаты. К этому классу относят минералы, представляющие собой соли ортофосфорной кислоты. Наиболее распространенным из них является апатит.

Самородные элементы составляют менее 0,1% массы земной коры. К этому классу относятся золото, платина, серебро, медь, сера, графит, алмаз. Серу и графит применяют в лакокрасочной промышленности, алмаз – при бурении скважин в особо твердых породах, для нарезки швов в бетоне, сверлении отверстий в строительных конструкциях.

3.4. Классификация горных пород

Горные породы – это природные образования более или менее определенного состава и строения, являющиеся продуктом геологических процессов и образующие значительные участки земной коры.

По происхождению горные породы можно разделить на три группы:

– *магматические* (изверженные) породы, образовавшиеся в процессе кристаллизации сложного природного силикатного расплава – магмы;

– *осадочные*, возникшие в поверхностных условиях из продуктов разрушения любых других пород;

– *метаморфические* (видоизмененные), являющиеся продуктом пере-кристаллизации и приспособления пород к изменившимся в пределах земной коры физико-химическим условиям (табл. 3.2).

Т а б л и ц а 3 . 2

Генетическая классификация горных пород

Наименование пород	Виды пород
1	2
Магматические породы	Массивные: – глубинные (граниты, сиениты, диориты, лабрадориты, габбро) – излившиеся (порфиры, базальты, диабазы, андезиты, трахиты)
	Обломочные: – рыхлые (вулканические пеплы, пемзы) – цементированные (вулканические туфы)
Осадочные породы	Химические осадки: гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известняковые туфы, некоторые виды известняков)

1	2
	Механические отложения (обломочные породы): – рыхлые (песок, гравий, глина) – цементированные (песчаники, конгломераты, брекчии)
	Органогенные образования: – зоогенные (мел, ракушечник, известняки) – фитогенные (диатомиты, трепелы)
Метаморфические породы	Продукты видоизменения изверженных пород (гнейсы)
	Продукты видоизменения осадочных пород (мраморы, кварциты, сланцы)

3.5. Магматические горные породы

Магматические горные породы образуются в результате застывания магмы. Магма – это сложный по составу, преимущественно силикатный расплав, включающий разнообразные газы и пары воды. Температура магмы – более тысячи градусов.

Расплавленная магма, прорываясь по трещинам земной коры, в одних случаях застывает в её недрах, что приводит к образованию глубинных (интрузивных) пород (рис. 3.1). В других случаях она достигает поверхности земли, разливаясь потоками лавы, и даёт начало излившимся (эффузивным) породам (рис. 3.2).



Рис. 3.1. Схема образования глубинных пород



Рис. 3.2. Схема образования излившихся пород

Глубинные (интрузивные) магматические породы образуются в условиях высокого давления, медленного и равномерного остывания. В этом случае происходит полная раскристаллизация магмы и образуются

плотные, массивные, полнокристаллические породы типа гранита, габбро, которые залегают крупными массивами.

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

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

Излившиеся (эффузивные) магматические породы формируются в виде лавовых потоков на поверхности земли. Это происходит при низком давлении и температуре, при быстрой отдаче тепла и газовых компонентов. При таких условиях кристаллизации возникают породы с обилием аморфного стекла, часто с большой пористостью, например базальт, пемза.

Главные породообразующие минералы. Основными породообразующими минералами магматических пород являются: кварц (и его разновидности); полевые шпаты; железисто-магнезиальные силикаты.

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

Глубинные горные породы

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

Структура – это совокупность признаков внутреннего строения породы, обусловленных степенью кристаллизации, размером минералов, их взаимным расположением и характером связей между минералами.

По степени кристаллизации различают:

– полнокристаллическую структуру, типичную для глубинных пород (гранит, габбро);

– скрытокристаллическую, присущую излившимся породам (базальт, диабаз и др.);

– стекловатую, в которой степень кристаллизации пород равна нулю (обсидиан);

– порфировую, характерную для пород, излившихся и жильных (среди стекловатой массы имеются отдельные крупные кристаллы вкрапленников, например, порфириты и порфиры).

По величине кристаллов структуры делят на:

- 1) крупнозернистые – более 5 мм;
- 2) среднезернистые – 1...5 мм;
- 3) мелкозернистые – 0,5...1 мм.

Наибольшей прочностью и долговечностью отличаются породы, имеющие мелкозернистую структуру.

По взаимному расположению минералов различают равномерно-зернистые и неравномерно-зернистые структуры (рис. 3.3).

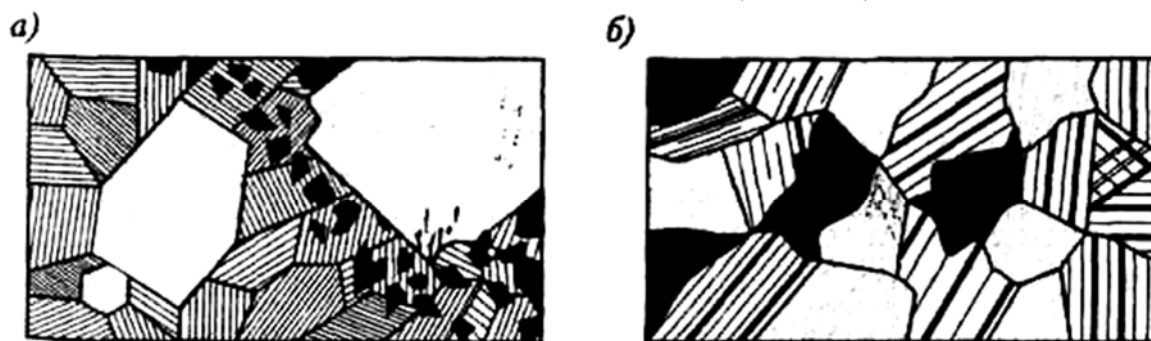


Рис. 3.3. Типы структур (схемы):
а – неравномерно-зернистая; б – равномерно-зернистая

Среди неравномерно-зернистых выделяется пегматитовая структура, где два минерала (кварц и полевой шпат) образуют сростки, причём один из них имеет крупные формы, проросшие другим минералом.

По характеру связей между минералами все магматические породы характеризуются прочной кристаллизационной структурой.

Текстура (сложение) характеризует пространственное расположение составных частей породы в ее объеме. Для магматических пород характерны: массивная текстура – равномерное плотное расположение зерен минералов (гранит, габбро), шлаковая текстура – порода содержит пустоты (пемза, базальт).

Трещиноватость магматических пород связана с тектоническими движениями земной коры, с уменьшением объема в результате неравномерного остывания магмы (лавы) и с процессами выветривания. Трещиноватость облегчает добычу, раскалывание и обработку пород, но трещины выветривания ухудшают качество каменных материалов и ограничивают возможность их применения.

Все магматические невыветрелые породы характеризуются высокой прочностью и являются надежным основанием для любых инженерных сооружений.

Основные разновидности глубинных пород:

Граниты обладают благоприятным для строительного камня минеральным составом, отличающимся высоким содержанием кварца (25...30%),

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

Одним из важнейших свойств гранитов является также малая пористость, не превышающая 1,5%, что обуславливает водопоглощение около 0,5% (по объему); поэтому морозостойкость их высокая. Огнестойкость гранита недостаточна, так как он растрескивается при температурах выше 600°C вследствие полиморфных превращений кварца. Гранит, как и большинство других плотных магматических пород, обладает высоким сопротивлением истиранию.

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

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

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

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

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

Физико-механические свойства диоритов характеризуются следующими показателями: предел прочности при сжатии – 180...240 МПа, плотность – 2900 кг/м³. Наиболее прочны диориты с мелко- и среднезернистой структурой, массивной текстурой и повышенным содержанием роговой обманки. Разновидности, включающие биотит, имеют пониженную прочность. Диориты и особенно кварцевые диориты превосходят по прочности граниты и сиениты.

Габброиды. Среди габброидов важнейшими являются габбро и анортозиты.

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

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

Для пород группы габбро характерны плотность 2300...3000 кг/м³, большая прочность при сжатии – 200...300 МПа и достаточно высокая стойкость против выветривания.

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

Перидотиты – черные породы, иногда с зеленоватым оттенком, обычно среднезернистой структуры. Текстура массивная, нередко пятнистая или полосатая. В составе перидотитов присутствуют оливин в количестве 30...70% и пироксены 70...30%. Применяются для получения щебня. Свойственная текстура не позволяет использовать их в качестве штучного камня, а большая твердость камня вызывает большие расходы при разработке месторождений.

Излившиеся (эффузивные) горные породы

Излившиеся горные породы образовались в результате излияния магмы, ее охлаждения и застывания на поверхности земли; поэтому в большинстве случаев они имеют стекловатую, скрытокристаллическую или порфировую структуру.

Порфиры образуются при остывании магмы на небольших глубинах. При кристаллизации магмы в приповерхностных слоях образуются полнокристаллические неравномерно-зернистые и неполнокристаллические структуры.

Среди неравномерно-зернистых структур выделяют порфировидные и порфировые структуры. *Порфировидные структуры* обусловлены наличием относительно крупных кристаллов на фоне полнокристаллической основной массы породы. *Порфировые структуры* характеризуются наличием хорошо образованных кристаллов – порфировых «вкрапленников», погруженных в стекловидную основную массу породы.

Наиболее прочными являются равномерно-зернистые породы, тогда как породы такого же минерального состава, но крупнозернистой порфировидной структуры быстрее разрушаются как при механическом воздействии, так и при резких колебаниях температур.

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

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

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

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

Диабазы – порода мелкозернистая, по составу аналогичная габбро, но с типичной диабазовой микроструктурой (структура полнокристаллическая, представлена кристаллами плагиоклаза, между которыми располагаются зерна цветных минералов). Диабазы имеют черный цвет, выветренные – зеленовато-серый. Диабазы отличаются высокой твердостью, прочностью ($R_{сж}=300...400$ МПа) и вязкостью, что связано с большим содержанием в их

составе железомagneзиальных силикатов и свойственной этим породам структурой. Диабазы мало изнашиваются и в виде брусчатки применяются для мощения дорог и улиц.

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

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

Месторождения пемзы относятся к вулканическим и встречаются в областях распространения действующих и потухших вулканов.

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

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

3.6. Осадочные горные породы

Осадочные горные породы образуются путём выпадения химических образований из водной среды (химические осадки), разрушения других, ранее образовавшихся пород (обломочные породы), накопления продуктов жизнедеятельности животных и растительных организмов на суше и в водных бассейнах (органогенные осадки). Некоторые осадочные породы в своём составе содержат материал органогенного, химического и обломочного происхождения (смешанные осадки).

Осадочные породы слагают самые верхние слои земной коры, покрывая своеобразным чехлом породы магматического и метаморфического генезиса. Земная поверхность на 75% своей площади покрыта осадочными

породами. Мощность толщи осадочных пород изменяется от нескольких сантиметров до нескольких тысяч метров.

Осадочные породы чаще всего служат основанием зданий и сооружений, а также широко используются как строительный материал.

В зависимости от условий образования осадочные породы делят на три основные группы:

1) обломочные породы (или механические осадки):

– рыхлые (например гравий, глины, пески), оставшиеся на месте разрушения пород или перенесенные водой, а также льдом (ледниковые отложения) или ветром (эоловые отложения);

– цементированные (песчаники, конгломераты, брекчии);

2) химические осадки (например гипс и известковые туфы), образовавшиеся из продуктов разрушения пород, перенесенных водой в растворенном виде. По химическому составу могут быть:

– карбонатные (известняки, известковые туфы, доломиты);

– сульфатные (гипс, ангидрит);

– хлоридные (каменная соль).

Все химические осадки в той или иной степени растворимы в воде. Наиболее растворимой породой является каменная соль. Гипс и ангидрит относятся к среднерастворимым породам. Значительно менее растворимы в воде доломит и особенно известняк;

3) органогенные породы образуются в результате накопления и преобразования остатков животного мира (зоогенные) и растений (фитогенные). Зоогенные породы: известняк-ракушечник, мел, и др.; фитогенные – трепел, опока, диатомит и др.

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

Главные породообразующие минералы

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

Группа карбонатов. Минералы группы карбонатов получили широкое распространение в осадочных породах. Наиболее важную роль в них играют кальцит (CaCO_3), доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) и магнезит (MgCO_3).

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

Широкое распространение получили каолинит, монтмориллонит и гидрослюда.

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

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

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

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

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

Обломочные породы

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

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

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

Карбонатные породы. Наиболее распространенными карбонатными породами являются известняки и доломиты. Известняк – порода, сложенная более чем на 50% кальцитом; доломит – порода, состоящая более чем на

50% из доломита. В зависимости от количественного соотношения в породе кальцита и доломита наблюдаются постепенные переходы от чистых известняков к чистым доломитам.

Количество глинистой примеси в карбонатных породах может колебаться в широких пределах. Порода, характеризующаяся приблизительно равным содержанием карбонатного и глинистого материала, называется мергелем.

Наличие примесей оказывает большое влияние на физико-механические свойства карбонатных пород. Глинистое вещество при увлажнении понижает прочность известняков. Кремнезем уменьшает растворимость известняков и повышает их прочность. Доломитизированные известняки характеризуются меньшей растворимостью и большей прочностью по сравнению с известняками, не затронутыми процессами доломитизации. Примеси гипса, ангидрита и других легкорастворимых весьма нежелательны.

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

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

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

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

Органогенные породы

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

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

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

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

Разновидность органогенных известняков – мел. Это микрзернистая слабоцементированная порода белого цвета.

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

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

3.7. Метаморфические горные породы

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

Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества – растворы и газы, под действием которых

породы любого состава и генезиса (магматические, осадочные или уже ранее метаморфизованные) подвергаются изменениям.

При формировании структурно-текстурных особенностей метаморфических пород велика роль направленного давления. При одностороннем давлении кристаллы деформируются в направлении, перпендикулярном направлению наибольшего давления, и видоизмененные породы приобретают сланцевое строение (гнейс, глинистые сланцы и т.п.). Образуются специфические структуры с характерной закономерной ориентировкой минералов.

К химически активным веществам прежде всего относятся вода и углекислота, которые находятся в том или ином количестве почти во всех горных породах в виде так называемых «поровых» или «межзерновых» метаморфогенных растворов и газов. Перемещаясь из областей высоких давлений в зоны низких давлений (обычно снизу вверх), такие растворы активно участвуют в преобразовании минералов и пород, являются переносчиками химических элементов, тепла.

Главные породообразующие минералы

Минералы, слагающие метаморфические породы, можно разделить на следующие группы: минералы, широко распространенные как в метаморфических, так и в магматических породах (полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка, большинство пироксенов, оливин и др.); типичные для осадочных пород минералы (кальцит, доломит); минералы, которые могут находиться в магматических породах в качестве вторичных, а также слагать типичные метаморфические породы (серпентин и др.); специфические метаморфические минералы, присутствие которых возможно только в глубоко преобразованных метаморфических породах.

Основные разновидности метаморфических горных пород.

Гнейсы – породы метаморфического генезиса, образовавшиеся при температуре 600...800°C и высоком давлении. Исходными являются глинистые и кварцево-полевошпатовые породы. В состав гнейсов входят следующие минералы: кварц, биотит, роговая обманка, полевые шпаты.

Текстура – массивная, полосчатая; структура – разномасштабная.

Гнейсы по механическим и физическим свойствам в свежем виде не уступают гранитам, однако сопротивление на излом параллельно сланцеватости у них в 1,5...2 раза меньше, чем сопротивление в перпендикулярном направлении. По плоскостям сланцеватости они раскалываются на плиты, легко расслаиваются при замерзании и оттаивании.

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

Кварциты – мелкозернистые кварцевые или кремнистые песчаники, их образование связано с перекристаллизацией песчаников. Кварциты содержат 95...99% SiO₂. Важными свойствами их являются высокая огнеупорность – до 1710...1770°С и прочность при сжатии – 100...455 МПа.

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

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

3.8. Природные каменные материалы и изделия

Природные каменные материалы и изделия получают из горных пород путем механической обработки.

По виду обработки природные каменные материалы делят на следующие основные виды: грубообработанные каменные материалы (бутовый камень, валунный камень, щебень, гравий и песок); изделия и профилированные детали из природного камня; штучный камень и блоки правильной формы (для кладки стен и др.); плиты с различно обработанной поверхностью (облицовочные для стен, чистого пола и др.); профилированные детали (ступени, подоконники, пояски, наличники, капители колонн и т.п.); изделия для дорожного строительства (бортовой камень, брусчатка, шашка для мощения).

По способу изготовления природные каменные материалы и изделия можно разделить на следующие виды: пиленые (стеновые камни и блоки, облицовочные плиты и плиты для пола) и колотые (бортовые камни, камни тесаные, брусчатки, шашка для мощения и др.).

Используя ударную и абразивную обработку, природному камню придают ту или иную фактуру – различный характер поверхности.

К грубообработанным каменным материалам относят:

Бутовый камень (бут) – куски камня неправильной формы, размером не более 50 см по наибольшему измерению. Бутовый камень может быть рваный (неправильной формы) и постелистый. Для получения рваного бута

и щебня разработку пород осуществляют преимущественно взрывным способом. Плитняковый бут получают из пород пластового залегания. Крупные отдельности такой породы, ограниченные трещинами, отделяют экскаватором с последующей развалкой кусков до требуемых размеров камнекольным инструментом.

Бутовый камень получают разработкой местных осадочных и изверженных пород, отвечающих проектным требованиям в отношении прочности, морозостойкости, водостойкости. Бут из осадочных пород (известняков, доломитов, песчаников) не должен содержать примесей глины, рыхлых прослоек и включений пирита.

Из бута возводят плотины и другие гидротехнические сооружения, его применяют для подпорных стенок, кладки фундаментов и стен неотапливаемых зданий. Большое количество бутового камня перерабатывается в щебень.

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

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

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

Щебень, гравий и песок используют в качестве заполнителей для бетонов. Предприятия-поставщики на эти материалы должны выдавать сертификат радиационно-гигиенической оценки о содержании естественных радионуклидов.

Путем механизированной обработки горных пород изготавливают готовые изделия в виде камней и плит.

Стеновые камни получают из туфов и пористых известняков путем выпиливания механизированным способом из массива горной породы или распиловки блоков-заготовок. Камни применяют для кладки наружных и внутренних стен и перегородок.

Основные размеры стеновых камней: 390×190×188; 490×240×188; 390×190×288 мм. Каждый такой камень заменяет в кладке 8...12 кирпичей. Целесообразно изготавливать и применять стеновые блоки объемом не менее 0,1 м³ из туфа, известняка, доломита, песчаника. Укрупнение камней уменьшает затраты труда, позволяет перейти к индустриальным методам строительства. Стены из мелкопористого природного камня не требуют наружной штукатурки или облицовки.

Для наружных стен применяют камни плотностью не более 2300 кг/м³. Водопоглощение камня должно быть не более 30%, морозостойкость – не менее 15.

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

Наружная облицовка зданий может выполняться из атмосферостойких осадочных пород (известняки, доломиты, песчаники, туфы), которые легче поддаются обработке и экономнее гранитных пород. Для внутренней облицовки общественных зданий и сооружений (например станций метрополитена) широко используют плиты, получаемые из хорошо распиливаемых пород: мрамора, ангидрида, гипса.

Плиты для наружной облицовки имеют толщину 4...8 см, для внутренней – 1,2...4 см. Применение алмазных резцов позволяет изготавливать тонкие (5...10 мм) экономичные плиты, стоимость которых в 2...4 раза ниже стоимости обычных. Тонкие плиты получили широкое распространение, особенно при выполнении внутренней облицовки.

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

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

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

Природные каменные материалы применяют в больших количествах при возведении гидротехнических сооружений. В зоне переменного уровня воды условия службы материала особенно неблагоприятны: камень испытывает многократное замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии. Защитную облицовку в этой зоне устраивают из плотных изверженных пород, имеющих водопоглощение не более 1%, марку по прочности – не ниже 80...100 МПа и по морозостойкости – 150...500, в зависимости от класса сооружения, климатических и других условий эксплуатации. Соответствующим требованиям должны удовлетворять и материалы для каменных набросных плотин. Внутренние части набросок можно сделать из камня, полученного из осадочных пород марок 30...60 МПа с коэффициентом размягчения не менее 0,7...0,8. Каменные материалы

проверяют на влияние веществ, растворенных в воде (морской, грунтовой, речной, болотной).

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

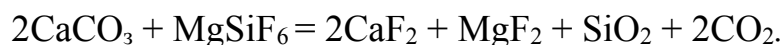
Брусчатка для мощения дорог имеет форму бруска, слегка суживающегося книзу. Брусчатку получают механизированным способом из однородных мелко- и среднезернистых пород (диабаз и др.). Из таких пород изготавливают шашку для мозаиковой мостовой (приближающуюся по форме к кубу) и шашку для мощения (в виде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

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

Перечисленные выше природные материалы подвергаются воздействию внешних разрушающих факторов; в связи с этим вопросы предохранения каменных материалов от разрушения имеют приоритетное значение в период их эксплуатации.

Основные причины разрушения природных каменных материалов в сооружениях: замерзание воды в порах и трещинах, вызывающее внутренние напряжения; частое изменение температуры и влажности, вызывающее появление в материале микротрещин; растворяющее действие воды и понижение прочности при водонасыщении; химическая коррозия, происходящая под действием газов, содержащихся в атмосфере (SO₂, CO₂ и др.), и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде.

Конструктивную защиту открытых частей сооружений – цоколей, карнизов, поясков, столбов, парапетов – сводят к приданию им такой формы, которая облегчает отвод воды. Этому же способствует гладкая полированная поверхность облицовки и профилированных деталей. Стойкость пористых каменных материалов, которые не полируются, повышают путем пропитки поверхностного слоя уплотняющими составами и нанесения на лицевую поверхность гидрофобизирующих (водоотталкивающих) составов. Кремнефторизацию (или флюатирование) применяют для повышения стойкости наружной облицовки и других материалов, полученных из карбонатных пород. При пропитывании известняка раствором флюата (соли кремнефтористоводородной кислоты) происходит химическая реакция:



Полученные нерастворимые в воде вещества CaF₂, MgF₂ и SiO₂ отлагаются в порах и уплотняют лицевой слой камня. В результате этого

уменьшается его водопоглощение и возрастает морозостойкость; облицовка из камня меньше загрязняется пылью.

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

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

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируют горные породы в зависимости от условий их образования?
2. Расскажите об условиях образования магматических горных пород и назовите области их применения в строительстве.
3. Перечислите основные осадочные горные породы, назовите области их применения.
4. Как образовались метаморфические горные породы? Назовите области их применения.
5. Из каких горных пород образовались следующие метаморфические горные породы: мрамор, кварцит, гнейс, глинистые сланцы?
6. Какие горные породы – изверженные, осадочные или метаморфические – чаще всего используются в качестве сырья для производства строительных материалов?
7. Опишите основные виды материалов и изделий из природного камня.
8. Назовите способы защиты природных каменных материалов от воздействия внешней среды.

4. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

4.1. Общие сведения

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

Название «керамика» происходит от греческих слов «*keramike*» – гончарное искусство и «*keramos*» – глина. Поэтому под технологией керамики всегда подразумевали производство материалов и изделий из глинистого сырья и смесей его с органическими и минеральными добавками.

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

Современное строительное производство использует широкий круг керамических материалов и изделий с различными свойствами. Их классифицируют по ряду признаков:

– *по назначению* керамические изделия подразделяются на стеновые, кровельные, отделочные, для полов, для перекрытий, дорожные, санитарно-технические, кислотоупорные, теплоизоляционные, огнеупорные, заполнители для бетонов и др.;

– *по структуре* разделяют на *пористые*, имеющие водопоглощение по массе более 5% (кирпич и камни стеновые, кровельные, облицовочные материалы, дренажные трубы и др.), и *плотные*, имеющие водопоглощение

по массе менее 5% (плитки для пола, дорожный кирпич, стенки канализационных труб и др.);

– по температуре плавления подразделяются на *легкоплавкие* (с температурой плавления ниже 1350°C), *тугоплавкие* (1350°C...1580°C), *огнеупорные* (1580°C...2000°C), *высшей огнеупорности* (более 2000°C).

Керамические материалы занимают одно из первых мест по объемам производства не только благодаря широкой номенклатуре изделий и высокой долговечности, но и сравнительной простоте технологии при больших запасах широко распространенного сырья.

4.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий

4.2.1. Глинистое сырье

Сырьевыми материалами для производства керамических изделий являются осадочные горные породы – глины, применяемые в чистом виде, а чаще – в смеси с добавками.

Различают вещественный, минералогический, гранулометрический и химический состав глин.

Вещественный состав глин рассматривают путем деления глинистой породы на собственно глинистое вещество и примеси (кварц, полевой шпат, карбонаты, гипс, пирит, растворимые соли, органические включения и др.).

Глинистым веществом называют наиболее дисперсную фракцию глинистой породы – это механическая смесь частиц размером менее 1...5 мкм или 0,001...0,005 мм, которые представлены глинообразующими минералами. Все минералы являются водными алюмосиликатами, имеют слоистое (пакетное) строение кристаллической решетки. Отдельные пакеты решетки образованы закономерно повторяющимися слоями из тетраэдрических групп с организуемым катионом Si^{4+} и октаэдрических групп с организуемым катионом Al^{3+} .

Выделяют три основных минерала глин:

– каолинит – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$;

– монтмориллонит – $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$;

– гидрослюды – $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Если в глинах преобладает основной минерал (более 50%), то они называются мономинеральными (каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые). Глины, содержащие два или более минералов, являются полиминеральными. Все минералы глин имеют белый, слегка желтоватый цвет и различаются между собой размером частиц и строением кристаллической решетки.

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 (рис. 4.1). Такие пакеты, примыкающие разными слоями, связываются достаточно прочно друг с другом; 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 поверхностях его расположены ионы кислорода. В результате между пакетами очень слабая связь, и вода, проникая туда, расширяет кристаллическую решетку минерала. Наибольшая величина набухания характерна для монтмориллонитовых глин, наименьшая – для каолинитовых глин.

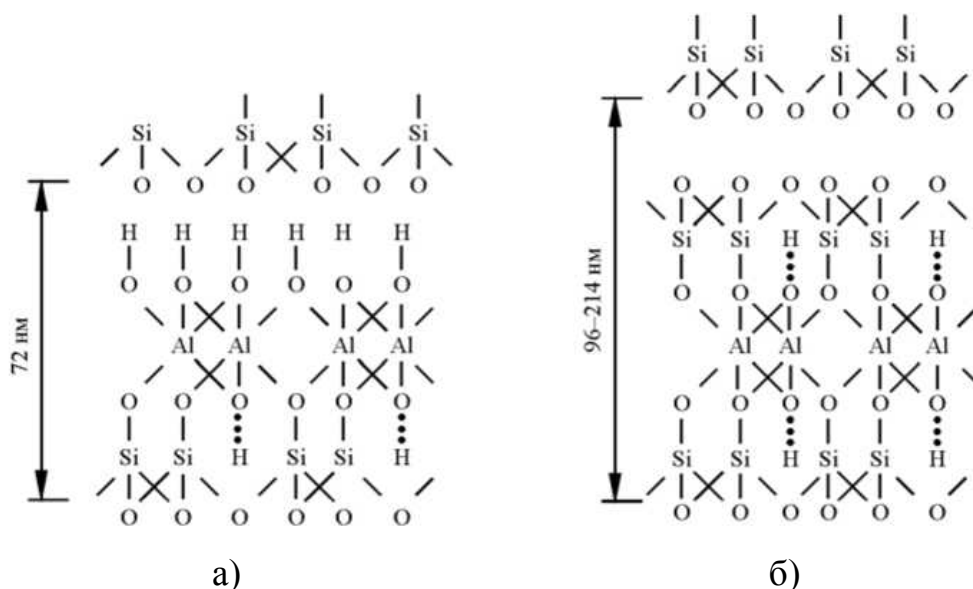


Рис. 4.1. Схема кристаллической решетки:
а – каолинита; б – монтмориллонита

Кристаллическая решетка гидрослюд структурно сходна с решеткой монтмориллонита.

Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов. В керамическом сырье содержание важнейших оксидов колеблется в широких пределах: SiO_2 – 40...80%; Al_2O_3 – 8...50%; Fe_2O_3 – 0...15%; CaO – 0,5...25%; MgO – 0...4%; R_2O – 0,3...5%. С увеличением содержания Al_2O_3 повышается пластичность и огнеупорность глин, а с повышением содержания SiO_2 – пластичность глин снижается, увеличивается пористость, снижается прочность обожженных изделий. Присутствие оксидов железа снижает огнеупорность глин, тонкодисперсного известняка придает светлую окраску и понижает огнеупорность глин, а

камневидные включения его являются причинами появления «дутиков» и трещин в керамических изделиях. Оксиды щелочных металлов (Na_2O и K_2O) являются сильными плавнями, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка и повышению его прочности. Наличие в глинистом сырье растворимых солей сульфатов и хлоридов натрия, кальция, магния и железа вызывает появление белых выцветов на поверхности изделий.

Свойства глин как сырья для керамических изделий.

Пластичностью глин называют 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 влажности.

Влажность (% по массе), при которой глина переходит из пластичного состояния в текучее, называется верхним пределом пластичности или границей текучести W_1 .

Влажность (% по массе), при которой глина переходит из пластичного состояния в хрупкое, называется нижним пределом пластичности или границей раскатывания W_2 .

Разность между верхним и нижним пределами пластичности является характеристикой пластичности глин (табл. 4.1) и называется числом пластичности:

$$P = W_1 - W_2.$$

Т а б л и ц а 4 . 1

Классификация глин по числу пластичности

Наименование группы глинистого сырья	Число пластичности P
Высокопластичные	более 25
Среднепластичные	15...25
Умеренно-пластичные	7...15
Малопластичные	менее 7
Непластичные	не дают пластичного теста

Высокопластичные глины имеют в своем составе до 80...90% глинистых частиц, число пластичности более 25, водопотребность более 28% и воздушную усадку 10...15%.

Средне- и умеренно-пластичные глины имеют в своем составе 30...60% глинистых частиц, число пластичности 15...25, водопотребность 20...28% и воздушную усадку 7...10%.

Малопластичные глины имеют в своем составе от 5% до 30% глинистых частиц, водопотребность менее 20%, число пластичности 7...15 и воздушную усадку 5...7%.

Непластичные глины не образуют пластичное удобоформуемое тесто.

Глины с содержанием глинистых частиц более 60% называют «жирными», отличаются высокой усадкой, для снижения которой в глины добавляют «отощающие» добавки. Глины с содержанием глинистых частиц менее 10...15% – «тощие» глины, в них при производстве изделий вводят тонкодисперсные добавки, например бентониты (высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонита, содержание в них частиц размером менее 0,001 мм достигает 85...90%).

Связующая способность глины – способность глиняного теста связывать зерна непластичных материалов (песка, шамота и др.), а также образовывать при высыхании достаточно прочное изделие – сырец. Характеризуется степенью связности – усилием, необходимым для разъединения частиц глины.

Воздушная усадка – уменьшение размеров и объема сырца при его сушке за счет испарения свободной воды; она колеблется от 2 до 12% и может быть уменьшена введением отощителей и поверхностно-активных веществ, сокращающих формовочную влажность глин.

Огневая усадка – изменение размеров и объема изделий в процессе обжига, обусловленное расплавлением легкоплавких составляющих глин и сближением частиц глины между собой; она составляет от 2 до 8% и тем выше, чем больше температура обжига.

Полная усадка равна сумме воздушной и огневой усадок.

Огнеупорность – свойство глин выдерживать воздействие высоких температур, не деформируясь и не расплавляясь. По огнеупорности различают огнеупорные (не ниже 1580°C), тугоплавкие (1350...1580°C) и легкоплавкие (ниже 1350°C) глины.

Спекаемость – свойство уплотняться при обжиге и образовывать камнеподобный черепок. Интервал между температурой начала спекания и температурой, при которой появляются первые признаки пережога, называется интервалом спекания. Чем он больше, тем легче управлять процессом обжига, тем меньше опасность деформаций изделий.

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

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

Глины, содержащие монтмориллонит, весьма пластичны, сильно набухают, при формовке склонны к свилеобразованию, чувствительны к сушке и обжигу с проявлением искривления изделий и растрескивания.

Образцы с преобладанием в глинистой части гидрослюдистых минералов характеризуются промежуточными показателями пластичности, усадки и чувствительности к сушке.

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

4.2.2. Добавки к глинам

В производстве керамики в зависимости от вида изготавливаемых изделий и от природных свойств глин используют следующие добавки.

1. *Отощающие добавки* вводятся в состав керамической массы для понижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. В качестве отощающих добавок используют:

Шамот – зернистый керамический материал (0,14...2 мм), получаемый измельчением глины, предварительно обожженной при той же температуре, при которой обжигаются изделия. Улучшает сушильные и обжиговые свойства глин, поэтому его применяют для получения высококачественных изделий – лицевого кирпича, огнеупоров и др.

Дегидратируемая глина при температуре 700...750°C, добавляемая в количестве 30...50%, улучшает сушильные свойства сырца и внешний вид кирпича.

Песок (0,5...2 мм) добавляют в количестве 10...25%.

Гранулированный доменный шлак (до 2 мм) – отошитель глин, используемый при производстве кирпича. Это эффективный путь утилизации промышленных отходов.

Роль отошителей выполняют также *золы ТЭС и выгорающие добавки*.

2. *Порообразующие добавки* (древесные опилки, измельченный бурый уголь, золы ТЭС и лигнин) вводят для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью, они также способствуют равномерному спеканию керамического черепка.

3. Плавни, глазури и ангобы.

Плавни (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезия, тальк и др.) добавляют в глину, когда необходимо понизить температуру ее спекания.

Для придания декоративного вида и стойкости к внешним воздействиям поверхность некоторых керамических изделий покрывают глазурью (сырье – кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных и щелочно-земельных металлов, борная кислота, бура, оксид свинца) или ангобом (сырье – белая или цветная глина).

4. *Пластифицирующие добавки* (высокопластичные глины, бентониты, а также поверхностно-активные вещества – сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ) и др.) вводят с целью повышения пластичности сырьевых смесей при меньшем расходе воды.

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

4.3. Общая схема производства керамических изделий

При всем многообразии керамических изделий по свойствам, формам, назначению, виду сырья и технологии изготовления основные этапы производства керамических изделий являются общими и состоят из следующих операций: карьерные работы, механическая обработка глиняной массы, формование изделий, их сушка и обжиг.

Карьерные работы включают добычу, транспортировку и хранение промежуточного запаса глины. Вылеживание замоченной глины и ее вымораживание в течение годовичного срока на открытом воздухе разрушает природную структуру глины, она разрушается на элементарные частицы, что повышает пластичность и формовочные свойства керамической массы.

Механическая обработка глины осуществляется с помощью глинообрабатывающих машин и имеет цель: выделить каменистые включения, гомогенизировать (т.е. сделать однородной) керамическую массу и получить необходимые формовочные свойства. После выделения каменистых включений глину нужно промять в глиномялках с водяным орошением и паровым увлажнением до получения пластичной удобоукладываемой массы.

Формование. В зависимости от вида изготавливаемой продукции, вида и свойств сырья массу готовят пластическим, жестким, полусухим, сухим и шликерным способами.

При пластическом способе подготовки массы и формования исходные материалы при естественной влажности или предварительно высушенные смешивают с водой до получения теста с влажностью от 18 до 28%. Этот способ производства керамических строительных материалов является наиболее простым, наименее металлоемким и потому наиболее распространенным. Он применяется в случаях использования среднепластичных и умеренно-пластичных, рыхлых и влажных глин с умеренным содержанием посторонних включений, хорошо размокающих и превращающихся в однородную массу. На рис. 4.2 приведена одна из технологических схем производства кирпича пластическим способом.

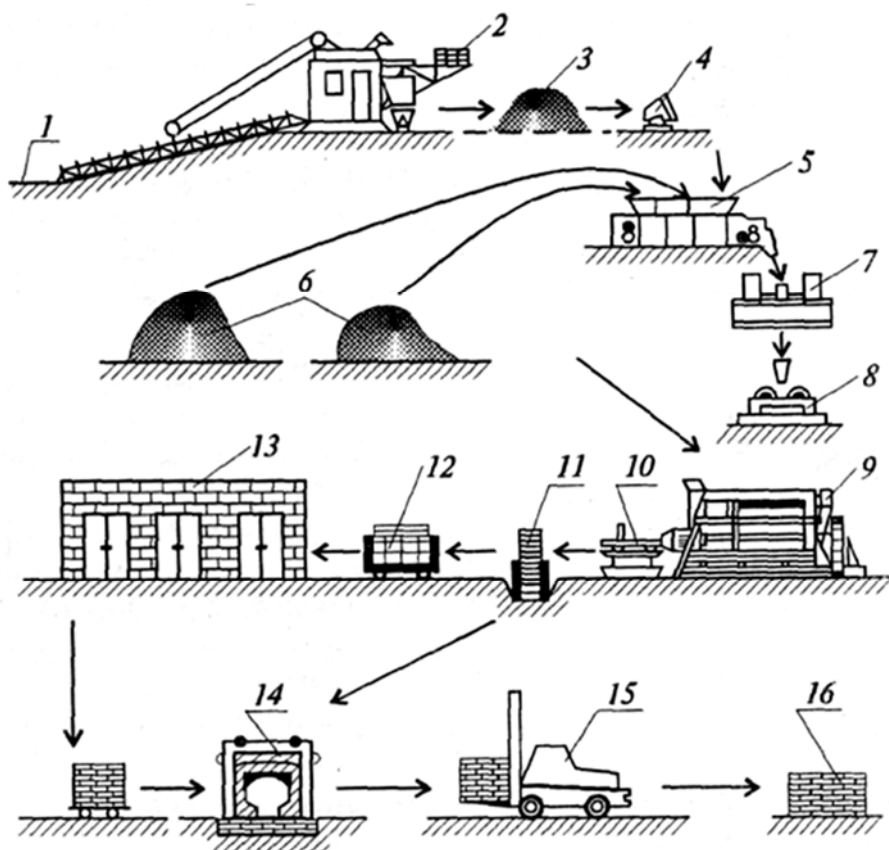


Рис. 4.2. Технологическая схема производства керамического кирпича:
 1 – карьер глины; 2 – экскаватор; 3 – глинозапасник; 4 – вагонетка; 5 – ящичный
 подаватель; 6 – добавки; 7 – бегуны; 8 – вальцы; 9 – ленточный пресс;
 10 – резак; 11 – укладчик; 12 – тележка; 13 – сушильные камеры;
 14 – туннельная печь; 15 – самоходная тележка; 16 – склад

Набор и разновидности машин для подготовки массы могут отличаться от приведенных на рис. 4.2 в зависимости от свойств сырья и используемых добавок. Однако формование при пластическом способе всегда производится на машине одного принципа действия – ленточном шнековом прессе (рис. 4.3) с вакуумированием и подогревом или без них. Вакуумирование и подогрев массы при прессовании позволяет улучшить ее формовочные свойства, увеличить прочность обожженного изделия до 2-х раз. В корпусе пресса вращается шнек-вал с винтовыми лопастями. Глиняная масса перемещается с помощью шнека к сужающейся переходной головке, уплотняется и выдавливается через мундштук в виде непрерывного бруса, или ленты, или трубы под давлением 1,6...7 МПа.

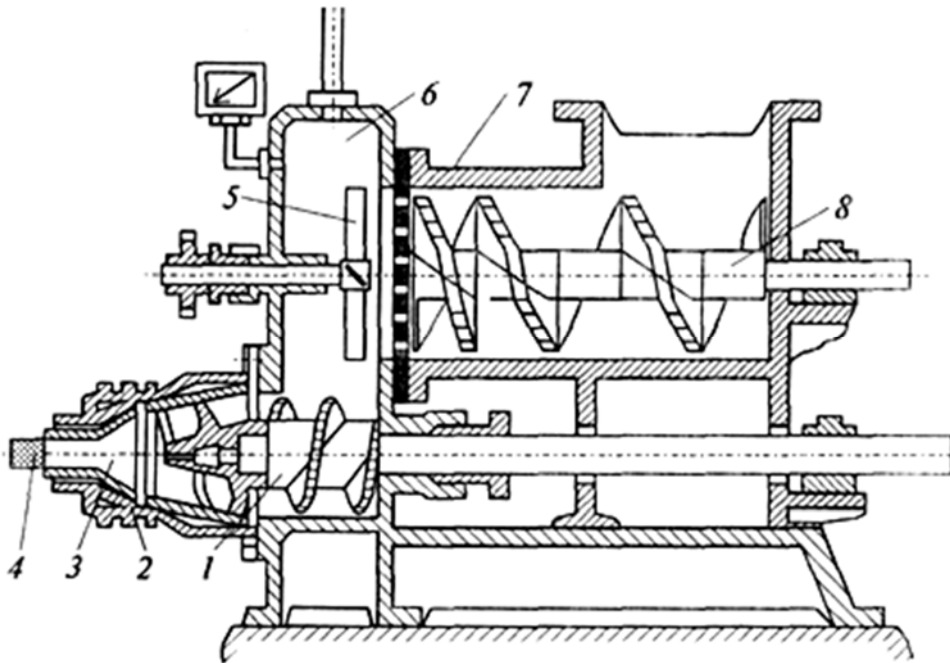


Рис. 4.3. Ленточный вакуумный пресс:
 1 – шнековый вал; 2 – прессовая головка; 3 – мундштук; 4 – глиняный брус;
 5 – крыльчатка; 6 – вакуум-камера; 7 – решетка; 8 – глиномялка

Производительность современных ленточных прессов по производству кирпича достигает 10000 штук в час.

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

Полусухой способ производства строительных керамических изделий распространен меньше, чем способ пластического формования. Керамические изделия по этому способу формируют из шихты с влажностью 8...12% при давлениях 15...40 МПа. Недостаток способа в том, что его металлоемкость почти в 3 раза выше металлоемкости пластического. Но вместе с тем он имеет и преимущества: длительность производственного цикла сокращается почти в 2 раза; изделия имеют более правильную форму и более точные

размеры; до 30% сокращается расход топлива; в производстве можно использовать малопластичные тощие глины с большим количеством добавок отходов производства – золы, шлаков и др. Сырьевая масса представляет собой порошок, который должен иметь около 50% частиц менее 1 мм и 50% размером 1...3 мм.

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

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

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

Сушка сырца. Перед обжигом изделия должны быть высушены до содержания влаги не более 5% во избежание неравномерной усадки, искривлений и растрескивания при обжиге.

Прежде сырец сушили преимущественно в естественных условиях в сушильных сараях в течение 2...3 недель, в зависимости от климатических условий.

В настоящее время сушка производится преимущественно искусственная в туннельных непрерывного действия или камерных периодического действия сушилах в течение от нескольких до 72 часов, в зависимости от свойств сырья и влажности сырца. Сушка производится при начальной температуре теплоносителя отходящих газов от обжиговых печей или подогретого воздуха – 120...150°C.

Обжиг изделий является важнейшей и завершающей операцией в производстве керамических материалов. Обжиг изделий строительной керамики осуществляется при температурах 900...1000°C для легкоплавких глин и при 1000...1250°C в окислительной или нейтральной среде для тугоплавких и огнеупорных глин. При обжиге происходит ряд физико-химических превращений, обуславливающих получение из глин искусственного камня.

При нагревании высушенных керамических изделий до температуры 100...200°C удаляется свободная (формовочная) вода. В этот период быстрый перегрев поверхности сырца вызывает одновременно перегрев

паров воды, находящихся внутри изделия, и повышение давления этих паров. Последнее может явиться причиной образования трещин и посечек, поэтому температура от 100 до 200°C должна подниматься очень медленно; в этом случае большое значение имеют остаточная влажность сырца и толщина изделия.

При температуре 200...400°C выгорают имеющиеся в глинах органические примеси. Химически связанная вода, находящаяся в соединениях (например $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и т.д.), наиболее интенсивно удаляется в интервале температур от 500 до 800 °C (процесс дегидратации глин), и керамическая масса необратимо теряет свои пластические свойства. В этот температурный период происходят модификационные превращения кристаллического кварца $\beta \rightarrow \alpha$ (при температуре 573°C). Кроме того, идет диссоциация железосодержащих минералов, например сидерита FeCO_3 , с выделением CO_2 и группы карбонатов (CaCO_3 , MgCO_3). В восстановительной среде наблюдаются переход окиси железа в закись с образованием жидкой фазы и диссоциация сульфидов и сульфатов с выделением SO_3 .

Начиная с 700°C щелочные окислы (Na_2O , K_2O), находящиеся в глине, вступают во взаимодействие с другими компонентами, образуя расплав, количество которого возрастает с повышением температуры. В рассматриваемом периоде обжига керамических изделий кристаллическая решетка глинообразующих минералов не разрушается; поэтому такие физико-механические показатели, как усадка, прочность, пластические деформации, модуль упругости, изменяются незначительно. В этом периоде нагрева возможен более быстрый подъем температуры, чем в подготовительном.

В интервале температур 800...1050°C наблюдается распад продуктов дегидратации на отдельные окислы ($\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 , Fe_2O_3 и др.) с образованием жидкой фазы. Получившиеся легкоплавкие соединения растворяют частицы минералов, выделяя из растворов новые, более устойчивые минералообразования, например фаялит $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ (900°C), шпинель $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (1000°C), возможно образование силлиманита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ (1050°C). Последний при температуре 1150...1300°C переходит в муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и т.д.

Образование муллита из каолиновой глины сопровождается следующими основными процессами:

1. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{+400 \dots +600^\circ\text{C}} \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ – образование метакаолинита, способного регидратироваться до каолинита;

2. $2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \xrightarrow{\approx +825^\circ\text{C}} 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ – образование кремниевой шпинели;

3. $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \xrightarrow{\approx +850^\circ\text{C}} 2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2) + \text{SiO}_2$ – образование псевдомуллита;

4. $3(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2) \xrightarrow{\approx +1000 \dots 1400^\circ\text{C}} 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$ – образование муллита и кристобалита.

Минералы, расплавляясь и образуя первичные эвтектические смеси, заполняют поры и, стягивая частицы основного вещества, вызывают их сближение и уплотнение. Этот температурный период обжига, связанный с разрушением кристаллической решетки минералов глины и значительными структурными изменениями, с пластическими деформациями, следует вести медленно и осторожно.

После кратковременной выдержки изделий при максимальной температуре обжига начинается процесс охлаждения, который характеризуется медленным понижением температуры до 500°C. Это необходимо, чтобы избежать возникновения внутренних напряжений и растрескивания изделий. Дальнейшее охлаждение до 40...50°C можно осуществлять быстро. В зависимости от содержания в глинах тех или иных примесей керамические изделия в процессе обжига приобретают различную окраску. Так, оксиды железа придают изделиям красную, коричневую, желтую или черную окраску; оксиды титана – серую или фиолетовую; оксид кальция обесцвечивает изделия, уменьшает интенсивность окраски.

В зависимости от назначения обжиг изделий ведется до различной степени спекания. Спекшимся считается черепок с водопоглощением менее 5%. Большинство строительных изделий обжигается до получения черепка с неполным спеканием в определенном температурном интервале от температуры огнеупорности до начала спекания, называемым *интервалом спекания*.

Интервал спекания для легкоплавких глины составляет 50...100°C, а огнеупорных – до 400°C. Чем шире интервал спекания, тем меньше опасность деформаций и растрескивания изделий при обжиге.

Интервал температур обжига лежит в пределах: от 900°C до 1100°C – для кирпича, камня, керамзита; от 1100°C до 1300°C – для клинкерного кирпича, плиток для полов, гончарных изделий, фаянса; от 1300°C до 1450°C – для фарфоровых изделий; от 1300°C до 1800°C – для огнеупорной керамики.

4.4. Структура и общие свойства керамических изделий

Керамические материалы – это композиционные материалы, в которых матрица или непрерывная фаза представлена остывшим расплавом, а дисперсная фаза – нерасплавленными частицами глинистых, пылевидных и песчаных фракций, а также порами и пустотами, заполненными воздухом. Материал матрицы, в свою очередь, представляет собой *микрокомпозиционный материал*, состоящий из *матрицы – непрерывной стекловидной фазы застывшего расплава и дисперсной фазы – кристаллических зерен силлиманита, муллита, кремнезема различных фракций* и других веществ,

кристаллизующихся при остывании (в основном алюмосиликатов). Стекловидная, аморфная фаза (переохлажденная жидкость) представлена в микроструктуре легкоплавкими компонентами, которые не успели выкристаллизоваться при заданной скорости остывания расплава.

Истинная плотность керамических материалов 2500...2700 кг/м³; средняя плотность 200...2300 кг/м³; коэффициент теплопроводности абсолютно плотного черепка 1,16 Вт/(м·°С), а пористого керамического материала 0,07...1,0 Вт/(м·°С). Коэффициент теплоемкости керамических материалов 0,18...0,22 ккал/(кг·°С), а коэффициент термического расширения 0,00014.

Предел прочности при сжатии керамических изделий меняется в пределах от 0,5 до 1000 МПа.

Водопоглощение керамических материалов – в пределах от 0 до 70%, в зависимости от пористости.

Керамические материалы имеют марки по морозостойкости: 15; 25; 35; 50; 75 и 100.

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

4.5. Виды керамических материалов

Стеновые материалы. Кирпич и камни керамические применяются для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений, а также для изготовления стеновых панелей и блоков. В соответствии с ГОСТ 530-2007 в зависимости от размеров они подразделяются на виды, приведенные в табл. 4.2. По согласованию с потребителем могут выпускаться изделия и других размеров.

Т а б л и ц а 4 . 2

Номинальные размеры стеновых керамических изделий

Вид изделия	Обозначение вида	Номинальные размеры			Обозначение размера
		Длина	Ширина	Толщина	
Кирпич нормального формата одинарный	КО	250	120	65	1 НФ
1	2	3	4	5	6
Кирпич «Евро»	КЕ	250	85	65	0,7 НФ
Кирпич утолщенный	КУ	250	120	88	1,4 НФ
Кирпич модульный одинарный	КМ	288	138	65	1,3 НФ

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Кирпич утолщенный с горизонтальными пустотами	КУГ	250	120	88	1,4 НФ
Камень	К	250	120	140	2,1 НФ
		288	288	88	3,7 НФ
		288	138	140	2,9 НФ
		288	138	88	1,8 НФ
		250	250	140	4,5 НФ
		250	180	140	3,2 НФ
Камень крупноформатный	КК	510	250	219	14,3 НФ
		398	250	219	11,2 НФ
		380	250	219	10,7 НФ
		380	255	188	9,3 НФ
		380	250	140	6,8 НФ
		380	180	140	4,9 НФ
		250	250	188	6,0 НФ
Камень с горизонтальными пустотами	КГ	250	200	70	1,8 НФ

Кирпич может быть полнотелым и пустотелым, а камни – только пустотелыми. Модульный и утолщенный кирпич также делают только с пустотами, так как масса одного кирпича не должна превышать 4 кг. Поверхность граней изделий может быть гладкой и рифленой. Нестандартный (необычный) цвет кирпича говорит о нарушении процесса обжига.

Основная характеристика качества кирпича – марка по прочности, определяемая по результатам испытания кирпича на сжатие и изгиб. Для стеновых изделий (кроме крупноформатного камня и кирпича и камня с горизонтальными пустотами) установлены марки: М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300. Крупноформатные камни дополнительно к вышеуказанным имеют марки: М35, М50, М75. Марки кирпича и камней с горизонтальными пустотами: М25, М35, М50, М75, М100. Марка соответствует пределу прочности при сжатии в кгс/см², а прочность на изгиб для каждой марки должна быть не менее предписанных стандартом значений.

Марки стеновых изделий по морозостойкости: F25, F35, F50, F100.

По показателю средней плотности изделия подразделяются на классы: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0. Плотность обыкновенного полнотелого керамического кирпича – 1600...1900 кг/м³; наличие пустот существенно снижает плотность кирпича и камней. По теплотехническим характеристикам изделия в зависимости от класса средней плотности подразделяются на группы в соответствии с табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

Группы изделий по теплотехническим характеристикам

Класс средней плотности изделия	Средняя плотность, кг/м ³	Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Теплопроводность кладки в сухом состоянии, Вт/(м·°С)
0,8	До 800	Высокой эффективности	До 0,20
1,0	801...1000	Повышенной эффективности	Св. 0,20 до 0,24
1,2	1001...1200	Эффективные	Св. 0,24 до 0,36
1,4	1201...1400	Условно-эффективные	Св. 0,36 до 0,46
2,0	Св. 1400	Малоэффективные (обыкновенные)	Св. 0,46

В различных странах выпускаются стеновые материалы, различающиеся между собой как по номенклатуре, так и по типоразмерам и маркам. В зарубежной практике известно производство кирпича пазогребневой конструкции для безрастворной кладки, крупноразмерных стеновых керамических элементов, звукоизоляционного кирпича и других стеновых изделий.

Панели и блоки стеновые из кирпича и керамических камней изготавливаются трех-, двух- и однослойные длиной на один или два планировочных шага и высотой на 1 и 2 этажа. Толщина панелей для внутренних стен и перегородок от 80 до 280 мм. Однослойные панели изготавливают из керамических камней, двухслойные – из слоя в ½ кирпича и слоя утеплителя, трехслойные – из двух кирпичных наружных слоев толщиной по 65 мм и слоя утеплителя между ними.

Отделочные (облицовочные) керамические материалы применяются для наружной и внутренней облицовки конструкций зданий и сооружений с целью не только декоративно-художественной отделки, но и повышения их долговечности.

Материалы для наружной облицовки. Кирпич и камни лицевые укладываются вместе с кладкой стены и одновременно служат конструктивным несущим элементом. Регулируя состав сырья и режимы обжига, получают изделия различных цветов: белого, кремового, светло-красного, коричневого. Также изготавливаются изделия с лицевой поверхностью, офактуренной различными способами: ангобированием, глазурированием, двухслойным формованием и проч.

Крупноразмерные облицовочные керамические плиты бывают квадратной или прямоугольной формы длиной от 490 до 1190 мм. Поверхность плит матовая или полированная различных цветов, часто со структурой, напоминающей гранит. По этой причине, а также за высокие физико-механические свойства такие плиты называют керамогранит.

Плитки керамические фасадные и ковры из них применяются для облицовки наружных стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, цоколей, подземных переходов и проч. Фасадные плитки выпускают различных цветов и фактуры поверхности размерами от 21×21×4 до 292×192×9 мм. Плитки могут поставляться с заводов в коврах с наклейкой плиток их лицевой стороной на крафт-бумагу. При отделке поверхностей плиточный ковер втапливается в раствор, а после его затвердевания бумага с лицевой поверхности плиток смывается.

Материалы для внутренней облицовки. Плитки для облицовки стен (кафельная плитка) выпускают различных типоразмеров. Кроме плиток выпускаются фасонные элементы: уголки, фризы и др. – для отделки внешних и внутренних углов. По характеру поверхности плитки бывают плоские рельефно-орнаментированные и фактурные; по виду глазурного покрытия – прозрачные и глухие, блестящие и матовые, одноцветные и декорированные многоцветными рисунками.

Плитки для полов благодаря их высокой износостойкости и минимальному водопоглощению применяют для настилки полов в зданиях, к чистоте которых предъявляются высокие требования, где возможно воздействие жиров, химических реагентов, интенсивное движение, а также в случаях, когда материал пола служит декоративным элементом в архитектурном оформлении помещения.

Облицовка керамикой – один из самых экономически эффективных видов отделки фасадов и интерьеров зданий. Первоначальная стоимость такой облицовки выше многих других видов отделки, но с учетом очень высокой долговечности керамики керамическая облицовка оказывается выгоднее большинства других видов отделки.

Кровельные керамические материалы. Широкое применение керамические изделия для кровли и черепицы нашли в западноевропейских странах, в некоторых из них кровля до 100% жилых зданий решается за счет использования черепицы.

Черепица, имея долговечность до 300 лет, по этому показателю значительно превышает любые другие кровельные материалы, а по текстурным качествам и по стоимости не уступает им. К недостаткам черепицы относятся необходимость большого уклона (не менее 30%) и значительный вес кровли, что требует особой прочности конструкции стропил, а также высокая трудоемкость кровельных работ. Однако долговечность, огнестойкость, устойчивость к атмосферным воздействиям и распространенность сырья делают керамическую черепицу одним из самых эффективных кровельных материалов. Известна черепица разных типов. По назначению черепицу подразделяют на рядовую, коньковую, разжелобочную, концевую для замыкания рядов и черепицу специального назначения (рис. 4.4). Черепица производится из легкоплавких глин.

Черепица при монтаже укладывается друг на друга, и в связи с этим полезная площадь составляет соответственно: у плоской – 50%, у штампованной и ленточной пазовой – 75...85%. При испытании черепица должна выдерживать не менее 70 кг при расстоянии между опорами: у плоской – 180 мм, у ленточной пазовой и штампованной – 300 мм. Вес штампованной и ленточной пазовой, уложенной в кровлю и насыщенной водой, должен быть не более 50 кг/м², а плоской – не более 65 кг/м². Морозостойкость черепицы не менее 25 циклов.

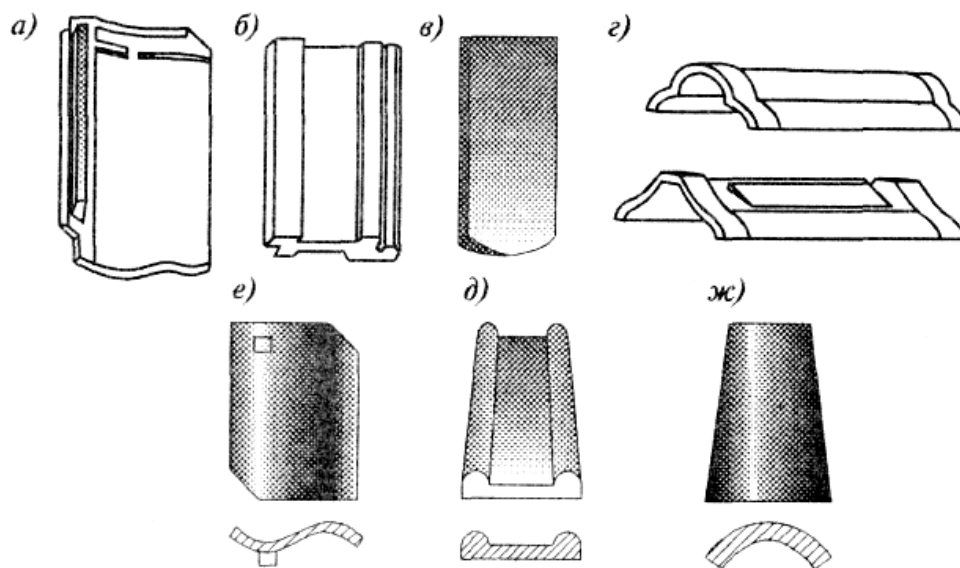


Рис. 4.4. Разновидности керамической черепицы: а – пазовая штампованная; б – пазовая ленточная; в – плоская ленточная; г – коньковая

Новый вид керамического кровельного материала, имитирующего кровельные плитки из природного сланца, – ардогрес. Размер плиток 40x40 и 20x40 мм, цвет – темно-серый и коричневый. Материал имеет чрезвычайно низкое водопоглощение (до 0,5%), высокую прочность, морозостойкость и долговечность.

Санитарно-техническая керамика (раковины, сливные бачки, унитазы и другие аналогичные изделия) производится из фарфора, полуфарфора, фаянса. Поверхность изделий покрывается блестящей глазурью.

Трубы керамические канализационные применяются для устройства безнапорных сетей канализации, транспортирующих промышленные, бытовые, дождевые, агрессивные и неагрессивные воды. Длина труб – 1000...1500 мм, внутренний диаметр – 150...600 мм. Трубы керамические дренажные применяются в мелиоративном строительстве для устройства закрытого дренажа с защитой стыков фильтрующими материалами. Внешняя поверхность покрывается глазурью. Вода в трубы поступает через круглые или щелевидные отверстия в стыках, а также через сами стыки труб.

Специальные керамические изделия.

К специальным керамическим изделиям относятся кирпич для дымовых труб, огнеупорные материалы, клинкерный кирпич и кислотоупорные изделия.

Кирпич для дымовых труб применяется для кладки дымовых труб и обмуровки промышленных труб в случае, если температура нагрева их дымовыми газами не превышает 700°C. Кирпич изготавливается марок от 125 до 300. Размеры кирпича: длина 120 и 250 мм, ширина 120 или 250 мм, толщина 65 или 88 мм. Кирпич бывает прямоугольный или клинообразный. Меньшую длину клинообразного кирпича принимают 70, 100, 200 и 225 мм. Водопоглощение кирпича должно быть не менее 6%, а морозостойкость – 25, 35 и 50.

По керамической технологии из различных сырьевых компонентов получают *огнеупорные материалы*. Они делятся на огнеупорные (температура размягчения 1580...1770°C), высокоогнеупорные (1770...2000°C) и высшей огнеупорности (более 2000°C). В зависимости от химико-минерального состава огнеупоры могут быть кремнеземистые (основной компонент SiO₂), корундовые (на основе Al₂O₃), алюмосиликатные (состоят из SiO₂ и Al₂O₃ в разных соотношениях), магнезиальные на основе MgO (периклазовые), хромитовые, графитовые (углеродистые). Широко применяются в строительстве кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупоры. Для обеспечения высокотемпературной тепловой изоляции выпускают легковесные огнеупоры со средней плотностью от 400 до 1300 кг/м³ и пористостью соответственно 85...45%.

Клинкерный кирпич получают обжигом глин до полного спекания, но без остекловывания поверхности, поэтому он отличается от обычного керамического кирпича высокой прочностью и морозостойкостью. Размер кирпича 220×110×65 мм. В соответствии с пределом прочности при сжатии его разделяют на 3 марки – 1000, 700 и 400, морозостойкость которых соответственно – 100...50 циклов, а водопоглощение – соответственно не более 2...6%. Клинкерный кирпич называют дорожным и применяется он для покрытия дорог и мостовых, обмуровки канализационных коллекторов и облицовки набережных.

Кислотоупорный кирпич используется для защиты аппаратов и строительных конструкций, работающих в условиях кислых агрессивных сред, а также при футеровке дымовых труб, которые служат для отвода дымовых газов, содержащих агрессивные среды. Кирпич изготавливается высшей и первой категорий качества трех классов А, Б и В и четырех форм: прямой, клиновой (торцовый и ребровый), радиальный (поперечный и продольный) и фасонный (слезник). Размеры кирпича 230×113×65 и 230×113×55 мм. Свойства кирпича имеют следующие значения: кислотоустойчивость – 98,5...96%; прочность при сжатии – 60...35 МПа; термическая стойкость – 5...25 теплосмен.

Кислотоупорные плитки применяются для футеровки оборудования и защиты строительных конструкций и сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред. Плитки производятся высшего и первого сортов 6-ти марок: кислотоупорные фарфоровые – КФ, термокислотоупорные дунитовые – ТКД, термокислотоупорные для гидролизной промышленности – ТКГ, кислотоупорные для строительных конструкций – КС, кислотоупорные шамотные – КШ и термокислотоупорные шамотные – ТКШ.

По форме плитки бывают: квадратные плоские, квадратные радиальные, прямоугольные, клиновые и спаренные. С одной стороны плитки имеют ребристую поверхность, обеспечивающую лучшее сцепление с футерируемой конструкцией.

Размеры плиток меняются в пределах: длина и ширина 50...200 мм, толщина 15...50 мм. Значения свойств плиток в зависимости от сорта и марок колеблются в пределах: водопоглощение – 0,4...8 %; кислотоустойчивость – 97...99%; предел прочности при сжатии – 10...150 МПа, а при изгибе – 10...40 МПа; термическая стойкость 2...10 теплосмен; морозостойкость – 15...20 циклов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие материалы и изделия называют керамическими?
2. На основе каких признаков принято классифицировать керамические изделия?
3. Каковы состав и свойства глин как основного сырья для производства керамики?
4. Какие добавки и с какой целью вводят в состав керамической массы?
5. Чем обусловлена пластичность глин? Как ее регулируют?
6. Назовите основные этапы производства керамических изделий.
7. Какие способы формования изделий Вы знаете?
8. При какой температуре и почему проводят сушку и обжиг керамических изделий?
9. Какие процессы происходят при обжиге глин? Что такое «недожог» и «пережог»?
10. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные виды керамических изделий.

5. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

5.1. Общие сведения

Силикатные расплавы – это расплавы, которые получают из кремнезема SiO_2 и соединений на его основе – силикатов. Сырьем для получения силикатных расплавов служат распространенные горные породы (песок, базальт, диабаз, мергель), побочные продукты промышленности (металлургические шлаки, золы) и вторичное сырье (стеклобой и др.).

Из силикатных расплавов в зависимости от исходного сырья, определяющего химический состав расплава, и режима охлаждения можно получить различные по структуре и свойствам материалы и изделия: стекло и стеклянные изделия, стеклокристаллические материалы и частично закристаллизованные материалы и изделия из горных пород и шлаков (каменное литье). Больше всего в строительстве используются стекло и стеклянные изделия.

Стеклоделие возникло в Египте за 3000–4000 лет до н. э. В России стеклоделие как ремесло появилось в X в. (а по некоторым данным раскопок, значительно раньше). Первый стекольный завод в России создан в 1638 г., а в начале XX в. их было уже 275.

Основоположителем научных основ стеклоделия в России был М.В. Ломоносов, который еще в 1752 г. организовал производство разноцветных стекол, мозаичного стекла, им же разработан метод горячей прессовки стекла. Большой вклад в развитие науки о стекле внесли советские ученые А.А. Лебедев, И.В. Гребенщиков, О.К. Ботвинкин, А.Н. Качалов, И.И. Китайгородский и многие другие.

Характерная особенность силикатных расплавов состоит в том, что они обладают способностью при достаточно быстром охлаждении переходить в стеклообразное состояние. Признаками стеклообразного состояния вещества являются отсутствие четко выраженной точки плавления (вещество при нагревании размягчается и постепенно переходит в жидкое состояние, при охлаждении – наоборот), гомогенность и изотропность, т.е. отсутствие векториальности свойств.

Существующие теории стеклообразного состояния исходят из того, что жидкости и стекла нельзя рассматривать как хаотическое скопление молекул или ионов, в них существуют микроучастки с упорядоченной структурой. В жидкости в силу большой свободы слагающих ее элементов идет непрерывное образование и разрушение этих участков, а в стекле они остаются зафиксированными, в результате чего в стекле наблюдается упорядоченность лишь малой протяженности (ближний порядок) и отсутствует упорядоченность на больших расстояниях (дальний порядок),

свойственная кристаллическому состоянию. Отсутствие дальнего порядка подтверждается, в частности, изотропностью стекла.

Вещество в стеклообразном состоянии обладает повышенной внутренней энергией – скрытой энергией кристаллизации, т.е. оно термодинамически неустойчиво (метастабильно). Поэтому стекло под влиянием некоторых воздействий (ультрафиолетовое или рентгеновское облучение и др.), а иногда и самопроизвольно может кристаллизоваться. В стеклоделии это явление называют «расстекловыванием». В то же время при введении в расплав специальных добавок и катализаторов и выборе соответствующего режима термической обработки можно получить стеклокристаллические материалы, обладающие положительными свойствами стекла и лишенные большинства его недостатков, а именно хрупкости, низкой термостойкости и др.

5.2. Состав, свойства и основы технологии производства стекла

Стеклом называют твердый аморфный материал, получаемый при переохлаждении минеральных расплавов. В стеклообразном виде могут быть получены многие вещества. В строительстве же используют почти исключительно силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния (кремнезем) SiO_2 . Кремнезем сам по себе без добавления каких-либо других веществ при охлаждении расплава способен образовывать стекло, как и некоторые другие оксиды (P_2O_5 , V_2O_3); их называют стеклообразующими оксидами.

Стекло не является химическим веществом с определенным составом, который может быть выражен химической формулой; поэтому состав стекол условно выражают суммой оксидов (например, состав обычного оконного стекла SiO_2 – 71...72%; Na_2O – 14...15%; CaO – 6,5...7%; MgO – 4%; Al_2O_3 – 2%).

Сырье. Основные компоненты строительных стекол – SiO_2 ; Al_2O_3 ; Na_2O ; CaO ; MgO – образуются в стекломассе при нагреве и последующем плавлении так называемых главных сырьевых материалов.

Главные сырьевые материалы вводят в стекольную шихту, как правило, в виде природных соединений.

Кремнезем SiO_2 – основной стеклообразующий оксид, вводят в шихту в виде кварцевого песка или молотых песчаников и кварцитов с минимальным содержанием примесей (железа, хрома, титана), снижающих светопропускание стекла.

Глинозем Al_2O_3 поступает в стекольную шихту в составе полевых шпатов, каолина, а для высокосортных стекол – в виде чистого оксида алюминия. Увеличение содержания SiO_2 и Al_2O_3 повышает тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

Оксиды натрия Na_2O и *калия* K_2O образуются в результате разложения при варке стекла введенных в шихту соответственно соды или сульфата натрия и поташа или калиевой селитры. Оксид натрия ускоряет процесс стеклообразования, понижая температуру плавления и облегчая осветление массы, но повышает коэффициент теплового расширения и уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия снижает склонность стекла к кристаллизации, придает ему блеск и улучшает светопропускание.

Оксиды кальция CaO и *магния* MgO в стекольную шихту вводят в виде мела, мрамора, известняка, доломита. Эти оксиды повышают химическую стойкость стекла, а оксид магния также снижает склонность стекла к кристаллизации. В специальные стекла (например, оптическое, лабораторное) вводят оксиды свинца, бария и цинка.

Вспомогательные сырьевые материалы (осветлители, глушители, красители и др.) вводят в шихту для ускорения варки стекла и придания ему требуемых свойств.

Осветлители (сульфаты натрия и аммония и др.) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков.

Глушители (соединения фтора, фосфора и др.) делают стекло непрозрачным.

К *красителям* относят соединения кобальта (синий цвет), хрома (зеленый), марганца (фиолетовый), железа (коричневые и сине-зеленые тона) и др.

Основы технологии производства стекла

Производство стекла включает в основном следующие технологические операции: подготовку сырьевых материалов (сушка, измельчение); приготовление стекольной шихты (дозировку и смешение компонентов); варку стекломассы; выработку (формование) из нее материалов и изделий; термическую, механическую или химическую обработку изделий для улучшения свойств.

Варка стекломассы (стекловарение) – главнейшая и самая сложная операция всего стекольного производства – выполняется чаще всего в ваннах печей непрерывного действия, представляющих собой бассейны, сложенные из огнеупорных материалов. При варке специальных стекол (оптических, цветных и т. п.) используют горшковые печи. При нагревании шихты до $1100\text{...}1150^\circ\text{C}$ происходит образование силикатов (силикатообразование) сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO_2 и Al_2O_3 – образуется стекломасса. Эта стекломасса насыщена газовыми пузырьками и неоднородна по составу. Для осветления и гомогенизации стекломассы ее температуру повышают до $1500\text{...}1600^\circ\text{C}$. При этом вязкость расплава снижается и соответственно

облегчается удаление газовых включений и получение однородного расплава.

Стекловарение завершается охлаждением (*студкой*) стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, требуемую для выработки стеклоизделий принятым методом (вытягиванием, прокатом, прессованием, литьем, выдуванием и др.).

Закрепление формы изделия осуществляют быстрым охлаждением. При этом вследствие низкой теплопроводности стекла возникают большие перепады температур, вызывающие внутренние напряжения в стеклоизделии. Поэтому обязательная операция после формования – отжиг, т.е. охлаждение изделий по специальному ступенчатому режиму: быстрое – до начала затвердевания стекломассы, очень медленное – в момент перехода стекла от пластического состояния к хрупкому (собственно отжиг) и вновь быстрое – до нормальной температуры. Отжиг может производиться сразу при формировании изделий или после повторного нагрева до температуры начала размягчения.

Производство наиболее распространенного в строительстве листового стекла осуществляют путем вертикального или горизонтального вытягивания ленты из вязкой расплавленной стекломассы или прокатом, а также более новым способом – плавающей ленты (флоат-способ).

Метод вытягивания применяют для получения стекла толщиной 2...6 мм, для чего используют машины вертикального (рис. 5.1) или горизонтального вытягивания. Лента стекла вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку (огнеупорный брус с прорезью) или со свободной поверхности стекломассы (безлодочный способ), охлаждается и отжигается в камере этой же машины. При производстве стекла методом непрерывного проката стекломасса сливается на гладкую

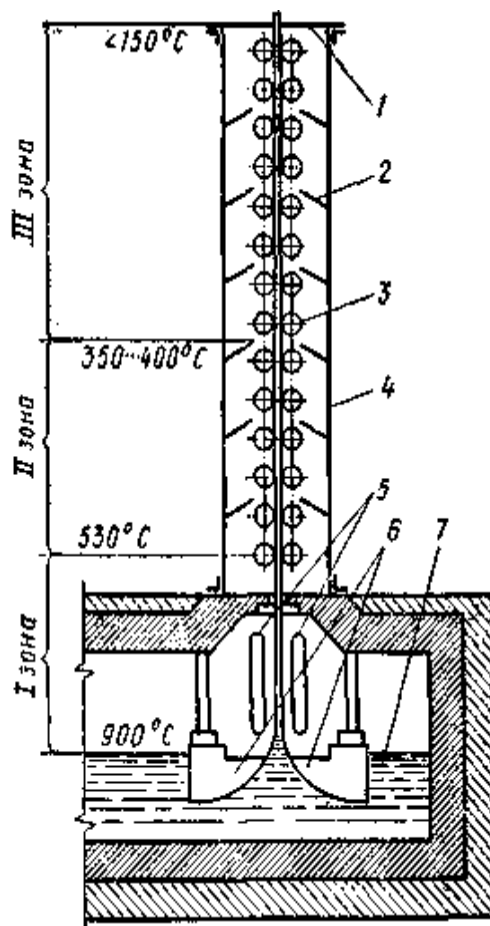


Рис. 5.1. Схема машины для вертикального вытягивания стекла:

- 1 – отломочная площадка; 2 – скаты для удаления боя; 3 – валики;
- 4 – шахта машины; 5 – холодильники;
- 6 – лодочка; 7 – стекломасса

поверхность и ее прокатывают валками с гладкой или узорчатой поверхностью.

Процесс формирования ленты стекла флоат-способом протекает на поверхности расплавленного металла. Плоскость стекла, соприкасающаяся с поверхностью металла, получается ровной и гладкой и не требует дальнейшей полировки.

Свойства стекла

Свойства стекла зависят от химического состава стекольной шихты и технологии его производства.

Многие свойства стекла можно определить расчетным путем по так называемому правилу аддитивности (правило слагаемости). Согласно этому правилу свойства стекла выражаются как сумма свойств окислов, составляющих это стекло. Результаты определения свойств по этому правилу имеют лишь приближенное значение. Свойства стекла по правилу слагаемости рассчитывают по уравнению

$$P = a_1y_1 + a_2y_2 + a_3y_3 + \dots + a_ny_n,$$

где P – искомое свойство данного стекла;

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ – содержание отдельных окислов в стекле в процентах (весовых или молекулярных);

$y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ – расчетные коэффициенты (удельные факторы) соответствующих свойств для каждого окисла в составе стекла.

Значения удельных факторов определяются опытным путем для каждого свойства стекла (в специальной литературе по химии и технологии силикатов есть таблицы с расчетными коэффициентами). Чем проще состав стекла, тем ближе расчетные характеристики свойства к реальным.

Стекло в строительных конструкциях чаще подвергается изгибу, растяжению и удару и реже – сжатию, поэтому главным показателем, определяющим его свойства, следует считать прочность при растяжении и хрупкость.

Расчетный теоретический предел прочности стекла при растяжении составляет 12000 МПа, практически эта величина ниже в 200...300 раз, в зависимости от размера образца колеблется от 30 до 60 МПа (при сжатии – 700...1000 МПа и более). Это объясняется тем, что в стекле имеются ослабленные участки (микронеоднородности, трещины, внутренние напряжения) и чем больше размер образцов, тем вероятнее наличие таких участков. На прочность стекла оказывают влияние и технологические дефекты, особенно инородные включения и свиль (химические неоднородные участки). В диапазоне температур от -50 до $+70^\circ\text{C}$ прочность стекла практически не изменяется.

Хрупкость – главный недостаток стекла, проявление хрупкости у материалов является следствием сочетания нескольких факторов. Главнейшие

из них: низкое значение отношения прочности материала на разрыв к его модулю упругости R_p/E (для стекла оно составляет $7,5 \times 10^{-4} \dots 6,5 \times 10^{-4}$, для стали $2,5 \times 10^{-3} \dots 2,2 \times 10^{-3}$, а для каучука $2,5 \dots 1,5$), высокая скорость и отсутствие препятствий для распространения трещин.

Оптические свойства стекла характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных, пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла ($1,50 \dots 1,52$) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла падения света с 0 до 75° светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50% .

Теплопроводность различных видов стекла составляет $0,5 \dots 1$ Вт/(м \cdot °С). Коэффициент линейного температурного расширения стекла относительно невелик (для обычного стекла около $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$), но из-за высокого модуля упругости и низкой теплопроводности напряжения, развивающиеся в стекле при термических деформациях, могут достигать опасных величин, приводящих к растрескиванию. По этой же причине стекло имеет относительно малую термостойкость.

Звукоизолирующая способность стекла относительно высока. По этому показателю стекло толщиной 1 см соответствует кирпичной стене в полкирпича – 12 см.

Химическая стойкость стекла высокая: разрушающе действуют на него только горячие щелочи и плавиковая и фосфорная кислоты. Это объясняется химическим составом стекла, его высокой плотностью и способностью при действии водных растворов образовывать на поверхности защитный слой, богатый кремнеземом SiO_2 .

5.3. Разновидности стекла и стеклянных изделий, применяемые в строительстве

Листовое стекло (обычное оконное, увиолевое, теплозащитное, светорассеивающее, закаленное, витринное, армированное и др.) является самым распространенным стеклом для строительных целей.

Оконное стекло выпускают толщиной $2; 2,5; 3; 4; 5$ и 6 мм в виде листов размером от 400×400 до 1600×2200 мм или по спецификации потребителя. Стекло должно быть бесцветным и прозрачным (светопропускание в зависимости от толщины не менее $84 \dots 90\%$).

Увиолевое стекло пропускает не менее 25% ультрафиолетовых лучей. Это достигается за счет применения стекольной шихты с минимальным содержанием примесей оксидов железа, титана и хрома. Такое стекло

используют для остекления проемов в лечебных, детских учреждениях, оранжереях и других специальных сооружениях.

Теплозащитное стекло способно поглощать до 75% инфракрасных лучей. Его изготавливают из стекломассы, в которую вводят оксиды кобальта, никеля и железа, или путем обработки поверхности стекла специальными растворами при его вытягивании. Применяют такое стекло для остекления зданий и средств транспорта с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации, особенно в южных районах.

Светорассеивающее стекло характеризуется декоративностью и светорассеивающей способностью. Оно может быть узорчатым и матовым.

Узорчатое стекло (рис. 5.2) получают методом непрерывного проката на гравировальных вальцах из бесцветной или цветной стекломассы.

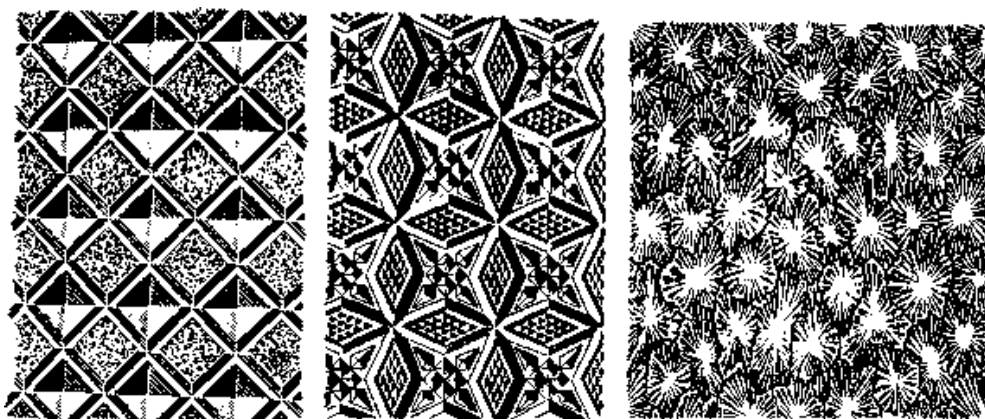


Рис. 5.2. Разновидности узорчатого стекла

Матовое стекло изготавливают пескоструйной обработкой поверхности оконного стекла, при этом с помощью трафарета можно получить матово-узорчатый рисунок. Светорассеивающее стекло применяют для остекления оконных и дверных проемов, перегородок, когда требуется освещение без сквозной видимости или рассеянный свет.

Армированное стекло получают методом проката с одновременной запрессовкой в обычную или цветную стекломассу металлической сетки. Такое стекло может быть в виде плоских или волнистых листов (рис. 5.3).

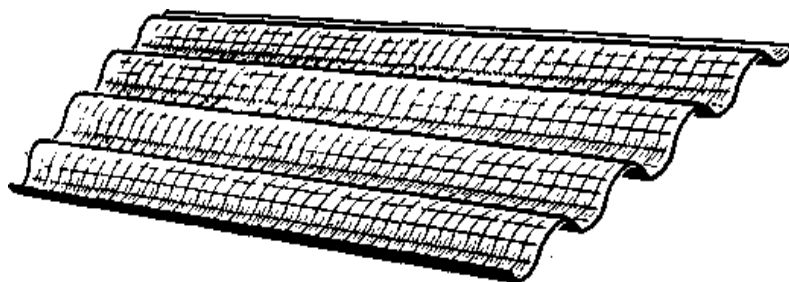


Рис. 5.3. Армированное волнистое стекло

Армированное стекло обладает повышенной прочностью и огнестойкостью. Его применяют для остекления дверей, ограждения лестничных клеток и балконов, устройства перегородок и кровли.

Витринное стекло неполированное и полированное выпускают увеличенной толщины 5...12 мм. Стекло толщиной 5...6 мм получают, как и обычное оконное, методом вертикального вытягивания, как правило, без последующей полировки. Более толстое витринное стекло изготавливают прокатом с последующей шлифовкой и полировкой. Используют витринное стекло для остекления витрин в нижних этажах зданий, а также для сплошного остекления выставочных залов, аэропортов и т. п.

Закаленное стекло получают путем термической обработки стекла по специальному режиму, в результате чего оно приобретает напряженное состояние, характеризуемое небольшим растяжением всей толщи стекла, кроме тонких поверхностных слоев, которые оказываются сильно сжатыми. Закаленное стекло имеет выше прочность на удар в 4...6 раз, а предел прочности при изгибе в 5...8 раз по сравнению с обычным стеклом. Такое стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми (нережущими) краями. Основным потребителем закаленного стекла – транспорт. В строительной практике толстое закаленное стекло применяют для устройства дверей, перегородок, потолков. Листы закаленного стекла толщиной около 6 мм, покрытые с тыльной стороны цветными керамическими красками, называют *стемалитом* и применяют для внутренней и наружной облицовки зданий.

Плоское цветное стекло получают путем введения красителей в стекломассу или нанесения в процессе проката на бесцветную стекломассу цветного слоя. Используют цветное стекло при строительстве общественных зданий в декоративных целях (в световых проемах, перегородках, витражах).

По назначению изделия из стекла разделяются на отделочные (облицовочное стекло): цветные плиты, стеклянные плитки, стеклянная мозаика, зеркала, и конструктивные: стеклопакеты, стеклопрофилит, стеклянные блоки, трубы и т. п.

Цветные плиты (марблит) изготавливают из цветной непрозрачной (глушеной) стекломассы методом проката или литья с полировкой лицевой поверхности и рифлением тыльной. Такие плиты (толщиной 6...12 мм и размером до 2100×1400 мм) используют для облицовки фасадов и внутренних помещений общественных зданий, а также для подоконников, крышек столов, прилавков.

При прокате марблит может быть разделен на плитки размером 200×200 мм и менее. Такие плитки называют стекломрамором.

Плиты типа «стеклокремнезит» – цветные непрозрачные плиты, получаемые плавлением с последующей кристаллизацией цветных

стеклянных гранул. Стеклокремнезит воспроизводит структуру полированных горных пород; может быть получен разнообразных цветов.

Стекланную эмалированную плитку производят из отходов листового оконного стекла путем нарезания на требуемые размеры (150×150, 10×75 мм или другие) и нанесения слоя стекланной эмали, закрепляемого нагреванием в печи. Применяют такую плитку для облицовки помещений с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями и в сооружениях, подвергающихся агрессивному действию кислот и щелочей.

Стекланную мозаику выпускают двух видов – ковровая мозаика и смальта. Ковровая мозаика – это мелкие квадратные плитки (например, 20×20×4 мм) из непрозрачного прокатного стекла различных цветов с глянцевой или матовой поверхностью. Плитки по рисунку наклеивают на крафт-бумагу и в виде ковриков применяют для облицовки стеновых панелей и внутренней отделки стен и колонн. Смальта – небольшие кусочки разной формы из непрозрачного литого или прессованного стекла различного цвета. Из кусочков смальты набирают мозаичные картины или отдельные вставки при отделке общественных зданий и сооружений.

Зеркала изготовляют из полированного стекла с нанесением на него с одной стороны тонкого слоя *алюминия* или *серебра*, закрепляемого слоем асфальтового лака или стекланной эмалью.

Стеклопакеты представляют собой элементы из двух или трех плоских стекол (оконного, витринного и других видов), соединенных по периметру путем склеивания или пайки так, что между ними образуется герметически замкнутая воздушная полость шириной до 15...20 мм. Стеклопакеты не замерзают при температуре -25°С (одинарный) и -40°С (двойной), не запотевают, выдерживают бóльшую ветровую нагрузку по сравнению с отдельными стеклами той же толщины, и обладают достаточной звукоизолирующей способностью. Их использование вместо обычного двойного остекления упрощает и удешевляет процесс остекления зданий различного назначения и сокращает расход материалов на изготовление оконных переплетов в 1,5...2 раза.

Технологии изготовления стеклопакетов постоянно совершенствуются. Между стеклами стеклопакетов, как правило, находится неглубокий вакуум, а в высококачественных – инертный газ. Иногда поверхность стекол покрывают специальными составами или пленками, которые придают определенные свойства, например отражение тепла (технология «тепловое зеркало»).

Стеклопрофилит представляет собой изделия из прокатного стекла, имеющие профильное и коробчатое сечение длиной до 6000 мм (рис. 5.4). Конструкции из стеклопрофилита дают мягкий рассеивающий свет (светопропускание 40...70%).

Теплопередача стены из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) профилей примерно такая же, как окон с двойным остеклением, а

акустические свойства не уступают глухим межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича.

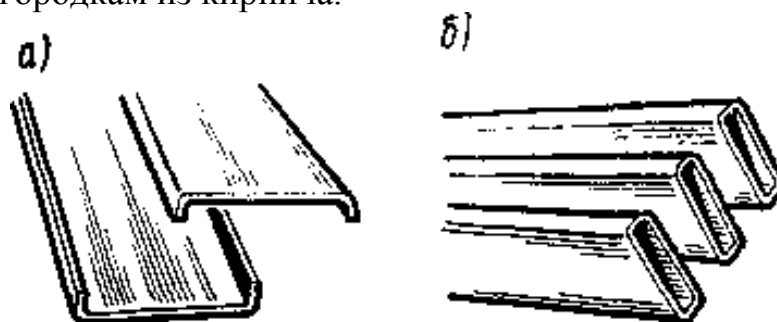


Рис. 5.4. Виды стеклопрофилита:
а – швеллерный; б – коробчатый

Стеклопрофилит применяют для устройства ненесущих стен, внутренних перегородок, остекления фонарей и других целей, обычно в сочетании с металлическими, бетонными, кирпичными или деревянными элементами зданий.

Стекланные блоки – пустотелые изделия квадратной или прямоугольной формы размерами до 294×294×98 мм, состоящие из двух прессованных полублоков из обычной или цветной стекломассы и сваренных или склеенных друг с другом. Блоки имеют небольшую плотность – 800 кг/м³, относительно низкую теплопроводность – в среднем 0,46 Вт/(м·°С), достаточное светопропускание – 50...65% и светорассеивание – до 25%.

Стеклоблоки применяют для сооружения светопрозрачных элементов стен (рис. 5.5) перегородок, остекления лестничных клеток, лифтовых шахт и т.п. Использование стеклоблоков позволяет более чем в 2 раза снизить потери теплоты по сравнению с одинарным остеклением, улучшает звукоизоляцию.

Стекланные трубы различных диаметров (до 150 мм и более) хорошо сопротивляются коррозии, обладают достаточной механической прочностью, гигиеничны, прозрачны, имеют гладкую поверхность, вследствие

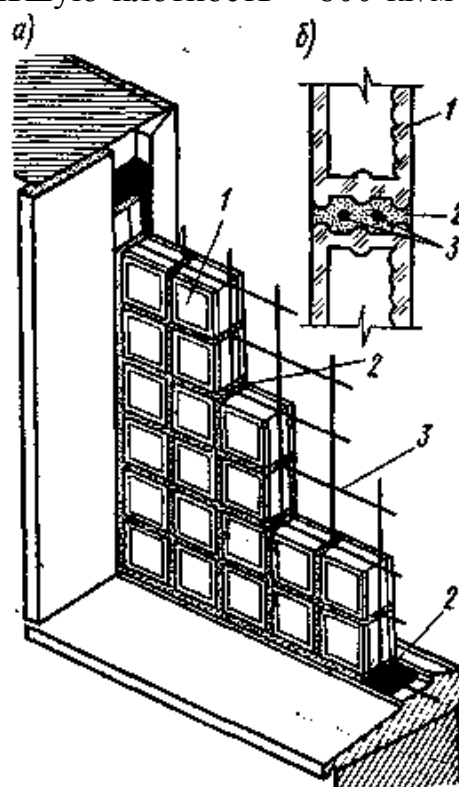


Рис. 5.5. Световой проем из стеклоблоков (а) и узел соединения стеклоблоков (б):
1 – стеклоблоки; 2 – цементный раствор;
3 – арматура

чего их пропускная способность на 22% выше, чем чугуновых, и на 6,5% – стальных труб равного диаметра. Недостатками стеклянных труб являются малое сопротивление изгибу и удару и значительная хрупкость. Трубы нашли широкое применение для самых различных целей как в строительстве, так и в других отраслях промышленности – пищевой, химической, фармацевтической и т. п.

Ситаллы и шлакоситаллы

Ситаллы – стеклокристаллические материалы, получающиеся путем направленной кристаллизации стекла, т.е. структура ситаллов (вид кристаллов, их размер и количество) регулируется в процессе производства. Особенность структуры ситаллов характеризуется тем, что между весьма мелкими кристаллами (несколько мкм) равномерно распределена стекловидная фаза (прослойкой около 1 мкм), количество которой в хорошо закристаллизованных материалах составляет 5...10%. Структура ситаллов, обеспечивающая сохранение положительных свойств стекла, придает им повышенную механическую прочность, термическую и химическую стойкость, диэлектрические свойства, уменьшает хрупкость.

В основу технологии ситаллов положен принцип катализированной кристаллизации. Для этого в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке материала. Термообработка ведется по ступенчатому режиму: вначале материал выдерживают при температуре, соответствующей максимальной скорости образования центров кристаллизации, а затем при температуре максимальной скорости роста кристаллов. Таким образом, достигается необходимая степень закристаллизованности материала при требуемом размере кристаллов.

Ситаллы получают из того же сырья, что и стекло, с добавлением специальных добавок (например соединений лития), но к чистоте сырья предъявляются очень высокие требования. В качестве катализаторов кристаллизации используют фториды и фосфаты щелочных и щелочно-земельных металлов.

Ситаллы применяют главным образом в специальных отраслях техники (например в радиоэлектронике). В промышленном и гражданском строительстве они могут использоваться в виде конструктивного отделочного материала.

Значительно большие перспективы для строительства имеют шлакоситаллы. Это обусловлено доступностью сырья – металлургических шлаков при сохранении ценных технических свойств, характерных для ситаллов.

Шлакоситаллы получают из огненно-жидких шлаков, в которые вводят добавки, корректирующие их химический состав, и катализаторы кристаллизации (модификаторы TiO_2 , CaF_2 , P_2O_5 и др.). Шлакоситаллы при плотности 2500...2650 кг/м³ имеют высокую прочность (при сжатии

до 650 МПа, при изгибе до 120 МПа), низкое водопоглощение (близко к нулю). Особенно ценные качества шлакоситаллов – высокая химическая и термическая стойкость, морозостойкость и малая истираемость.

Шлакоситалл выпускают в виде плоских и волнистых листов. Плоскими листами облицовывают цоколи и стены зданий; из них устраивают покрытия полов зданий с интенсивным движением (магазины, станции метро и т.п.). Волнистые листы целесообразно применять для кровель химических предприятий. Шлакоситаллы можно использовать для футеровки строительных конструкций и аппаратов, подверженных химической агрессии и абразивному износу (облицовка гидротехнических сооружений, полы и аппараты химических производств), а также труб и других изделий.

Возможно получение также пористого шлакоситалла (пеношлакоситалла) плотностью 300...600 кг/м³ и прочностью при сжатии 6...14 МПа. Весьма целесообразным представляется совместное использование плотного листового шлакоситалла с пеношлакоситаллом в стеновых и других конструкциях.

Литые каменные изделия изготавливают из расплавленных горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По однородности структуры и техническим свойствам литые изделия превосходят многие природные каменные материалы. Сырьем для получения каменного литья служат магматические горные породы, чаще базальты и диабазы. Очень эффективно использование для этих целей металлургических шлаков. Плавленные изделия из такого сырья имеют темный цвет.

Для получения светлого каменного литья используют осадочные горные породы, главным образом карбонатные (доломит, мел, мрамор), и кварцевый песок.

Технология каменных литых изделий включает подготовку сырьевых материалов (дробление, помол, перемешивание), плавление, отливку изделий, кристаллизацию и отжиг. Плавление диабаза и базальта чаще всего производят в ваннах печах или вагранках при температуре 1400...1500°C, а при изготовлении светлого каменного литья – в электрических печах. При охлаждении отливок ниже 1300°C начинается процесс кристаллизации, вслед за которым следует отжиг – медленное охлаждение изделий. В процессе отжига снимаются внутренние напряжения, которые возникли в начальной стадии охлаждения и кристаллизации массы.

Литые каменные изделия из шлаков экономически выгоднее изготавливать, используя огненно-жидкие шлаки, поскольку в этом случае не требуется дополнительной затраты топлива на расплавление сырья. Пористость литых каменных изделий не превышает 2%; все поры замкнутые, и поэтому материал практически не поглощает воду, обладает высокой морозостойкостью и большой прочностью: при сжатии – до 400 МПа, при изгибе – до 65 МПа и малой истираемостью (в 3...5 раз меньшей, чем у

гранита, базальта, диабазы). Данным материалам свойственны высокие диэлектрические показатели, термостойкость и химическая стойкость.

В строительстве литые каменные изделия используют в особо тяжелых условиях эксплуатации (полы промышленных предприятий, плитки и другие изделия для облицовки ответственных частей зданий и антикоррозионных покрытий, камни и плиты для дорог, трубы и облицовка химической аппаратуры и мельниц).

Стоимость каменного литья, особенно светлого, как и ситаллов, сравнительно высока, но с учетом долговечности их применение, как правило, экономически выгодно.

Вопросы для самоконтроля

1. Что является сырьем для производства стекла?
2. Дайте характеристику основным свойствам стекла.
3. Как получают стекловолокно и где оно применяется?
4. Назовите основные виды стеклянных материалов и изделий, их применение.
5. В чем особенности структуры и свойств ситаллов и шлакоситаллов?

6. МЕТАЛЛЫ

6.1. Общие сведения и структура металлов

Металлами называются вещества, характерными признаками которых при обычных условиях являются высокая прочность, пластичность, тепло- и электропроводность, хорошие литейные свойства, способность работать при низких и высоких температурах, свариваемость, особый блеск, называемый металлическим. Такие признаки металлов обуславливаются их электронными межатомными связями и кристаллическим строением. При очень высоких давлениях свойства металлов могут меняться. К металлам относятся $\frac{3}{4}$ всех существующих в природе элементов. Наиболее распространенными и ценными являются алюминий – 9%, железо – 5%, магний – 2%, титан – 0,65%.

Для улучшения свойств металлы сплавляют с другими элементами. *Сплавами* называют металлические вещества с характерными свойствами металлов, получаемые при затвердевании жидких расплавов. Сплавы содержат два и более химических элемента.

Металлы, применяемые в строительстве, разделяют на две группы:

1) *черные металлы* – это сплавы железа с углеродом. К ним относятся: сталь, содержащая углерода до 2%, и чугун, содержащий углерода от 2% до 6,67%.

2) *цветные металлы* – все остальные металлы и их сплавы:

- легкие (Al, Mg, Be);
- тяжелые (Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, Sn);
- редкие (Ti, W, Mo, Zr);
- благородные (Au, Pt, Ag).

По химическому составу стали подразделяются на углеродистые и легированные. Углеродистые содержат железо, углерод и примеси (марганец, кремний, серу, фосфор), которые называют нормальными при содержании их в пределах нормы. Легированные, кроме железа, углерода и нормальных примесей, содержат специально вводимые для изменения свойств стали легирующие добавки (никель, хром, титан, вольфрам и т.д.).

Чугуны являются как конструкционным материалом, так и промежуточным продуктом при производстве стали. По составу и применению чугуны подразделяют на передельные (белые), литейные (серые), специальные (ферросплавы).

Характерной особенностью строения металлов является наличие металлической связи между атомами. Металлы и сплавы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение, которое характеризуется определенным, закономерным расположением атомов. Атомы в кристалле металла образуют пространственную кристаллическую решетку, состоящую из

многократно повторяющихся ячеек, имеющих относительно простую форму.

Большинство металлов имеют кубическую объемно-центрированную (ОЦК) и кубическую гранецентрированную (ГЦК) решетку. Имеют ОЦК – хром, ванадий, молибден и др.; ГЦК – алюминий, медь, никель, свинец, золото и серебро.

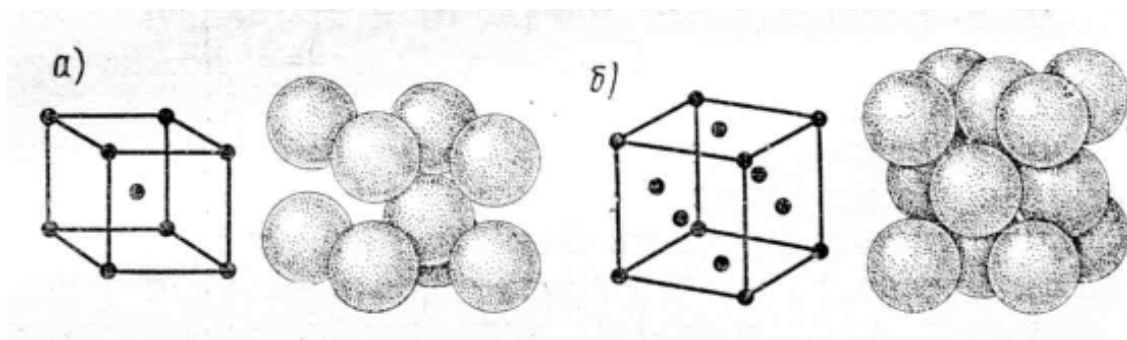


Рис. 6.1. Элементарный кубический кристалл:
а – объемно-центрированный; б – гранецентрированный

Некоторые металлы (железо) могут существовать в нескольких кристаллических формах с различным расположением атомов. Это явление называется аллотропией или полиморфизмом, а само превращение одной решетки в другую – полиморфным превращением.

В зависимости от сродства (взаимодействия) между компонентами, сплавы, в жидком состоянии чаще всего представляющие собой растворы, при затверждении и кристаллизации могут образовывать химическое соединение, твердый раствор и механическую смесь.

Химические соединения получают при строго определенном соотношении компонентов (карбид железа или цементит), они намного тверже компонентов, из которых образовались и имеют новые кристаллические решетки.

Твердые растворы – это сплавы, в которых сохраняется решетка растворителя, а атомы растворенного элемента внедряются в кристаллическую решетку (растворы внедрения) или замещают в ней атомы растворителя (растворы замещения).

Механическая смесь состоит из смеси кристалликов чистых элементов, твердых растворов или химических соединений.

Большинство металлов имеет зернистую структуру. Зерна отличаются неправильной формой (размеры – в десятые доли миллиметр) и представляют собой отдельные кристаллы. При охлаждении металла ниже температуры плавления кристаллические зерна растут, смыкаясь с ближайшими соседями. Структура реальных сплавов отличается от идеального строения кристаллов. В реальном металле имеются нарушения макро- и

микроскопического характера (поры, газовые и неметаллические включения, микротрещины и пр.), а также дефекты кристаллического строения, связанные с нарушением правильного расположения атомов в самой кристаллической решетке. Все нарушения заметно влияют на свойства.

В зависимости от условий применения и назначения металлов для их характеристики определяют следующие свойства:

- ✓ физические – плотность, электро- и теплопроводность и др.;
- ✓ химические – растворимость, коррозионная стойкость;
- ✓ механические – прочность, твердость, упругость, вязкость, пластичность, хрупкость;
- ✓ технологические – ковкость, свариваемость, обрабатываемость.

Основными характеристиками металлов, оказывающими определяющее влияние на эксплуатационные свойства, являются прочность, пластичность, ударная вязкость, температура перехода в хрупкое состояние (порог хладноломкости).

6.2. Строение и свойства металлов

Физико-механические свойства чистых металлов определяются природой атомов, образующих их кристаллическую решетку, и структурой самого металла.

На микро- и макроструктуру металлов существенное влияние оказывают условия их затвердевания и дальнейшего охлаждения. При охлаждении расплава металла до температуры несколько ниже температуры плавления в жидкости возникают отдельные высокодисперсные кристаллические образования, так называемые центры кристаллизации или зародыши. При дальнейшем охлаждении происходит рост кристаллов путем отложения новых кристаллических групп вокруг возникших зародышей.

В условиях несвободной кристаллизации кристаллы получают неправильной формы и называются кристаллитами или зернами. Чем мельче зерна, тем прочнее и пластичнее металл. Величина зерна зависит от числа зародышей и от линейной скорости кристаллизации: чем больше число зародышей и меньше линейная скорость кристаллизации, тем мельче кристаллы.

Оба эти параметра зависят от скорости охлаждения и степени переохлаждения расплава чистого металла. Чем выше скорость охлаждения, тем глубже и степень переохлаждения, что вызывает возрастание числа зародышей и, как следствие, образование более мелких кристаллов.

Температура перехода металла из жидкого состояния в твердое называется первичной температурой кристаллизации. Температура перехода в твердом состоянии из одной кристаллической модификации в другую

(явление аллотропии) называется вторичной температурой кристаллизации или критической.

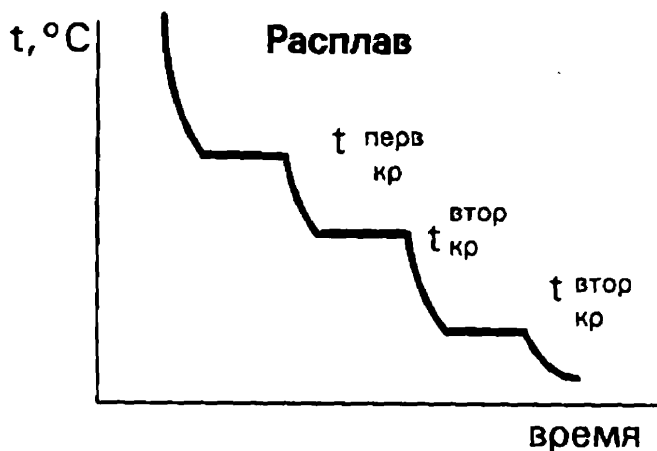


Рис. 6.2. Кривая охлаждения расплава

На кривых охлаждения (рис. 6.2) эти температуры отмечены горизонтальными участками, так как процесс кристаллизации идет с выделением тепла, поэтому в момент аллотропных превращений и первичной кристаллизации понижение температуры в системе не происходит.

Свойства металлов

Физические свойства: цвет, плотность, температура плавления, электро- и теплопроводность, коэффициент температурного расширения.

Цвет металлов серебристо-белый, серебристо-серый с характерным металлическим блеском.

Плотность большинства тяжелых металлов превышает 7000 кг/м^3 , а плотность легких составляет не более 3000 кг/м^3 .

Температура плавления металлов строго определенная, однако меняется при добавлении к нему других металлов. Большинство сплавов на основе железа имеют температуру плавления ниже, чем составляющие его компоненты.

Все металлы хорошо проводят тепло и электричество. При нагревании металлы увеличиваются в размерах, что характеризуется коэффициентами объемного и линейного расширения. Это необходимо учитывать при их эксплуатации.

Механические свойства: прочность, твердость, ударная вязкость, ползучесть.

Прочность – способность металла сопротивляться возникающим внутренним напряжениям под действием внешних сил, вызывающих растяжение, сжатие, изгиб, кручение.

Для большинства металлов универсальным испытанием на прочность является растяжение, но для серого чугуна – на сжатие и изгиб.

При испытании металлов на растяжение различают предел упругости, предел текучести, предел прочности. Основным расчетным показателем для металлических конструкций является предел текучести.

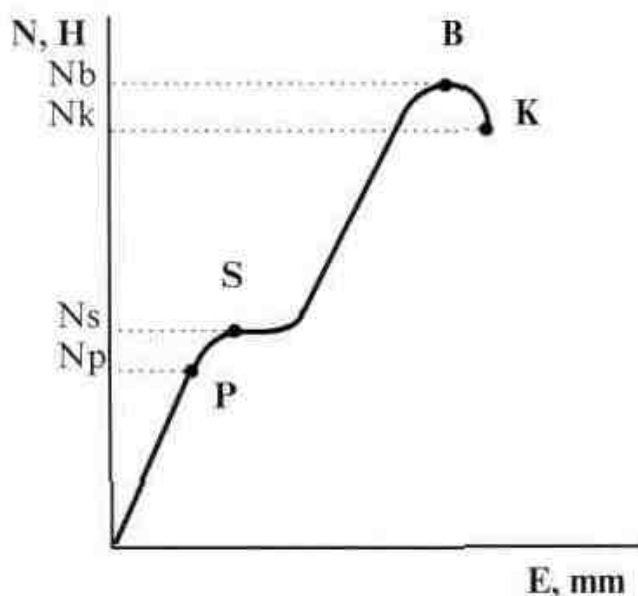


Рис. 6.3. Диаграмма растяжения металлов

$\sigma_p = N_p/F_0$ – предел пропорциональности – то наибольшее напряжение, при котором деформация растет пропорционально нагрузке.

$\sigma_s = N_s/F_s$ – предел текучести – то наименьшее напряжение, при котором деформация растет без заметного увеличения нагрузки.

$\sigma_b = N_b/F_0$ – предел прочности – то напряжение, которое соответствует максимальной нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$\sigma_k = N_k/F_0$ – истинный предел прочности – то напряжение, при котором произошло разрушение образца при концентрации напряжения в одной точке.

F_0 – первоначальное сечение образца, мм².

σ – напряжение, кгс/мм² (Н/м²), 1 кгс/мм² = 10 МПа.

l_0 – длина образца первоначальная, мм.

l_r – длина образца после разрушения, мм.

Δ – абсолютное удлинение образца, равное $\Delta = l_r - l_0$, мм.

E – относительное удлинение образца, равное $E = \Delta/l_0$.

Испытание на изгиб проводится для листового металла толщиной не более 30 мм на прессе для определения его способности принимать заданный по размерам и форме изгиб. При этом на поверхности изгибаемого образца не должны появляться трещины, надрывы, расслоение или излом.

Испытанием на удар определяют хрупкость металла или его способность работать в условиях динамических нагрузок. Чем пластичнее металл, тем лучше он переносит ударные нагрузки. Испытание на удар производят на специальных маятниковых копрах, применяя стандартные образцы с надрезом. Удельная ударная вязкость

$$a_y = A/F,$$

где A – работа, затраченная на разрушение образца, Дж/м²;

F – площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м².

Усталость определяется у металлов, работающих в условиях повторно-переменных растягивающих, изгибающих, крутящих, ударных и других нагрузок.

Ползучесть металлов – это процесс увеличения деформации во времени при постоянном напряжении. Он начинается сразу после возникновения мгновенной деформации. Под действием длительно приложенной нагрузки может развиваться значительная деформация металлической конструкции, а иногда и ее разрушение. Таким образом, ползучесть лимитирует длительность эксплуатации конструкций, работающих под постоянной нагрузкой, особенно в условиях повышенных температур.

Твердость металла (рис. 6.4) определяется противодействием вдавлению в его поверхность твердого стального шарика (метод Бринелля, HB), алмазного конуса (метод Роквелла, HR), алмазной призмы (метод Виккерса, HV).

Чем выше твердость, тем меньше будет величина отпечатка на поверхности металла.

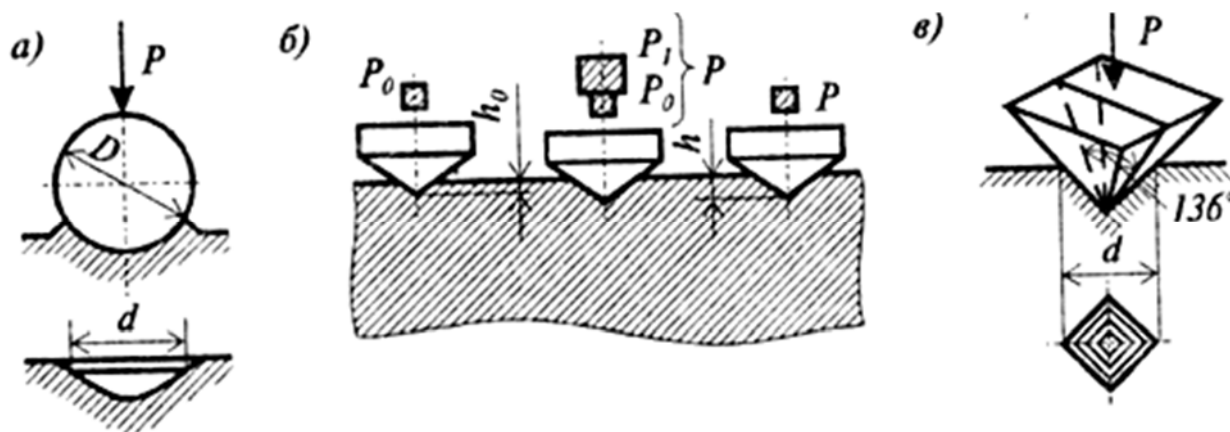


Рис. 6.4. Схема определения твердости:
а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

Числа твердости (НВ, НR, НV) вычисляются по эмпирическим формулам, которые приводятся в справочной литературе.

Так, например, твердость металлов по Бринеллю рассчитывают по формуле

$$HВ = \frac{2m}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где P – нагрузка, Н.

D – диаметр стального шарика, м.

d – диаметр отпечатка, м.

Технологические свойства – это пластичность, определяющая ковку, прокатку, волочение; резанье и сварка, определяющие способность металла подвергаться сварке и резанью; способность подвергаться термической и химико-термической обработке с целью улучшения механических свойств металлических изделий.

6.3. Производство чугуна

Производство чугуна – первичный процесс получения черных металлов из природного сырья. Сырье для производства чугуна: железные руды, флюсы и кокс. Наиболее широко используемые железные руды:

- магнитный железняк (Fe_3O_4),
- красный железняк (Fe_2O_3),
- бурый железняк ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$),
- шпатовый железняк ($FeCO_3$),

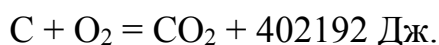
которые содержат 30...70 % железа, пустую породу из различных природных химических соединений (SiO_2 , Al_2O_3 и др.), и вредные примеси (сера, фосфор).

Флюсы – известняк $CaCO_3$ или доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Флюсы вводятся для понижения температуры плавления пустой породы, для ошлаковывания золы топлива и удаления вредных примесей.

Основным способом производства чугуна является доменный процесс, заключающийся в восстановлении железа из руд (оксидов) при высокой температуре. Схема доменной печи представлена на рис.6.6.

Руду, кокс и флюсы загружают чередующимися слоями.

Кокс в доменном процессе выполняет роль топлива и восстановителя железа. При его горении выделяется большое количество тепла



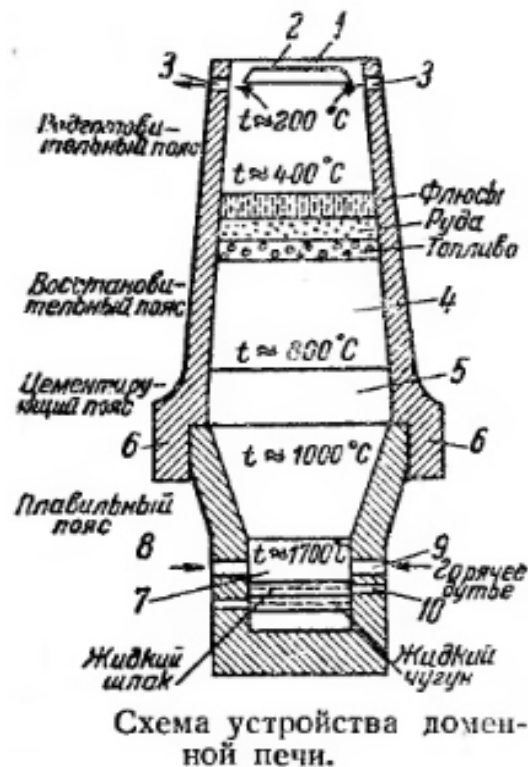


Рис. 6.6. Схема доменной печи

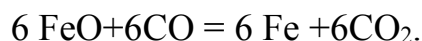
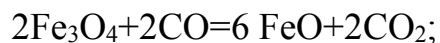
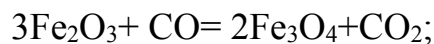
При последующем продвижении в домне снизу вверх CO_2 встречается с кусками раскаленного кокса и восстанавливается его углеродом по реакции



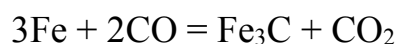
Эта реакция идет с поглощением теплоты.

Максимальная температура доменного процесса составляет 1900°C .

Восстановление железа в домне идет по схеме $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ с образованием губчатого железа. Этот процесс может быть представлен следующими реакциями:

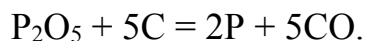
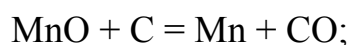
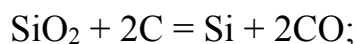


В поры губчатого железа проникает углерод, и железо науглероживается (до 3,5...4%) по реакции



Далее науглероженный металл расплавляется и стекает в горн доменной печи, при этом происходит его дальнейшее насыщение углеродом за счет соприкосновения с раскаленным коксом.

При доменной плавке восстанавливаются также и другие элементы, находящиеся в руде, по следующим реакциям:



Эти элементы, а также часть серы в виде FeS, переходят в чугун.

Продукты доменного производства: чугун, накапливающийся в нижней части горна, огненно-жидкие шлаки, как более легкие, собирающиеся поверх чугуна, и доменный газ, выходящий из верхней части домны.

Доменный газ – топливо для нужд металлургической промышленности.

Доменные шлаки – ценное сырье в промышленности стройматериалов; их используют для производства шлаковой ваты, шлаковой пемзы, шлако-портландцемента, заполнителей для легких бетонов, шлакоситаллов и т.п.

Чугун – передельный, литейный и ферросплавы.

Передельный чугун составляет 80...90% всей выплавки, цвет его белый, так как весь углерод связан с железом в Fe₃C, идет на переделку в сталь. Из белого чугуна, кроме того, получают ковкий чугун путем длительного отжига при высоких температурах, что вызывает частичный распад карбида железа. Ковкий чугун более прочен и пластичен, легче обрабатывается.

Литейный чугун – цвет серый (СЧ) за счет свободного углерода, который в виде графитовых пластин перерезает его металлическую основу. Применяется для конструкций, работающих на сжатие, для санитарно-технических и архитектурно-художественных изделий, плит для пола и др.

Ферросплавы – специальные чугуны, в которых содержание углерода может достигать 5% и более. Кроме того, они содержат повышенное количество кремния и марганца:

✓ ферросилиций – Si – 9...13%;

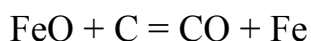
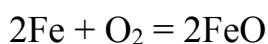
✓ ферромарганец – Mn – 10...25% или 70...75%.

Применяют их для раскисления и легирования стали.

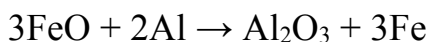
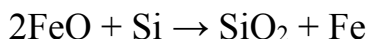
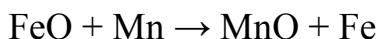
6.4. Производство стали

Сталь получают из передельного чугуна, содержащего до 4% углерода, 1% марганца, до 1,3% кремния, десятые доли процента серы и фосфора.

Сущность процесса сталеварения заключается в окислении излишнего содержания углерода и примесей, содержащихся в чугуне, кислородом воздуха и кислородом руды. Этому процессу способствует образующаяся в начале плавки закись железа:



Так как излишнее содержание закиси железа вызывает хрупкость стали, производят раскисление жидкого металла путем ввода ферросплавов по следующей схеме:



Образовавшиеся оксиды всплывают и удаляются вместе со шлаком.

В зависимости от полноты проведения процесса раскисления различают спокойную, полуспокойную и кипящую сталь. Спокойная сталь (сп), в которой нет закиси железа, наиболее качественная и дорогая. Кипящая сталь (кп), в которой процесс раскисления прошел не до конца, и в ней имеются пузырьки газа CO , при разливке в изложницы «кипит». Она дешевле спокойной стали, но качество ее ниже, хотя она сваривается и удовлетворительно обрабатывается, но при температуре -10°C она становится хрупкой. Полуспокойная сталь (пс) по своим свойствам занимает промежуточное положение между двумя первыми.

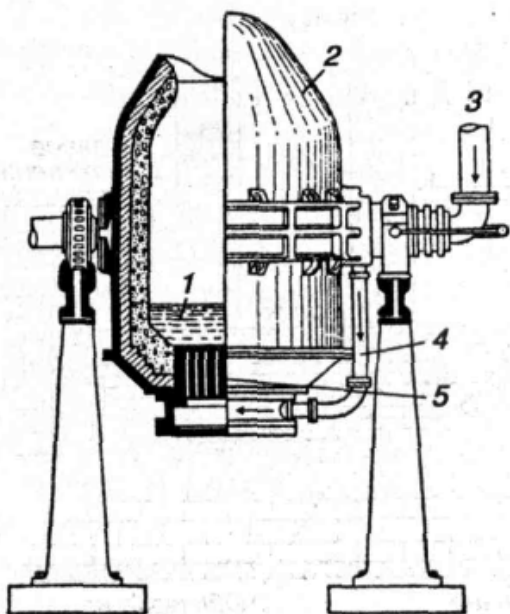


Рис. 6.7. Конвертор для выплавки стали из чугуна:
1 – чугун; 2 – набойка; 3 – воздух;
4 – дутье; 5 – фурмы для подачи воздуха в металл

Современные способы производства стали: конверторный, мартеновский и электроплавильный.

При конверторном Бессемеровском способе жидкий чугун заливают в конвертор и продувают горячим воздухом, при этом выгорают и удаляются со шлаком C , Mn , Si , а S и P остаются в стали. При Томасовском конверторном процессе перед заливкой чугуна в конвертор подают свежееобожженную известь. При этом образующиеся основные шлаки удерживают вредные примеси (S и P).

Процесс конверторной варки стали очень экономичен, так как не требует дополнительного подвода тепла (необходимая для нагрева стали теплота выделяется в результате химических реакций окисления углерода и примесей чугуна), а время варки составляет 20...30 мин, однако невозможно получить сталь точного химического состава.

Кислородно-конверторный способ производства стали – наиболее перспективный. В нем дополнительно используется продувка кислородом,

что позволяет довести качество конверторных сталей до уровня сталей, выплавляемых в мартенах и электропечах.

При мартеновском способе варки стали различают:

– скрап-процесс, при котором сырьем служит смесь чушкового чугуна и скрапа (стального лома);

– рудный процесс, при котором используют в качестве шихты смесь жидкого чугуна, железной руды и отходов металлургической промышленности;

– скрапно-рудный процесс, при котором шихта состоит из руды, жидкого чугуна и скрапа в равных соотношениях.

Варка в мартеновских печах продолжается 4...8 часов при использовании топлива с систематическим отбором проб стали на химический анализ. Мартеновские стали получают точного химического состава, качество их выше конверторных. Недостатком мартеновских печей является периодичность процесса, сложность оборудования, высокая стоимость стали.

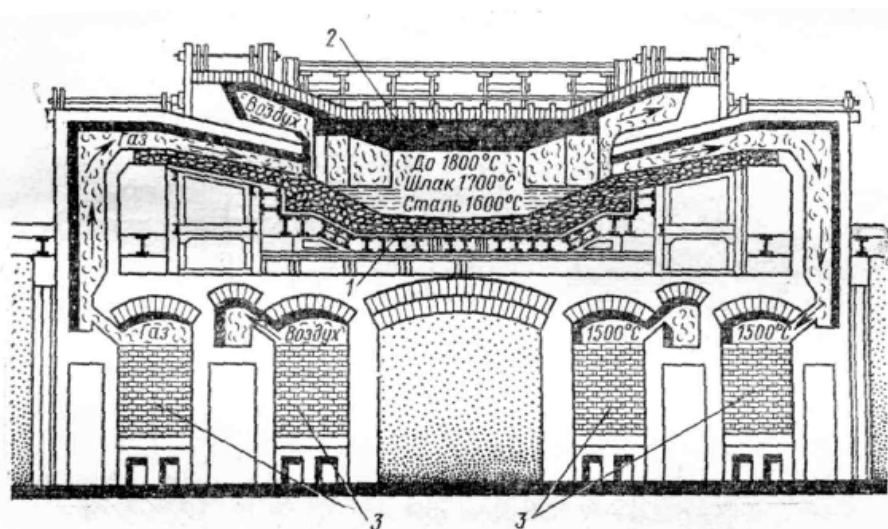


Рис. 6.8. Схема мартеновской печи:
1 – под; 2 – свод; 3 – регенераторы

Наиболее совершенным способом производства стали является электроплавильный способ. В электрических печах получают высококачественные и легированные стали. Однако производство это достаточно дорогое.

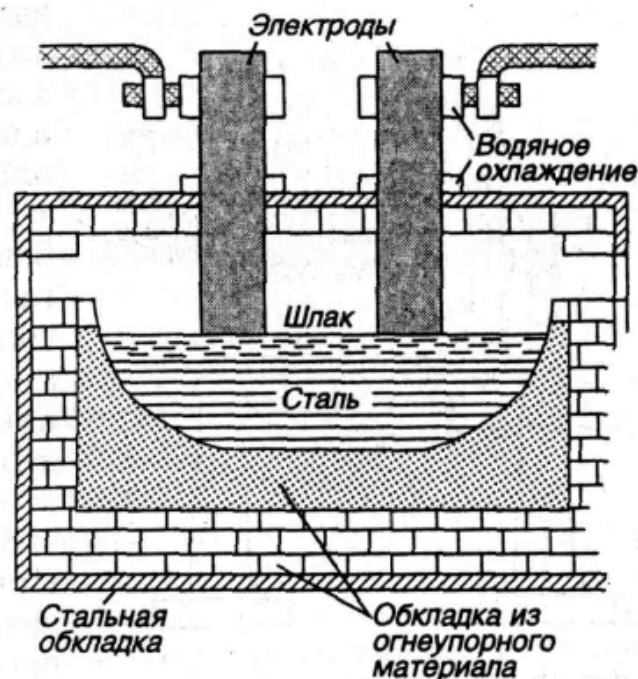


Рис. 6.9. Схема электрической печи для выплавки специальных сталей

Влияние нормальных примесей на механические свойства стали

В состав сталей в силу условий их получения всегда входят так называемые нормальные примеси – Si, Mn, S, P, O₂.

Содержание кремния до 0,35% и марганца до 0,9% на прочность стали не влияет.

Фосфор – вредная примесь, допустимое содержание его не более 0,055%, так как он способствует росту зерен, что уменьшает пластичность и увеличивает хрупкость металла.

Сера – вредная примесь, допустимое содержание ее не более 0,055%. В стали сера находится в виде сернистого железа FeS, которое образует на зернах металла хрупкие оболочки. При нагревании стали до красного каления оболочки частично расплавляются, вызывая красноломкость стали. Такая сталь непригодна для прокатки,ковки, сварки.

Кислород – вредная примесь, в металле находится в виде закиси железа FeO, которая образует легкоплавкие оболочки вокруг зерен стали. Кислород обуславливает красноломкость и хладноломкость (резкое повышение хрупкости стали при отрицательных температурах), понижение пластичности и ухудшение свариваемости стали. При содержании O₂ > 0,03% происходит хладноломкость стали, при содержании O₂ > 0,1% – красноломкость.

Классификация сталей

По химическому составу стали делятся на углеродистые и легированные.

Углеродистые стали классифицируют:

- ✓ по степени раскисления – на кп, пс и сп;
- ✓ по применению – на конструкционные, содержащие углерода $C < 0,65\%$; инструментальные, содержащие углерода $C = 0,65...1,5\%$;
- ✓ по качеству – на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные;
- ✓ в зависимости от гарантируемых характеристик – на следующие группы:

группу А, поставляемую по механическим свойствам,
группу Б, поставляемую по химическому составу,
группу В, поставляемую по механическим свойствам и химическому составу.

Стали каждой группы делятся на марки.

Марка стали – это класс стали по прочности, устанавливаемый по пределу текучести, пределу прочности и величине относительной деформации.

Сталь группы А имеет марки Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6, Ст7.

Сталь группы Б имеет те же марки, что и сталь группы А, но перед маркой ставится буква Б (БСт0, БСт1 и т.д.).

Сталь группы В имеет марки ВСт2, ВСт3, ВСт4 и ВСт5.

По мере увеличения номера стали повышаются содержание углерода, а также прочность, твердость и износостойчивость, но понижаются пластичность и ударная вязкость, ухудшается свариваемость.

Маркировка углеродистых сталей.

1) Углеродистая сталь обыкновенного качества. В ее маркировке указаны способ выплавки, марка стали и степень раскисления.

Например: КСт3кп – конверторная сталь марки 3, кипящая,

МСт2пс – мартеновская сталь марки 2, спокойная.

2) Углеродистая конструкционная качественная сталь. В ее маркировке указаны среднее содержание углерода в сотых долях процента от 08 до 80 и степень раскисления. Например:

08КП – кипящая сталь с содержанием углерода 0,08%,

10ПС – полуспокойная сталь с содержанием углерода 0,1%.

Поставляется она по химическому составу и механическим свойствам и выплавляется в кислородных конверторах и мартенах.

3) Углеродистая инструментальная качественная сталь. В ее маркировке цифры обозначают среднее содержание углерода в десятых долях процента от 7 до 13. Например, У7 – инструментальная качественная сталь с содержанием углерода 0,7%.

4) Углеродистая инструментальная высококачественная сталь маркируется так же, только добавляется буква А. Например: У7А, У8А и т.д.

В строительстве инструментальная сталь применяется с обязательной термической обработкой.

Применение углеродистых сталей. В строительстве сталь используют для изготовления несущих конструкций, армирования железобетона, устройства кровли, форм железобетонных изделий и т.д. Правильный выбор марки стали обеспечивает экономичный расход металла и успешную работу конструкции.

Для изготовления несущих сварных и клепаных конструкций рекомендуются стали обыкновенного качества группы В следующих марок: ВМСт3кп, ВМСт3пс, ВМСт3сп и ВКСт3кп, ВКСт3пс, ВКСт3сп.

Для конструкций, не имеющих сварных соединений, и для сварных конструкций, воспринимающих лишь статические нагрузки, рекомендуются стали следующих марок: ВМСт4кп, ВМСт4пс, ВМСт4сп и ВМСт5кп, ВМСт5сп, ВМСт5пс и кислородно-конверторные стали тех же марок.

Для изготовления арматуры используются углеродистые стали марок Ст3 и Ст5 мартеновские и конверторные.

Для изготовления болтов и шурупов применяются ст4 и ст5. Для изготовления осей, валов и других деталей машин – ст6.

Легированные стали – это стали, в состав которых специально вводят один или несколько легирующих элементов для улучшения их физико-механических свойств.

Легирующие элементы делятся на две группы: группу никеля, расширяющую область существования γ -Fe, – это Ni, Co, Mn, и группу хрома, сужающую область существования γ -Fe, – это Cr, Al, Zn, Si, W, Ti, Mo.

При большом содержании никеля легированный аустенит сохраняется в сталях до комнатных температур. При большом содержании хрома сталь состоит только из легированного феррита, а γ -Fe вообще не образуется.

По структуре легированные стали делятся на классы:

Перлитный класс – стали при охлаждении на воздухе приобретают структуру, близкую к равновесной. Это строительные и машиностроительные стали.

Аустенитный класс – стали при охлаждении на воздухе приобретают аустенитную структуру. Это жаропрочные, жаростойкие, кислотоупорные и нержавеющие стали.

Ферритный класс – стали сохраняют ферритную структуру при любой скорости охлаждения. Они не воспринимают закалку. Это жаропрочные, жаростойкие и специальные магнитные стали.

Карбидный класс – стали сохраняют твердость и режущую способность при повышенных температурах.

По назначению легированные стали делятся на:

– конструкционные (строительные и машиностроительные),

- инструментальные (изготовление режущего инструмента),
- стали с особыми физико-механическими свойствами.

По содержанию легирующих элементов стали бывают:

- низколегированные (легирующих элементов до 2,5%),
- среднелегированные (легирующих элементов 2,5...10%),
- высоколегированные (легирующих элементов более 10%).

Маркировка легированных сталей

Марка легированных сталей содержит информацию о среднем содержании входящих в нее легирующих элементов в процентах и среднем содержании углерода в сотых долях процента. Например, марка легированной стали 35ХНЗМ означает, что сталь содержит 0,35% углерода, по 1% хрома (Х) и молибдена (М) и 3% никеля (Н).

Обозначение легирующих элементов: Г – марганец, С – кремний, Д – медь, Х – хром, Н – никель, Ц – циркон, Т – титан, Ю – алюминий и т.д.

Применение легированных сталей

Низколегированные стали обладают по сравнению с обычной углеродистой сталью рядом преимуществ. Их предел текучести превышает на 30% и более предел текучести обычной Ст3. Они высокопластичны, меньше склонны к хладноломкости (критические температуры перехода низколегированных сталей в хрупкое состояние лежат ниже минус 40°С, а у отдельных марок ниже -60°С), хорошо свариваются. Для их сварки не требуется ни предварительного разогрева, ни последующей термической обработки для снижения напряжений. Коррозионная стойкость их в 1,5 раза выше коррозионной стойкости стали марки Ст3.

Для сварных и клепаных несущих конструкций рекомендуются низколегированные конструкционные стали марок 14Г2, 15ГС, 10Г2С, 10Г2СД и природно-легированные стали марок 10ХСНД и 15ХСНД.

Для обычной арматурной проволоки – сталь марок 25Г2С, 35ГС и др.

Для предварительно напряженной арматуры – сталь марок 30ХГ2С, 20ХГСТ, 20ХГ2Ц и др.

Жаростойкие высоколегированные стали длительное время выдерживают действие высоких температур без образования на них окалины. Легирующие элементы группы хрома образуют тонкие окисные пленки на поверхности стали, защищая основной металл от окисления газами при повышенных температурах. Однако они не должны испытывать при этом механических нагрузок.

Жаропрочные стали имеют высокую окалиностойкость и сохраняют, кроме того, свои механические свойства при высоких температурах. Это обычно высоколегированные хромоникелевые стали.

6.5. Состав и свойства железоуглеродистых сплавов

1) Аллотропные превращения чистого железа. Железо имеет четыре аллотропные формы: α -Fe, β -Fe, γ -Fe и δ -Fe. Практическое значение имеют только α -Fe и γ -Fe, так как β -Fe и δ -Fe отличаются от α -Fe только величиной межатомного расстояния в кристаллической решетке объемно-центрированного куба, а для β -Fe характерно еще отсутствие магнитных свойств.

Аллотропные превращения железа видны на его кривой охлаждения (рис. 6.10).

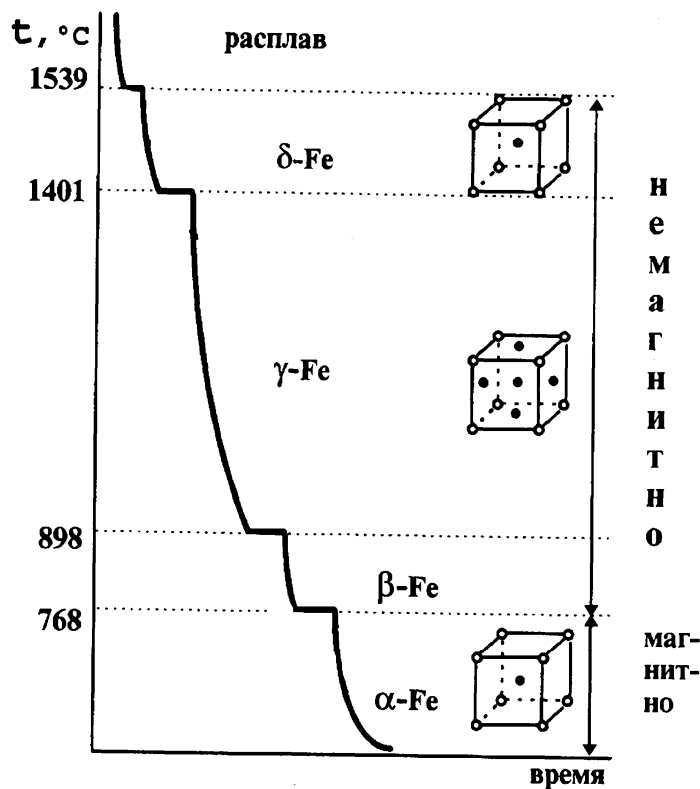


Рис. 6.10. Кривая охлаждения железа

Свойства γ -Fe и α -Fe значительно различаются: γ -Fe немагнитно, хорошо растворяет углерод и образует с ним твердый раствор переменного состава – аустенит; α -Fe обладает магнитными свойствами, в 100 раз хуже растворяет углерод, образуя с ним твердый раствор – феррит.

2) Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.

Аустенит – твердый раствор углерода в γ -Fe. Атомы углерода внедряются в кристаллическую решетку γ -Fe, причем насыщение может быть различным в зависимости от температуры; максимальное содержание углерода 2,14%. Область существования аустенита 1392...723 $^\circ\text{C}$, твердость его HB = 170...200, магнитными свойствами не обладает.

Феррит – твердый раствор углерода в α -Fe переменного состава, максимальное содержание углерода 0,02 %, область существования с 910°С. Феррит мягкий, пластичный, сильномагнитный, хорошо проводит тепло и электричество, при отсутствии примесей не корродирует. Твердость феррита НВ = 60...80.

Цементит – карбид железа (Fe_3C), химическое соединение, содержащее 6,67% углерода. Имеет металлический блеск, слабомагнитен, плохо проводит электрический ток и тепло, очень твердый (НВ = 800) и хрупкий, неустойчив, распадается при термической обработке.

Перлит – механическая смесь феррита и цементита, эвтектоид, образуется при 723°С и содержании углерода 0,83% в результате распада аустенита. Твердость перлита НВ = 160...260.

Диаграмма состояния системы «железо – цементит»

Существует две диаграммы состояния железоуглеродистых сплавов: метастабильная, характеризующая превращения в системе Fe– Fe_3C , и стабильная, характеризующая превращения в системе Fe–C. На рис. 6.11 сплошными линиями показана метастабильная диаграмма, пунктирными – стабильная.

Все линии на диаграмме соответствуют критическим точкам, т.е. тем температурам, при которых происходят структурные изменения в сплавах. Критические точки для стали впервые открыл русский ученый-металлург Д.К. Чернов.

Линия АСD – линия начала кристаллизации сплава (линия ликвидуса), выше этой линии все железоуглеродистые сплавы находятся в жидком состоянии.

Линия АЕСF – линия конца кристаллизации сплава (линия солидуса). Только чистые металлы и эвтектика плавятся и затвердевают при постоянной температуре. Затвердевание всех остальных сплавов происходит постепенно, причем из жидкого сплава сначала выделяется избыточный по отношению к составу эвтектики компонент.

Область AESG – соответствует области аустенита.

Линия GS – начало выделения феррита.

Линия SE – начало выделения вторичного цементита.

Линия PSK – соответствует окончательному распаду аустенита и выделению перлита. При достижении температуры 727°С состав аустенита для всех сплавов, содержащих углерода более 0,025%, будет соответствовать точке *S* (0,8%С). При этой температуре аустенит превращается в эвтектоидную механическую смесь, содержащую то же количество углерода, что и аустенит, то есть 0,8%, и состоящую из феррита состава, соответствующего точке *P* (0,025%С), и цементита. Такая смесь называется перлитом.

Образование перлита происходит по линии PSK при строго определенной постоянной температуре (727°C) и обозначается A_1 .

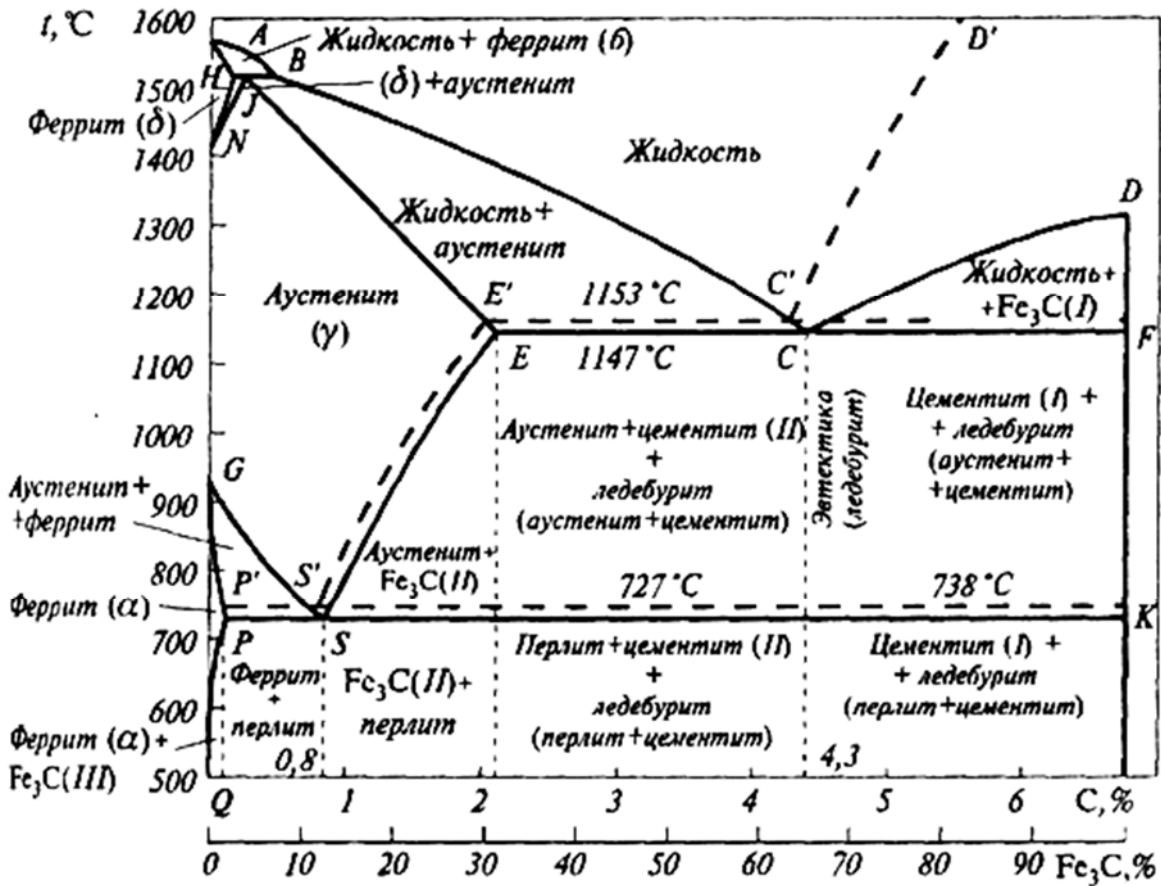


Рис. 6.11. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов

Из диаграммы видно, что структура сплавов, расположенных левее точки S , ниже температуры эвтектоидного превращения (A_1), состоит из перлита и феррита.

Количество феррита увеличивается с уменьшением углерода в сплаве, и при содержании углерода $0,025\%$ и менее (точка P) структура сплава будет состоять из одного феррита. Структура сплава, содержащего $0,8\%$ углерода, при температуре ниже 727°C представляет собой один перлит. С увеличением содержания углерода количество цементита растет. Структура сплавов, расположенных правее точки S , будет состоять из: вторичного цементита и перлита (от $0,8$ до $2,14\%$ C); перлита, вторичного цементита и ледебурита (от $2,14$ до $4,3\%$ C); ледебурита ($4,3\%$ C); первичного цементита и ледебурита (от $4,3$ до $6,67\%$ C). Вторичный цементит для сплавов, содержащих углерода $4,3\%$ и более, входит в состав ледебурита и не является самостоятельной структурой.

В области ниже линии PSK никаких изменений структуры не происходит.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие названия:

При содержании углерода:

$C < 0,025\%$ – техническое железо (структура $\Phi + \text{Ц}_{III}$),

$C = 0,025 \dots 0,83\%$ – доэвтектоидные стали (структура $\Phi + \text{П}$),

$C = 0,83\%$ – эвтектоидные стали (структура П),

$C = 0,83 \dots 2,14\%$ – заэвтектоидные стали (структура $\text{П} + \text{Ц}_{II}$),

$C = 2,14 \dots 4,3\%$ – доэвтектические чугуны (структура $\text{П} + \text{Л} + \text{Ц}_{II}$),

$C = 4,3\%$ – эвтектические чугуны (структура Л),

$C = 4,3 \dots 6,67\%$ – заэвтектические чугуны (структура $\text{Л} + \text{Ц}_I$).

6.6. Упрочение стали

Упрочение стали достигается термической обработкой, которая заключается в нагреве стали до определенной температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении по определенному режиму.

1) Структура стали в зависимости от режима охлаждения.

Сталь при разных режимах охлаждения может приобрести структуру мартенсита, троостита, сорбита или перлита.

Мартенсит образуется при резком охлаждении стали и представляет собой пересыщенный раствор углерода в α - Fe с искаженной кристаллической решеткой. Это объясняется тем, что при резком охлаждении происходит только частичный распад аустенита, заключающийся в перестройке кристаллической решетки из гранецентрированной в объемно-центрированную, однако углерод выделиться не успевает. Мартенсит наиболее неустойчивая и в то же время наиболее твердая и хрупкая структура стали.

Троостит образуется при менее быстром охлаждении стали, распад аустенита происходит полнее, и структура стали представляет собой высокодисперсную смесь феррита и цементита. Углерод, выделяющийся из решетки α - Fe, образует цементит Fe_3C с величиной зерна $10^{-10} \dots 10^{-9}$ м.

Сорбит образуется при средних скоростях охлаждения. Структура стали представляет собой уже грубодисперсную смесь феррита и цементита (диаметр зерен цементита $10^{-8} \dots 10^{-7}$ м).

Перлит образуется при очень медленном охлаждении в результате полного распада аустенита. Перлит – это равновесная структура стали, представляющая собой грубодисперсную смесь феррита и цементита (диаметр зерна цементита 10^{-6} м).

При переходе от мартенсита к перлиту уменьшаются твердость и хрупкость, повышаются прочность и пластичность.

2) Виды термической обработки стали.

Закалка – нагрев стали до состояния аустенита, выдержка и быстрое охлаждение. При охлаждении в холодной воде получается мартенсит, в

горячей воде – троостит, в расплавленном свинце – сорбит. Цель – понижение хрупкости и повышение прочности стали.

Отпуск – нагрев стали до 600°C, выдержка и охлаждение. Цель – понижение внутренних напряжений закаленной на мартенсит стали, снижение ее твердости и хрупкости.

Отжиг – нагрев стали до состояния аустенита, выдержка и охлаждение вместе с печью. Структура металла становится мелкокристаллической, возрастает пластичность. Цель – понижение твердости стали для повышения обрабатываемости режущим инструментом.

Нормализация – нагрев стали до состояния аустенита, выдержка и охлаждение на воздухе. Цель – получение стали с высокой пластичностью и ударной вязкостью при повышенной прочности.

Термомеханическая обработка – горячая или теплая деформация изделия, нагретого до состояния аустенита с последующим регламентированным охлаждением. Цель – получение закаленной на мартенсит стали с мелкодисперсной структурой повышенной плотности, которая обуславливает высокие механические свойства металла.

Степень достижения цели термической обработки определяется температурой нагрева, временем выдержки при этой температуре и режимом охлаждения.

3) Химико-термическая обработка стали.

Химико-термическая обработка стали проводится с целью упрочения ее поверхностных слоев (повышение твердости, износостойкости и т.п.). Она заключается в изменении химического состава стали на поверхности изделия и последующей термообработке.

Цементация – поверхностное насыщение малоуглеродистой стали углеродом с целью получения твердой поверхности и вязкой сердцевины.

Азотирование – поверхностное насыщение стали азотом с целью получения очень высокой твердости, повышенной коррозионной стойкости.

Цианирование – одновременное насыщение поверхности металла азотом и углеродом для повышения износоустойчивости и усталостной прочности.

Диффузионная металлизация – процесс поверхностного насыщения стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование), бором (борирование) и другими элементами. Цель – резкое повышение жаростойкости, износоустойчивости, коррозионной стойкости стали.

6.7. Цветные металлы и сплавы

Алюминий – легкий серебристый металл, обладающий малой плотностью – 2700 кг/м^3 , малой твердостью – $\text{НВ} = 20$, низкой прочностью на растяжение, высокой атмосфероустойчивостью. В строительстве широко применяются сплавы алюминия с легирующими добавками (Mn, Cu, Mg, Si, Fe), повышающими его прочность.

Сплавы алюминия делятся на литейные (силумины) и деформируемые (дюралюмины), идущие на прокатку профилей, листов и т.д. Алюминиевые сплавы приближаются по прочности к основным маркам строительных сталей, но являются легкими и имеют высокую коррозионную стойкость.

Силумины – сплавы алюминия с кремнием (до 14%), обладающие высокой прочностью (предел прочности 200 МПа), твердостью $\text{НВ} = 50\text{...}70$, при достаточно высокой пластичности. Силумины характеризуются высокими литьевыми качествами.

Дюралюмины – сложные сплавы алюминия с медью, кремнием, марганцем, магнием и др. Предел прочности дюралюминов после термической обработки составляет $400\text{...}480 \text{ МПа}$.

Применение дюралюминов особенно эффективно для конструкций большепролетных сооружений, в сборно-разборных конструкциях, в сейсмическом строительстве, в конструкциях, работающих в агрессивных средах. Используется он в виде проката – уголков, швеллеров, двутавров, труб круглого и прямоугольного сечения.

Из листов алюминиевых сплавов изготавливают трехслойные навесные панели с заполнением пенопластом. Вводя газообразователь, получают высокоэффективный материал пеноалюминий со средней плотностью $100\text{...}300 \text{ кг/м}^3$.

Дюралюмин как конструкционный материал имеет низкое значение модуля упругости, прочность его понижается при температурах выше 400°C и повышается при отрицательных температурах. Коэффициент линейного расширения у дюралюмина примерно в 2 раза выше, чем у стали, характеризуется пониженной свариваемостью.

Титан обладает высокой коррозионной стойкостью, меньшей по сравнению со сталью плотностью (4500 кг/м^3), высокими прочностными свойствами, повышенной теплостойкостью. На его основе создаются легкие и прочные конструкции, способные работать при повышенных температурах.

Медь – металл красноватого цвета, отличающийся высокой теплопроводностью и стойкостью к атмосферной коррозии. При высокой пластичности обладает невысокой прочностью.

Сплавы на основе меди – это латунь, бронза, баббиты.

Латунь – сплав меди и цинка, бронза – сплав меди и олова. Оба эти сплава прочны, обладают высокими антифрикционными свойствами, поэтому их широко применяют для изготовления кранов и вентиляей.

Баббиты – сплавы меди, свинца и олова, применяются для изготовления подшипников.

Цинк – применяется для кровельных покрытий, карнизов, водосточных труб.

Свинец – используется для особых видов изоляции, для футеровки химических аппаратов.

6.8. Коррозия металлов

Различают два вида коррозии – химическую и электрохимическую.

Химическая коррозия возникает при действии на металл при высоких температурах сухих газов, масел, бензина, керосина, окислителей, кислорода воздуха.

При 200...300°С на стальных изделиях появляется пленка из продуктов коррозии, которая до определенной температуры выполняет роль защитной пленки. Поэтому до 600°С скорость газовой коррозии очень мала, но с ростом температуры защитные действия пленки прекращаются. Чем выше температура, тем быстрее разрушается пленка и ускоряется коррозия.

Однако легированные стали могут нагреваться без признаков коррозии до более высоких температур.

Алюминий при высоких температурах покрывается тонкой защитной пленкой, которая сохраняется до температуры плавления.

Поэтому добавка алюминия повышает химическую стойкость стали.

Медь защитную пленку образует на воздухе при обычных температурах. Добавка к ней алюминия и бериллия делает ее жаростойкой, сопротивляемость меди к окислению резко повышается.

Электрохимическая коррозия возникает при действии на металл растворов кислот и щелочей, в результате чего на корродирующей поверхности металла возникает множество микрогальванических элементов, вырабатывающих электрический ток. При этом металл отдает свои ионы электролиту, а сам постепенно разрушается.

Коррозия может быть местной, когда разрушение металла идет на отдельных участках, равномерной – металл одинаково разрушается по всей поверхности и межкристаллитной – разрушение идет уже по границам зерен.

Способы защиты металла от коррозии

1) Покрытие металла различными красками, лаками, эмалями, полимерными материалами.

2) Легирование стали.

3) Воронение – получение на поверхности металла защитного слоя, состоящего из оксидов данного металла.

4) Покрытие металла пленкой из другого металла, менее подверженного коррозии в данных условиях.

Металлические покрытия наносятся горячим и гальваническим методами и металлизацией. Горячий метод – изделие погружают в ванну с расплавленным защитным металлом, температура плавления которого ниже температуры плавления изделия. Гальванический метод – изделие погружают в солевой раствор в качестве катода, а осаждаемый металл служит анодом; при действии постоянного электрического тока на изделии создается тонкий слой защитного покрытия. Металлизация – покрытие поверхности изделия расплавленным металлом, распыляемым сжатым воздухом.

5) Оксидирование – создание на поверхности металла пассивирующей пленки в кислой или щелочной среде в присутствии сильных окислителей (концентрированная азотная кислота, растворы марганцевой и хромовой кислоты), так называемое катодное окисление.

6) Фосфатирование – получение на изделии поверхностной пленки из нерастворимых солей железа или марганца путем погружения металла в горячие растворы кислых фосфатов железа или марганца.

6.9. Сварка металлов

Сварку металлов классифицируют по виду используемой энергии на газовую и электрическую, по состоянию металла в зоне сварки на пластическую и сварку плавлением.

Газовая сварка заключается в расплавлении металла в месте стыка деталей теплом, получаемым при горении газа или жидкого топлива в смеси с кислородом.

В качестве горючего газа чаще всего применяется смесь ацетилен и кислорода. Для заполнения шва используют сварную проволоку, близкую по составу металлу свариваемым деталям.

Газовая сварка необходима для соединения тонкостенных конструкций из углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и чугуна. В строительстве она имеет ограниченное применение из-за высокой стоимости по сравнению с электросваркой.

Электрическая сварка производится за счет тепла, выделяемого электрическим током; она подразделяется на следующие виды:

– электрическую сварку сопротивлением или контактную сварку (стыковую, точечную и роликовую);

– электродуговую сварку;

– газодуговую сварку.

Электрическая сварка сопротивлением или контактная сварка – это процесс соединения деталей путем нагрева их до пластического состояния с последующим сдавливанием, которое облегчает взаимное проникновение атомов одного металла в другой.

Контактная сварка – один из производительных видов сварки давлением. Процесс сварки можно легко механизировать и автоматизировать, поэтому ее широко применяют в машиностроении и строительстве.

Стыковая сварка сопротивлением заключается в том, что изделие помещают в зажимы машины, прижимают друг к другу, затем включают ток. После нагрева металла в местах контакта происходит сварка.

Стыковая сварка плавлением заключается в том, что расплавление металла в местах контакта происходит при непрерывном сближении торцов свариваемых деталей; после полного сближения осуществляется сварка при их механическом сжатии.

Стыковую сварку используют для продольного соединения деталей арматуры, наращивания стержней, колонн и т.д.

Точечная сварка применяется для соединения деталей внахлестку или в месте их пересечения; их зажимают между двумя электродами, на которые подается ток большой силы. Сварка происходит за доли секунды.

Она используется для изготовления сеток и каркасов арматуры железобетона.

Роликовая сварка применяется для соединения листового металла. От точечной сварки она отличается тем, что стержневые электроды в ней заменены вращающимися роликами, которые захватывают листы и создают непрерывный шов.

Электродуговая сварка осуществляется следующим образом: один провод от источника тока присоединяется к свариваемой детали, второй – к электроду. При замыкании цепи между концом электрода и деталью возникает электрическая дуга, в зоне которой плавятся кромки детали и электрод.

Металл электрода заполняет зазор между деталями, образуя сварной шов, прочность которого зависит от глубины провара.

В зависимости от природы свариваемых деталей электроды применяются графитовые, металлические, чугунные, алюминиевые и др. Электроды покрывают специальной обмазкой, которая повышает устойчивость горения дуги и образует шлаковую защиту шва, предохраняя расплавленный металл от окисления в процессе сварки.

Применяется электродуговая сварка для сварки цветных металлов, для наплавления металлов, для сварки тончайших стальных листов, для сварки чугунов, для сварки конструкций и арматуры.

Газодуговая сварка делится на аргоновую и водородную. В том и другом случае электрическая дуга возбуждается между двумя вольфрамовыми электродами; в первом случае – в защитной среде аргона, во втором – водорода.

При газодуговой сварке обеспечивается получение шва высокого качества. Ее применяют для сварки тонкостенных конструкций из легированных и высоколегированных сталей, окалиностойких магниевых и алюминиевых сплавов и сплавов, обладающих высокой антикоррозионной стойкостью.

При любом виде сварки структура металла в зоне сварки меняется в зависимости от температуры и времени охлаждения. Для получения необходимой структуры пользуются последующей термообработкой (закалка, отпуск, отжиг, нормализация).

Лучше всего свариваются малоуглеродистые стали ($C < 0,2\%$) и стали с большим содержанием углерода ($C > 0,4\%$), а также чугуны, предварительно подогретые для устранения трещин, возникающих рядом со сварным швом. Наличие примесей ухудшает свариваемость металла.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие кристаллические решетки характерны для металлов?
2. Как формируется структура металла при охлаждении?
3. Какие виды деформации испытывает металл при растяжении?
4. Что представляет собой общая классификация металлов?
5. Какое сырье используется для производства чугунов?
6. Какие виды чугунов вы знаете?
7. Охарактеризуйте основные способы производства стали.
8. Приведите классификацию углеродистых сталей и их маркировку.
9. Поясните на кривой охлаждения чистого железа его аллотропные превращения.
10. Охарактеризуйте основные структурные составляющие железоуглеродистых сплавов.
11. Виды термической обработки стали.
12. Какие углеродистые стали применяются для несущих конструкций зданий и сооружений?
13. Что такое легированные стали и как они классифицируются?
14. Какие легированные стали применяются для несущих конструкций зданий и сооружений?
15. Какие существуют виды коррозии металлов?
16. Как можно защитить металл от коррозии?
17. Что такое дюралюмины и где они применяются?
18. Какие существуют виды электрической сварки и где они применяются?

7. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

7.1. Общие сведения

Неорганические вяжущие вещества – основа современного строительства. Они применяются для изготовления бетона и железобетона различного назначения: для несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений, пролетных строений и опор мостов, основания и покрытий автомобильных дорог, гидротехнических сооружений и т.п. Кроме того, портландцемент, гипс, известь применяются для изготовления штукатурных и кладочных растворов, многих других строительных материалов и изделий: асбестоцементных, гипсовых, силикатных.

Одним из первых вяжущих, которым пользовался человек, была необожженная глина. Вследствие слабых вяжущих свойств, а главное, вследствие малой стойкости во влажных условиях необожженная глина перестала соответствовать требованиям строительной техники. За 2500...3000 лет до н.э. были найдены способы изготовления вяжущих веществ, в первую очередь гипса и извести, получаемых обжигом соответствующих горных пород. За 2600 лет до н.э. гипс уже использовался при сооружении пирамид в Египте. Больше применение нашла воздушная известь. Со временем научились придавать гидравлические свойства известковым растворам с помощью таких добавок как обожженная глина и горные породы вулканического происхождения (туфы, пеплы, пемзы) в измельченном виде. Подобные растворы использовали преимущественно в строительстве гидротехнических сооружений. Уже с III в. до н.э. в целях увеличения прочности и долговечности гидротехнических сооружений римляне применяли вулканическую пыль из местечка Пуццуоли – пуццоланы. Сегодня цементы с активными минеральными добавками мы называем пуццолановыми.

Со временем стали получать более эффективные, чем гипс и известь, вяжущие вещества. Обжигом природных мергелей или искусственных смесей, по составу подобных мергелям (известняков с примесью глины), получали гидравлическую известь, романцемент (*римский цемент*). В России в 1807 г. акад. В.М. Севергин дает полное описание свойств вяжущего вещества, получаемого обжигом мергеля с последующим размолом полученного продукта, который по современной терминологии был типичным романцементом.

В 1825 г. в Москве была опубликована книга Егора Челиева. Автор считает необходимыми обжиг смесей при белом калении до частичного расплавления компонентов, а также последующее измельчение полученного продукта и рекомендует при затворении вяжущего водой вводить небольшое количество гипса. Таким образом, основоположником производства портландцемента в нашей стране является Е. Челиев. Своим названием

портландцемент обязан англичанину Джозефу Аспдину, который в 1824 г. получил патент на изготовление вяжущего вещества из смеси известняка с глиной обжигом ее до полного удаления углекислоты, и тем самым считается изобретателем современного портландцемента.

Первый завод по производству портландцемента был пущен в России в 1856 г.; ко времени первой мировой войны в России насчитывалось 60 цементных заводов с годовой производительностью около 1,6 млн. т цемента. В 1881 г. были разработаны первые русские нормы на портландцемент с методами определения его свойств.

В настоящее время выпускаются разнообразные цементы, в том числе портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент, специальные цементы – быстротвердеющий, сульфатостойкий, дорожный и др. Выпускается большое количество высокопрочного портландцемента марок 500...600 и выше. Разработаны составы и технология особобыстротвердеющих цементов, прочность которых через сутки достигает 75...90% 28-суточной прочности.

Высокого уровня достигла также промышленность известковых и гипсовых вяжущих веществ. Развитие промышленности неорганических вяжущих веществ базируется на всесторонних исследованиях, осуществляемых в научно-исследовательских институтах и высших учебных заведениях.

7.2. Классификация вяжущих веществ

Неорганическими вяжущими веществами называются тонкоизмельченные материалы, способные при смешивании с водой (иногда с растворами некоторых солей) образовывать пластичное тесто, которое в результате физико-химических процессов постепенно затвердевает и переходит в камневидное состояние.

Классификация вяжущих веществ:

1) По происхождению:

- неорганические (минеральные);
- органические.

2) По условиям твердения и эксплуатации неорганические вяжущие вещества делятся на следующие группы (табл. 7.1):

- воздушные вяжущие вещества;
- гидравлические вяжущие вещества;
- вяжущие автоклавного типа твердения.

Воздушные вяжущие вещества затвердевают, сохраняют или повышают прочность только на воздухе. В группу воздушных вяжущих входят все гипсовые вяжущие вещества, воздушная известь, магниевые вяжущие вещества, растворимое (жидкое) стекло.

Воздушные вяжущие вещества применяются только в сухих условиях – в надземных сооружениях, не подвергающихся действию воды, например внутри помещения.

Воздушные вяжущие вещества по своему химическому и минералогическому составу – сравнительно простые вещества: они состоят, как правило, из одного соединения. Основой гипсовых вяжущих является сернокислый кальций CaSO_4 или $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$; известковые вяжущие состоят главным образом из оксида кальция CaO и какого-то количества оксида магния MgO ; магнезиальные вяжущие содержат оксид магния MgO ; жидкое стекло – силикат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ или калия $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$.

Гидравлические вяжущие вещества способны затвердевать и повышать прочность не только на воздухе, но и в воде.

Водные или влажные условия твердения являются более благоприятными, а чаще и необходимыми для твердения гидравлических вяжущих.

К этой группе относятся гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности, пуццолановые, шлаковые, расширяющиеся цементы, глиноземистый цемент. Гидравлические вяжущие вещества широко используются в надземных, подземных, подводных и гидротехнических сооружениях.

Гидравлические вяжущие по своему составу – более сложные вещества. Они состоят главным образом из нескольких соединений, содержащих оксиды CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 .

Т а б л и ц а 7 . 1

Классификация вяжущих веществ

Воздушные вяжущие	Гидравлические вяжущие	Вяжущие автоклавного типа твердения и известкосодержащие вяжущие
Строительный гипс Высокопрочный гипс Формовочный гипс Высокообжиговый гипс Ангидритовое вяжущее Воздушная известь Каустический магнезит Каустический доломит Жидкое (растворимое) стекло	Гидравлическая известь Романцемент Портландцемент и все его разновидности Пуццолановый портландцемент Шлакопортландцемент Глиноземистый цемент Расширяющиеся и напрягающие цементы	Известково-кремнеземистое, Известково-пуццолановые, Известково-зольные, Известково-шлаковые

Особую группу составляют известкосодержащие вяжущие и *вяжущие автоклавного твердения*. Они содержат в своем составе известь CaO и тонкоизмельченный кремнезем SiO_2 и твердеют или только в условиях автоклава (давление насыщенного водяного пара 0,8...1,5 МПа и

температура 175...200°C), или в таких условиях, когда значительно интенсифицируется процесс их твердения. В эту группу входят: известково-кремнеземистое вяжущее, известково-пуццолановое вяжущее, известково-золевое вяжущее, известково-шлаковое вяжущее и др.

В строительстве находят применение неорганические вяжущие с добавками полимерных модификаторов (полимерцементы), а также смешанные вяжущие (например гипсоцементно-пуццолановое вяжущее).

7.3. Воздушные вяжущие вещества

7.3.1. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества получают из природного гипсового камня – двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидрита CaSO_4 . Двуводный гипс является мягким минералом, его твердость по шкале Мооса равна 2. Плотность двуводного гипса 2,2...2,4, а ангидрита – 2,9...3,1 г/см³. Растворимость в воде двуводного гипса (в пересчете на CaSO_4) равна 2,05 г в 1 л воды при 20°C; растворимость ангидрита – 1 г/л. Природный гипс (гипсовый камень) содержит некоторое количество примесей глины, песка, известняка, органических веществ и др. Цвет гипсового камня, не содержащего существенного количества примесей, приближается к белому. Примеси придают гипсу различные оттенки. Гипсовый камень широко распространен в природе, ангидрит встречается реже.

В зависимости от вида природного гипсового сырья (гипсовый камень или ангидрит) и температуры обжига получают различные гипсовые вяжущие вещества, значительно отличающиеся одно от другого по своим свойствам.

При обжиге природного гипсового камня при сравнительно небольшой температуре (до 160...170°C) получают низкообжиговые гипсовые вяжущие: *строительный гипс, высокопрочный гипс, формовочный гипс*. При обжиге природного гипсового камня и ангидрита при температуре 800...1000°C получают высокообжиговые гипсовые вяжущие: *высокообжиговый гипс, ангидритовое вяжущее*. Низкообжиговые вяжущие состоят главным образом из полуводного гипса и твердеют быстро, высокообжиговые вяжущие состоят из безводного гипса и твердеют медленно.

Процессы, происходящие при нагревании двуводного гипса.

Гипсовый камень, состоящий из $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, при нагревании сравнительно легко дегидратируется и в зависимости от степени нагревания дает ряд продуктов, значительно различающихся по своим свойствам. Степень обезвоживания гипса зависит от температуры и длительности нагревания, а также от давления водяных паров. Уже при нагревании до 65°C двуводный гипс начинает медленно переходить в полуводный. При 107...115°C двуводный гипс быстро теряет часть воды и превращается в полуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, который известен в двух модификациях: α и β .

Полуводный гипс в виде α -модификации образуется в том случае, когда вода выделяется из двуводрата в жидком состоянии, и в виде β -модификации, когда она выделяется в парообразном состоянии. В производственных условиях полуводный гипс, получаемый в герметически закрывающихся аппаратах (автоклавах) при нагревании гипсового камня в атмосфере насыщенных водяных паров, состоит главным образом из кристаллов α -модификации, а получаемый в аппаратах, сообщающихся с атмосферой (варочных котлах), – β -модификации.

Модификации полуводного гипса различаются размерами и формой кристаллов: α -модификация имеет более крупные кристаллы без пустот и пор; β -модификация – бесформенные кристаллы, в которых много пор. Вследствие этого гипсовое вяжущее α -модификации имеет меньшую водопотребность, а затвердевший гипс из α -полугидрата приобретает повышенную плотность и прочность по сравнению с β -полугидратом.

Полугидраты полностью обезвоживаются:

- α -модификации при 200...210°C;
- β -модификации при 170...180°C.

При дальнейшем нагревании образуется растворимый ангидрит:

- α -растворимый ангидрит при температуре 220...250°C;
- β -растворимый ангидрит при температуре 320...360°C.

Водопотребность растворимых ангидритов на 25...30% выше водопотребности полугидратов. Они быстрее схватываются, а прочность их ниже. Поэтому при обжиге строительного гипса следует избегать нагрева до температуры, при которой возможно образование растворимого ангидрита.

При дальнейшем повышении температуры растворимый ангидрит переходит в нерастворимый, причем в большом интервале температур (450...750°C). Нерастворимый ангидрит трудно растворяется в воде и очень медленно или почти совсем не схватывается.

В температурном интервале 750...1000°C продукт обжига вновь приобретает свойства схватываться и твердеть. При этих температурах CaSO_4 частично разлагается ($\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{SO}_3 + \text{CaO}$), а в составе продукта обжига появляется некоторое количество свободной извести CaO , которая выполняет роль катализатора. При температуре обжига, превышающей 1000°C, получается материал, содержащий больше свободной извести; он схватывается несколько быстрее.

Строительный гипс. Сырьем для получения строительного гипса служит природный гипсовый камень – двуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При нагревании до температуры 140...180°C в открытых печах или котлах двуводный гипс дегидратируется, переходя в полуводный β – модификации:



Выделяющаяся вода испаряется. При повышении температуры выше 180°C происходит постепенная полная дегидратация полуводного гипса, что

ухудшает его свойства. При низкой температуре обжига (до 100°C) двухводный гипс дегидратируется очень медленно, в полученном продукте могут остаться не дегидратированные частицы гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, которые не растворяются в воде и не обладают вяжущими свойствами.

Производство строительного гипса состоит из следующих процессов:

- 1 – дробление сырья до кусков размером 1...2 см и подсушка;
- 2 – обжиг при температуре 140...180°C в течение 2...4 ч;
- 3 – помол обожженного гипса в порошок.

Получение строительного гипса может также происходить по следующей схеме:

- 1 – дробление сырья до кусков размером 4...5 см и подсушка;
- 2 – помол гипсового сырья до порошкообразного состояния;
- 3 – обжиг при температуре 140...180°C.

Выбор той или иной схемы производства гипса зависит от масштабов производства, свойств сырья, требуемого качества готовой продукции и др.

Все гипсовые вяжущие вещества по степени измельчения делятся на три вида: грубого, среднего и тонкого помола. Степень измельчения (помола) определяется просеиванием навески гипса через сито №02 (размер ячейки сита в свету 0,2 мм). Остаток на сите для каждого вида должен быть не больше величин, указанных в табл. 7.2.

Т а б л и ц а 7.2

Технические требования к строительному гипсу по степени помола

Вид вяжущего (гипс)	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите №02, %, не более
Грубого помола	I	22
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

От тонкости помола зависят такие свойства, как количество воды для нормальной густоты теста, сроки схватывания, прочность затвердевшего гипсового камня.

Гипсовые вяжущие относительно быстро схватываются и твердеют. По срокам схватывания различают следующие виды гипсовых вяжущих (табл. 7.3).

Т а б л и ц а 7.3

Технические требования к строительному гипсу по срокам твердения

Вид вяжущего	Индекс сроков схватывания	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	A	2	16
Нормальнотвердеющий	B	6	30
Медленнотвердеющий	B	20	Не нормируется

Для замедления схватывания в воду затворения добавляют животный клей или сульфитно-дрожжевую бражку – ЛСТ (0,1...0,3% от массы гипса). Эти вещества, адсорбируясь на зернах полуводного гипса, уменьшают его растворимость, поэтому процесс схватывания гипсового теста замедляется. При необходимости ускорить схватывание гипса добавляют вещества (0,2...3% от массы гипса), одни из которых повышают растворимость полуводного гипса (поваренная соль, сульфат натрия и др.), другие (двуводный гипс) образуют центры кристаллизации, вокруг которых быстро закристаллизовывается вся масса.

Механизм твердения строительного гипса представляется следующим образом. При затворении полугидрата водой он начинает растворяться (растворимость $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ в воде очень высокая – 8 г/л). В это же время в растворе происходит гидратация полуводного гипса с превращением его в двуводный $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5 \text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + Q$ (19,3 кДж/моль). Этот процесс происходит очень быстро: скорость гидратации β -полугидрата 2...7 мин. Растворимость образующегося двуводного гипса значительно меньше растворимости полуводного – 2 г/л, и раствор становится по отношению к нему пересыщенным. Поэтому двуводный гипс будет выделяться из раствора, образуя вместе с водой коллоидную гелеобразную массу. Количество образующихся кристаллов двуводного гипса увеличивается, они располагаются в разных направлениях, переплетаются между собой, образуют кристаллический сросток. Кристаллизация обуславливает твердение и нарастание прочности гипсового камня.

Таким образом, условно твердение гипса можно разделить на три периода:

- 1 – растворение полугидрата и образование двуводного гипса;
- 2 – образование геля, приводящего к схватыванию гипсового теста;
- 3 – кристаллизация и твердение гипсового камня.

Кристаллизация гипсового камня заканчивается примерно через 1,5 часа. Поэтому прочность гипса по стандарту определяется через 2 ч с момента изготовления образцов.

Строительный гипс по прочности относится к маркам Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25 (табл. 7. 4).

Т а б л и ц а 7 . 4

Технические требования к строительному гипсу по прочности

Марки вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размером 4×4×16 см в возрасте двух часов, МПа (кгс/см ²), не менее	
	при сжатии	при изгибе
1	2	3
Г-2	2(20)	1,2 (12)
Г-3	3(30)	1,8 (18)
Г-4	4(40)	2,0 (20)

Окончание табл. 7.4

1	2	3
Г-5	5(50)	2,5 (25)
Г-6	6(60)	3,0 (30)
Г-7	7(70)	3,5 (35)
Г-10	10(100)	4,5 (45)
Г-13	13(130)	5,5 (55)
Г-16	16(160)	6,0 (60)
Г-19	19(190)	6,5 (65)
Г-22	22(220)	7,0 (70)
Г-25	25(250)	8,0 (80)

После 2 ч твердения прочность строительного гипса увеличивается, но не за счет химических процессов, а за счет испарения лишней, не вступившей в реакцию воды. Для химических процессов требуется только 18,6% воды от массы гипса, а добавляется в гипс при приготовлении теста 45...65% для обеспечения требуемой консистенции.

Особенностью полуводного гипса по сравнению с другими вяжущими является его способность при твердении увеличиваться в объеме (до 1%). Так как увеличение объема происходит в еще окончательно не схватившейся массе, то она хорошо уплотняется и заполняет форму. Это позволяет широко применять гипс для отливки художественных изделий сложной формы.

Важнейшими недостатками затвердевших гипсовых вяжущих являются значительные деформации под нагрузкой (ползучесть) и низкая водостойкость. Для повышения водостойкости гипсовых изделий при изготовлении вводят гидрофобные добавки, молотый доменный гранулированный шлак, а также водоотталкивающие составы.

Гипсовые вяжущие применяют для производства гипсовой сухой штукатурки, перегородочных плит и панелей, архитектурных, звукопоглощающих и других изделий, а также строительных растворов для внутренних частей зданий.

Высокопрочный гипс. Высокопрочный гипс получается так же, как и строительный гипс, из природного гипсового камня. Но нагревание природного гипса ведется в герметически закрытых аппаратах под давлением водяного пара до 1,5 атм при температуре 124°C. При таких условиях термообработки получают крупные кристаллы полуводного гипса α -модификации. Необходимое давление водяного пара может создаваться двумя способами. При первом способе гипсовый камень загружается в запарочные аппараты, куда извне подается насыщенный пар. После обработки водяным паром полученный гипс следует высушить. При втором способе получение высокопрочного гипса происходит по методу

самозапаривания. Гипсовый щебень помещают в герметически закрывающийся аппарат и нагревают его до температуры 125°C. Выделяющаяся при дегидратации двуводного гипса вода в виде пара создает необходимое давление. Высокопрочный гипс требует меньше воды для получения теста нормальной густоты – 35...45%. В результате при твердении образуется гипсовый камень с меньшей пористостью и, следовательно, большей прочностью. Он относится к нормальнотвердеющим гипсовым вяжущим (индекс Б). Прочность такого гипса соответствует маркам Г-13...Г-25. Высокопрочный гипс выпускается в меньшем количестве, чем строительный гипс. Из него изготавливают элементы стен и перегородок, архитектурные изделия; он используется главным образом для изготовления различных форм и моделей.

Ангидритовое вяжущее (ангидритовый цемент) получается путем обжига природного двуводного гипса при температуре 600...700°C, который при этом полностью дегидратируется и переходит в ангидрит CaSO_4 (нерастворимый, который сам по себе при затворении водой не схватывается и не твердеет). Полученный продукт измельчают в тонкий порошок совместно с различными активизаторами твердения. В качестве активизаторов применяют гашеную или негашеную известь (2...5%), основной гранулированный доменный шлак (10...15%), обожженный при температуре 800...900°C доломит (3...8%), растворимые сульфаты некоторых металлов: Na_2SO_4 (6%), K_2SO_4 (2%). Количество воды, необходимое для теста нормальной густоты, составляет 30...35%. Ангидритовое вяжущее в противоположность строительному гипсу не является быстросхватывающимся вяжущим веществом: по стандарту начало его схватывания должно наступать не ранее 30 мин, а конец – не позднее 24 ч от начала затворения. При твердении объем ангидритового вяжущего практически не увеличивается. Прочность ангидритового вяжущего определяется при сжатии образцов, приготовленных из раствора состава 1:3 с нормальным песком, через 28 суток твердения. Предусмотрено 4 марки ангидритового вяжущего: 50, 100, 150 и 200 (кгс/см²). Ангидритовое вяжущее можно изготавливать также из природного ангидрита, который без предварительного обжига размалывается с описанными выше добавками. Свойства этого вяжущего несколько хуже свойств ангидритового вяжущего, приготовленного из искусственно обожженного ангидрита. Ангидритовое вяжущее обладает большей водостойкостью, чем строительный гипс. Его применяют для устройства бесшовных полов и подготовки под линолеум, изготовления штукатурных и кладочных растворов, легких и тяжелых бетонов, а также для получения искусственного мрамора.

Высокообжиговый гипс получается при обжиге природного двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или природного ангидрита CaSO_4 при температуре 800...1000°C с последующим его помолом. При обжиге в

указанном интервале температур происходит не только полное обезвоживание дигидрата с образованием безводного сернокислого кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, но и частичное разложение ангидрита с образованием свободной извести: $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_2 + \text{O}_2$. Присутствие извести оказывает большое влияние на процесс твердения высокообжигового гипса: она выполняет роль катализатора подобно различным добавкам, вводимым в состав ангидритового цемента. Высокообжиговый гипс более водостоек, чем описанные выше гипсовые вяжущие вещества. Количество воды, необходимое для получения теста нормальной густоты, составляет 30...35%. Высокообжиговый гипс – медленносхватывающееся вяжущее вещество. Начало его схватывания должно наступать не ранее 2 ч от начала затворения. Процесс схватывания обычно протекает в течение 12...36 ч. По прочности на сжатие высокообжиговый гипс подразделяется на три марки: 100, 150 и 200 (кгс/см²). Прочность определяют на образцах-кубах со стороной ребра 7,07 см, изготовленных из теста нормальной густоты, через 28 суток твердения. Затвердевший высокообжиговый гипс характеризуется высоким сопротивлением истиранию, благодаря чему его применяют для изготовления бесшовных полов. Добавляя к нему различные красители и вводя в раствор куски пород различного цвета, можно изготавливать мозаичные полы. Из высокообжигового гипса можно изготавливать штукатурные растворы для внутренних стен зданий, бетонные детали, искусственный мрамор.

7.3.2. Известь строительная воздушная

Для получения воздушной извести используют карбонатные породы (известняки, мел, ракушечник, доломитизированные известняки), в которых содержание примесей глины, кварцевого песка и т. п. не превышает 6%.

Обжиг сырья производят в шахтных печах до полного удаления CO_2 . В результате получают продукт, состоящий в основном из CaO и MgO . Чем выше суммарное содержание свободных оксидов кальция и магния, тем выше качество извести.

В зависимости от содержания оксида магния различают следующие виды воздушной извести:

- 1) кальциевую – MgO не более 5%;
- 2) магнезиальную – MgO (5...20%);
- 3) доломитовую – MgO (20...40%).

Основные реакции, происходящие при обжиге карбонатных пород:



Реакции разложения этих карбонатов обратимы и зависят от температуры и парциального давления углекислого газа. При термической

диссоциации карбоната кальция давление углекислого газа достигает атмосферного при температуре около 900°C, а карбоната магния – около 400°C. Это и есть теоретически нормальные температуры обжига карбонатов. Практически для удовлетворительного хода обжига температуру печного пространства доводят до 1000...1200°C (диссоциация карбонатов резко ускоряется).

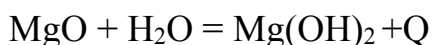
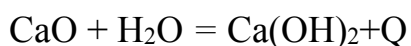
При оптимальной температуре обжига чистого известняка до полного удаления CO₂ (теоретически 44%) его масса уменьшается почти в 2 раза, объем же продукта лишь на 10...12%. Получаемая в виде кусков известь представляет собой весьма пористый материал, состоящий в основном из мелких кристаллов (0,5...2 мкм) оксида кальция и частично оксида магния, что и предопределяет ее высокую реакционную способность при взаимодействии с водой.

При более высоких температурах обжига образуются крупные кристаллы оксида кальция и магния, происходит уплотнение продукта обжига. Такая известь в обычных условиях медленно или совсем не взаимодействует с водой и называется «пережогом». Наличие пережога в извести вредно влияет на ее качество. Запоздалое его взаимодействие с водой, протекающее уже в затвердевшем растворе или бетоне, вызывает появление в них растягивающих напряжений, что может привести к появлению трещин и разрушению.

При недостаточно высокой температуре обжига или в тех случаях, когда часть кусков сырья имела крупные размеры, возможно образование «недожога», т. е. неразложившегося углекислого кальция, который является балластом в извести, ухудшая ее свойства.

Известь, выходящую из печи обычно в виде кусков различной величины (комья), называют комовой *негашеной известью*. Это – полупродукт, который для превращения в вяжущее предварительно измельчают химическим путем – гашением водой (*гашеная известь, известь-пушонка*) или механическим путем – размолотом в мельницах (*молотая негашеная известь, известь-кипелка*).

Гашение извести заключается в том, что вода, соприкасаясь с кусками негашеной извести, поглощается ею, всасываясь в поры, и одновременно химически взаимодействует с оксидами кальция и магния, образуя их гидроксиды:



При этом 1 кг извести-кипелки выделяет 1160 кДж теплоты, которая переводит часть воды в парообразное состояние. Пар вызывает в извести внутренние растягивающие напряжения, под действием которых происходит ее измельчение в тонкий порошок (тоньше, чем у цемента).

В зависимости от количества воды, взятой при гашении, можно получить гидратную известь-пушонку, известковое тесто или известковое молоко.

Теоретически для гашения извести в порошок необходимо 32% воды. Практически для получения порошка гашеной извести (извести-пушонки) берется 70...100% воды от массы негашеной извести. Это объясняется тем, что при гашении выделяется значительное количество тепла, добавляемая вода кипит (отсюда другое название негашеной извести – известь-кипелка), часть воды испаряется. Гашение извести в известь-пушонку (в гидратный порошок) производится главным образом на заводах в специальных машинах-гидрататорах.

При добавлении воды в 3...4 раза больше, чем масса негашеной извести, получается известковое тесто. Объем известкового теста, как и объем извести-пушонки, в 2...2,5 раза превышает объем исходной негашеной извести. Гашение извести в тесто производится на строительных площадках.

При дальнейшем добавлении воды получается известковое молоко.

Таким образом, воздушная известь может быть в виде:

- 1) негашеной комовой (в кусках) извести-кипелки, состоящей из оксида кальция CaO (и некоторого количества MgO);
- 2) негашеной молотой извести того же состава;
- 3) гашеной извести-пушонки в виде тонкого порошка, состоящего в основном из Ca(OH)_2 ;
- 4) известкового теста, состоящего из гашеной извести и воды;
- 5) известкового молока.

Качество извести определяется активностью гашения – временем и температурой гашения, содержанием непогасившихся зерен в известковом тесте.

В зависимости от времени гашения известь делится на три вида:

- 1) быстрогасящаяся известь – время гашения менее 8 мин;
- 2) среднегасящаяся известь – время гашения 8...25 мин;
- 3) медленногасящаяся известь – время гашения более 25 мин.

По температуре гашения известь может быть:

- ✓ высокоэкотермической – температура гашения $\geq 70^\circ\text{C}$;
- ✓ низкоэкотермической – температура гашения $< 70^\circ\text{C}$.

По содержанию непогасившихся частиц известь делится на три сорта (требования для кальциевой извести):

- 1-й сорт – содержание непогасившихся частиц не более 7%;
- 2-й сорт – содержание непогасившихся частиц не более 11%;
- 3-й сорт – содержание непогасившихся частиц не более 14%.

Воздушная известь обладает высокой водопотребностью: для получения теста требуется 200...300% воды. Это объясняется высокой дисперсностью гашеной извести, состоящей из образовавшихся при гашении частиц

$\text{Ca}(\text{OH})_2$, размер которых составляет несколько микронов. Этим же объясняется высокая пластичность известкового теста и его большая водоудерживающая способность: каждая частица гидроксида кальция окружена тонким слоем адсорбционной воды.

Понятие схватывание к известковому тесту не применяется. Твердение происходит очень медленно, тесто теряет пластичность в течение суток и более.

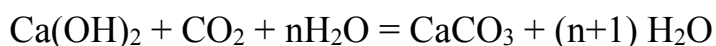
Прочность воздушной извести стандартом также не нормируется. Твердеет она очень медленно: в растворе с песком состава 1:3 через 28 суток твердения прочность при сжатии составляет 0,5...1 МПа (5...10 кгс/см²) и только через десятки лет достигает 5...7 МПа (50...70 кгс/см²).

При твердении известковое тесто, прежде всего из-за большого содержания воды в нем, дает большую усадку с образованием трещин. Поэтому воздушная известь никогда не применяется без заполнителя – песка, который образует скелет раствора и препятствует усадочным деформациям.

Твердение извести в обычных условиях складывается из двух одновременно протекающих процессов:

1 – испарения механически примешанной воды и постепенной кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из насыщенного водного раствора;

2 – карбонизации – процесса взаимодействия гидроксида кальция в присутствии влаги с углекислым газом воздуха, который всегда содержится в воздухе в небольших количествах (около 0,03%). Процесс кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ протекает очень медленно. Испарение воды вызывает сближение между собой мельчайших частиц гидроксида кальция, которые постепенно образуют кристаллический сросток вокруг частиц песка. Карбонизация – образование CaCO_3 – протекает достаточно интенсивно только в присутствии влаги:



Пленка углекислого кальция, образующаяся в первый период на поверхности раствора, затрудняет попадание углекислоты во внутренние слои, поэтому процесс карбонизации замедляется. В то же время пленка углекислого кальция затрудняет испарение воды из раствора, тем самым замедляя и процесс кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Как видно из приведенной реакции, карбонизация сопровождается выделением воды, что также замедляет высыхание раствора. Поэтому для твердения известкового раствора нужна положительная температура и низкая влажность окружающей среды.

Применение. Традиционно известь используется для изготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях. Широкое применение воздушная известь нашла в производстве различных плотных и ячеистых автоклавных материалов в виде

силикатного кирпича и крупных изделий. Воздушную известь используют также в производстве местных вяжущих веществ и для получения дешевых красочных составов.

При работе с известью на всех стадиях ее изготовления и применения необходимо учитывать, что она является щелочью. Попадание извести на кожу, слизистые оболочки и в легкие вредно для здоровья человека, поэтому при работе с известью необходимо принимать меры безопасности.

7.3.3. Магнезиальные вяжущие вещества

Каустический магнезит получают при умеренном обжиге магнезита при температуре 700...800°C:



Он состоит в основном из оксида магния.

Каустический доломит изготавливают обжигом природного доломита при 650...750°C, т. е. ниже температуры диссоциации углекислого кальция:



Каустический доломит в основном состоит из оксида магния, являющегося активной частью вяжущего, и карбоната кальция, который, не обладая вяжущими свойствами, снижает его активность по сравнению с каустическим магнезитом.

При затворении этих вяжущих водой процесс гидратации оксида магния идет очень медленно, а затвердевший камень имеет небольшую прочность. Поэтому каустический магнезит и доломит затворяют не водой, а водным раствором хлористого или сернокислого магния. В указанных растворах повышается растворимость оксида магния и резко ускоряется процесс твердения. При этом наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрохлорида магния ($3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и создаются условия для получения относительно высокой прочности затвердевшего камня (прочность при сжатии 40...60 МПа – на каустическом магнезите и 10...30 МПа – на каустическом доломите).

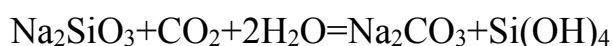
Магнезиальные вяжущие вещества характеризуются хорошим сцеплением с органическими материалами – древесными опилками, стружкой и т.п. – и предохраняют их от загнивания. На этом основано применение этих вяжущих для устройства ксилолитовых полов (заполнителем в которых служат древесные опилки), изготовления некоторых материалов (фибrolита).

7.3.4. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент

Растворимое стекло представляет собой натриевый или калиевый силикат ($\text{Na}_2\text{O } n\text{SiO}_2$ или $\text{K}_2\text{O } n\text{SiO}_2$), где $n=2,5...4$ – модуль стекла. Растворимое стекло получают из смеси кварцевого песка с содой (или сульфатом натрия) и поташом в стекловаренных печах при температуре $1300...1400^\circ\text{C}$. Образовавшийся расплав при быстром охлаждении распадается на стекловатые полупрозрачные куски, называемые силикат-глыбой.

В строительстве растворимое стекло применяют в жидком виде и часто называют *жидким стеклом*. Растворение силикат-глыбы производят водяным паром в автоклаве. Раствор жидкого стекла, поступающего на строительство, содержит $50...70\%$ воды и имеет плотность $1,3...1,5 \text{ г/см}^3$.

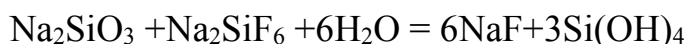
Силикаты натрия или калия, являющиеся основными компонентами жидкого стекла, в воде подвергаются гидролизу:



Образующийся при гидролизе гель кремниевой кислоты $\text{Si}(\text{OH})_4$ обладает вяжущими свойствами. По мере испарения жидкой фазы концентрация коллоидного кремнезема повышается, он коагулирует и уплотняется.

В твердении растворимого стекла участвует также и углекислота воздуха, которая, нейтрализуя едкую натриевую или калиевую щелочь, образующуюся в растворе при гидролизе, способствует коагуляции кремнекислоты и более быстрому затвердеванию растворимого стекла. Однако глубина проникания углекислоты сравнительно невелика и положительное ее действие наблюдается только на поверхности.

Процесс твердения растворимого стекла существенно ускоряется при повышении температуры и особенно при добавлении к нему веществ, ускоряющих гидролиз и выпадение геля кремниевой кислоты, например, кремнефтористого натрия. Кремнефторид натрия в воде гидролизуется:



Образующийся при этом фтористый натрий малорастворим в воде, поэтому процесс расщепления силикатов жидкого стекла и выделения геля кремниевой кислоты (клеящего вещества) ускоряется, что приводит к быстрому твердению системы.

Натриевое жидкое стекло используют для изготовления кислотоупорных, жароупорных и огнеупорных бетонов, огнезащитных обмазок и силикатизации грунтов. Калиевое жидкое стекло применяют для приготовления силикатных красок, мастик и кислотоупорных растворов и бетонов.

Кислотоупорный цемент изготавливают из тонкоизмельченных смесей кислотоупорного наполнителя (кварц, кварцит, диабаз, андезит и т.п.) и ускорителя твердения – кремнефтористого натрия. Название «цемент» для

таких порошков имеет условный характер, так как они вяжущими свойствами не обладают и при затворении водой не твердеют. Вяжущим веществом в таких цементах является растворимое стекло, на водном растворе которого их и затворяют. Чаще всего применяют кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент, в котором наполнителем является чистый тонкомолотый кварцевый песок.

Основное достоинство и принципиальное отличие кислотоупорного цемента от других неорганических вяжущих веществ – его способность сопротивляться действию большинства минеральных и органических кислот (кроме фтористоводородной, кремнефтористоводородной и фосфорной).

Схватываются кислотоупорные цементы в пределах 0,3...8 ч. Предел прочности при растяжении через 28 суток должен быть не менее 2,0 МПа, а кислотостойкость – не менее 93%. Предел прочности при сжатии стандартом не нормируется, но можно получить бетоны с прочностью при сжатии 30...40 МПа и более.

Кислотоупорный цемент применяют для приготовления кислотоупорных замазок, растворов и бетонов. Нельзя использовать кислотоупорный цемент для конструкций, подверженных длительному воздействию воды, пара и щелочей, а также в условиях низких температур (ниже -20°C).

7.4. Гидравлические вяжущие вещества

7.4.1. Общие сведения

Гидравлические свойства этой группы вяжущих обусловлены наличием в их составе силикатов, алюминатов, ферритов кальция. Чем больше в вяжущем таких соединений, тем сильнее выражены гидравлические свойства и выше прочность вяжущего.

Химический состав сырья и гидравлические свойства готового вяжущего характеризуют гидравлическим или основным модулем:

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

Для каждого вяжущего характерен свой гидравлический модуль. Воздушная известь, которая изготавливается практически из чистых известняков (лишь с небольшой примесью глины) имеет самый большой гидравлический модуль – более 9; у гидравлической извести $m=1,7...9$. Прочностные характеристики гидравлических вяжущих (при одинаковой тонкости помола и прочих равных условиях) определяются минералогическим составом вяжущего, который зависит от гидравлического модуля и условий обжига.

Гидравлическая известь. Гидравлическую известь получают обжигом не до спекания мергелистых известняков, содержащих 6...20% равномерно распределенной глины. При обжиге сначала происходит разложение карбоната кальция на CaO и CO_2 , а глинистых минералов – на аморфные SiO_2 и Al_2O_3 . При температуре 1000...1100°C часть оксида кальция взаимодействует в твердом состоянии с SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , образуя низкоосновные силикаты, алюминаты и ферриты кальция (2CaO SiO_2 , $2\text{CaO Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO Fe}_2\text{O}_3$).

Следовательно, гидравлическая известь состоит из различных соединений, часть которых ($\text{CaO}+\text{MgO}$) обуславливает свойства извести как воздушного вяжущего, а часть (силикаты, алюминаты, ферриты кальция) – гидравлического. Чем больше в составе гидравлической извести последних соединений, тем быстрее она твердеет и выше ее прочность. Гидравлическая известь способна частично диспергироваться при гашении водой, но чаще ее превращают в рабочее состояние помолом.

Для твердения гидравлической извести вначале необходимы, как и для воздушной извести, воздушно-сухие условия, а затем – влажные, чтобы обеспечить гидратацию силикатов, алюминатов и ферритов кальция. Чем больше в извести свободного оксида кальция, тем более продолжительным должно быть начальное твердение в воздушной среде (обычно 7...15 суток).

Различают слабогидравлическую (гидравлический модуль 4,5...9,0) и сильногидравлическую (модуль 1,7...4,5) известь. Прочность при сжатии растворов должна быть не менее 1,7 МПа – для слабогидравлической извести и не менее 5 МПа – для сильногидравлической.

Романцемент получают обжигом при 1000...1100°C мергелей, в которых глинистых примесей больше 25%, с последующим помолом в тонкий порошок. Романцемент почти целиком состоит из низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция и неспособен гаситься. Марки романцемента 25, 50 и 100 (2,5...10 МПа).

Гидравлическую известь и романцемент применяют для изготовления штукатурных и кладочных растворов, в том числе во влажных условиях, бетонов низких марок, смешанных вяжущих и т.п., что позволяет экономить энергоемкий и дорогой портландцемент.

Портландцемент. Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество – продукт тонкого измельчения цементного клинкера, получаемого путем обжига до спекания природного сырья или искусственной сырьевой смеси определенного минералогического состава. Клинкер является полуфабрикатом при получении цемента. Он представляет собой спекшиеся гранулы темно-серого или темно-зеленого цвета размером от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Чтобы из клинкера получить портландцемент, его следует измельчить совместно с добавками – двуводным гипсом, а также, в зависимости от вида цемента, с активными минеральными добавками.

Изобретение портландцемента (1824 г.) связано с именами английского каменщика Джозефа Аспдина и русского строителя Егора Челиева, получивших новое высокопрочное вяжущее независимо друг от друга. Свое название портландцемент получил по имени города Portland на юге Великобритании, где началось промышленное производство цемента и где добывался камень, похожий по цвету на полученный клинкер.

Производство портландцемента складывается из следующих операций:

- добычи и подготовки сырья;
- приготовления и корректировки сырьевой смеси (шихты);
- обжига и получения клинкера;
- помола клинкера, в том числе совместно с добавками.

Сырьевые материалы. Сырьевыми материалами для производства клинкера служат известняки с высоким содержанием углекислого кальция (мел, плотный известняк, мергели и др.) и глинистые породы (глины, глинистые сланцы), содержащие SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . В среднем на 1 т цемента расходуется около 1,5 т минерального сырья; примерное соотношение между карбонатным и глинистым составляющими сырьевой смеси 3:1 (т.е. берется около 75% известняка и 25% глины). В сырьевую смесь вводят добавки, корректирующие химический состав, регулирующие температуру спекания смеси и кристаллизацию минералов клинкера. Например, количество SiO_2 повышают, добавляя в сырьевую массу трепел, опоку. Добавление колчеданных огарков увеличивает содержание Fe_2O_3 .

Для производства портландцемента все шире используют побочные продукты промышленности. Весьма ценным сырьем являются доменные шлаки, содержащие необходимые для получения клинкера составные части (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Нефелиновый шлак, получающийся при производстве глинозема, содержит 25...30% SiO_2 и 50...55% CaO ; достаточно к нему добавить 15...20% известняка, чтобы получить сырьевую смесь. Использование нефелинового шлака повышает производительность печей примерно на 20% и снижает расход топлива на 20...25%.

Подготовка сырья. Производство портландцемента – сложный технологический и энергоемкий процесс, включающий: добычу в карьере и доставку на завод сырьевых материалов – известняка и глины; приготовление сырьевой смеси; обжиг сырьевой смеси до спекания – получение клинкера; помол клинкера с добавкой гипса – получение портландцемента. Обеспечению заданного состава и качества клинкера подчинены все технологические операции.

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

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

Сырьевую муку направляют в силосы, в них корректируется состав сырья и создается запас, необходимый для бесперебойной работы печей. Наиболее энергоемкий процесс – декарбонизация сырья – осуществляется в специальном устройстве – декарбонизаторе. При сухом способе производства затраты тепла на обжиг клинкера в 1,5...2 раза меньше, чем при мокром способе. Сухой способ наиболее выгоден при использовании известняка и глины с невысокой влажностью (10...15%), однородного состава и физической структуры, когда можно получить однородную сырьевую муку при сухом помоле.

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

Совместное измельчение известняка, глины и корректирующих добавок (например, пиритных огарков, содержащих Fe_2O_3) обеспечивает тщательное смешение исходных материалов, и получение однородной сырьевой смеси. Помол сырья производят до остатка на сите №008 не более 8...10%. Из трубных мельниц известково-глиняный шлам перекачивают насосами в вертикальные или горизонтальные резервуары (шламбассейны), в них корректируют и усредняют химический состав шлама. Применение разжижителей шлама позволяет снизить влажность шлама, но не устраняет основной недостаток мокрого способа производства цемента – высокую энергоемкость процесса получения клинкера. Пока наша цементная промышленность применяет производство «по мокрому способу» в условиях резкого удорожания энергоносителей, стоимость 1 т цемента значительно выше по сравнению с «сухим способом».

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

Обжиг. Обжиг сырьевой смеси как при сухом, так и при мокром способе производства осуществляется в основном во вращающихся печах. Шахтные печи применяют иногда только при сухом способе производства. Вращающаяся печь представляет собой длинный, расположенный слегка

наклонно цилиндр (барабан), сваренный из листовой стали с огнеупорной футеровкой внутри. Длина печей $95 \times 185 \times 230$ м, диаметр 5...7 м.

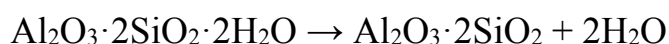
В России стали применять вращающиеся печи, работающие по сухому способу производства, размером 7×95 м, производительностью 3000 т/сутки, с расходом тепла на обжиг 3400 кДж/кг. На предприятиях с мокрым способом производства работают печи 7×230 м, производительностью 3000 т/сутки, при расходе тепла 5600 кДж/кг. Для улучшения теплообмена внутри печей ближе к верхнему (холодному) концу устраивают цепные завесы, устанавливают теплообменники различной конструкции.

Вращающиеся печи работают по принципу противотока. Сырье в виде порошка (сухой способ) или в виде шлама (мокрый способ) подается автоматическим питателем в печь со стороны ее верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца вдувается топливо (природный газ, мазут, воздушно-угольная смесь), сгорающее в виде факела на протяжении 20...30 м длины печи. Перемещаясь вдоль барабана, шлам встречается с горячими газами, нагревается, и в нём начинаются физико-химические процессы превращения сырьевой смеси в клинкер.

Условно печь можно разделить на 6 температурных зон в зависимости от характера протекающих процессов.

Зона 1 – *зона сушки*: температура порядка 100°C . Здесь испаряется свободная вода, масса высыхает, образуются гранулы.

Зона 2 – *зона подогрева*: температура от 200 до 700°C . При такой температуре выгорают органические вещества, происходит дегидратация глинистых минералов – удаление химически связанной воды (температура порядка 500°C):

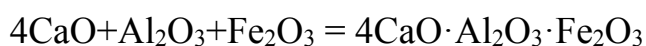
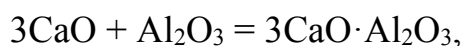
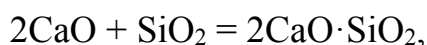


Зона 3 – *зона кальцинирования*: температура порядка $800 \dots 1100^\circ\text{C}$. В этой зоне происходит распад дегидратированных глинистых минералов на окислы CaO, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 . Декарбонизация известняка происходит по реакции:



Образовавшийся углекислый газ удаляется вместе с продуктами горения.

Зона 4 – *зона экзотермических реакций*: температура порядка 1200°C . В этой зоне CaO вступает в химические реакции с окислами глины, образуя новые соединения:



Эти реакции сопровождаются выделением большого количества тепла, с чем связано название зоны. В этой зоне остается еще большое количество несвязанного свободного оксида кальция CaO.

Зона 5 – *зона спекания*: температура 1300→1450°C. При температуре 1300°C расплавляются и переходят в жидкое состояние относительно легкоплавкие трехкальциевый алюминат $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ и четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. При повышении температуры до 1450°C в этом расплаве растворяются CaO и двухкальциевый силикат $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ и взаимодействуют между собой, образуя трехкальциевый силикат – важнейший минерал портландцемента:



В зоне спекания материал должен быть столько времени, чтобы практически не осталось свободного оксида кальция, поскольку, пройдя зону спекания, CaO превратится в пережог, что впоследствии может отрицательно отразиться на качестве цемента.

Зона 6 – *зона охлаждения*: температура клинкера здесь понижается до 1000°C. В этой зоне полностью формируется структура образовавшихся минералов, составляющих клинкер. Клинкер в виде мелких гранул поступает из печи в холодильник, где охлаждается до 100...150°C потоком воздуха. Из холодильника клинкер направляется на склад для окончательного охлаждения и вылеживания в течение 1...2 недель. Это необходимо для того, чтобы погасить за счет влаги воздуха или специального обрызгивания водой свободный оксид кальция, который в небольшом количестве может содержаться в клинкере.

Помол. Помол клинкера в тонкий порошок производится преимущественно в трубных (шаровых) мельницах. Трубная мельница представляет собой стальной барабан, облицованный внутри стальными броневыми плитами и разделенный дырчатыми перегородками на 2...4 камеры. Крупнейшими помольными агрегатами являются мельницы размером 3,95×11 м, производительностью 100 т/ч и размером 4,6×16,4 м, производительностью 135 т/ч.

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

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

Цемент в силосах выдерживают до его охлаждения и гашения остатков свободного оксида кальция, которое происходит под действием влаги воздуха. Из силосов цемент погружается в автоцементовозы, в вагоноцементовозы или крытые железнодорожные вагоны. Часть цемента поступает на отвешивающие и упаковывающие машины и поставляется в мешках по 50 кг. Схема производства портландцемента представлена на рис. 7.1.

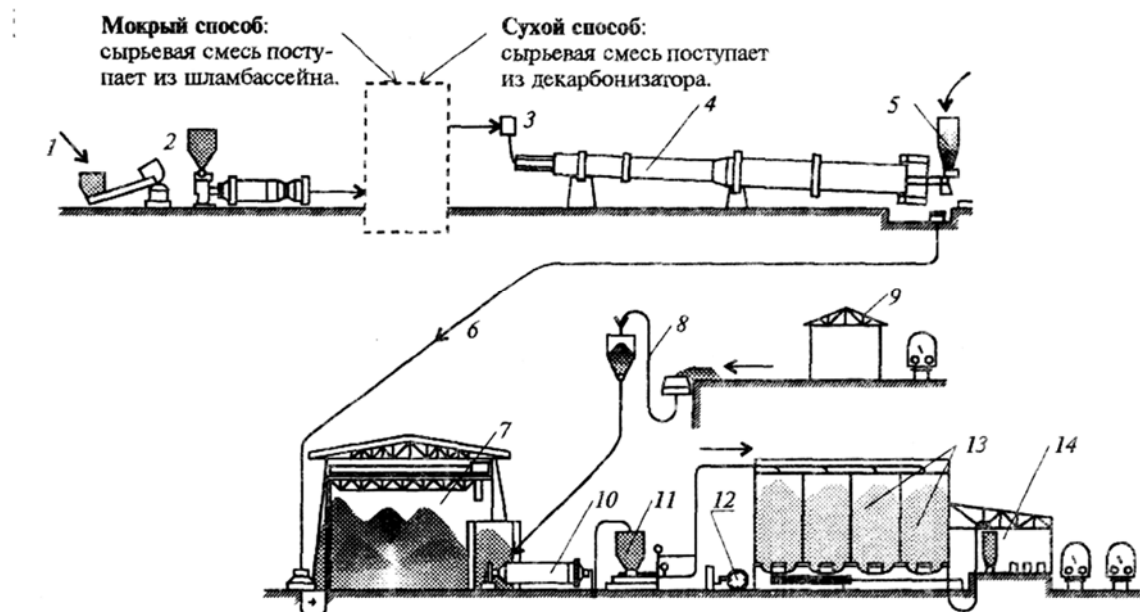


Рис. 7.1. Схема производства портландцемента:
 1 – глина и известняк из карьера; 2 – приготовление сырьевой смеси; 3 – дозатор;
 4 – вращающаяся печь; 5 – подача топлива; 6 – транспорт; 7 – склад клинкера;
 8 – дробление и дозирование гипса; 9 – склад гипса; 10 – трубная мельница
 для помола клинкера (с гипсом); 11 – пневматический насос; 12 – компрессор;
 13 – склад (силосы) цемента; 14 – упаковка цемента

Портландцемент состоит из нескольких клинкерных минералов (табл. 7.5).

Т а б л и ц а 7 . 5

Название минерала	Формула	Условное обозначение	Примерное содержание в клинкере, %
Трёхкальциевый силикат (алит)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	40...65%
Двухкальциевый силикат (белит)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15...40%
Трёхкальциевый алюминат (целит)	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	5...15%
Четырёхкальциевый алюмо-феррит (браунмиллерит)	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	10...20%

При помоле в портландцемент добавляют гипс для регулирования сроков схватывания в количестве, не превышающем 3,5% в пересчёте на SO₃.

Твердение портландцемента – это процесс превращения цементного теста в камневидное тело, цементный камень. При твердении портландцемента происходит ряд сложных физико-химических процессов. При затворении водой каждый из клинкерных минералов реагирует с ней и дает новые соединения, которых не было в цементе. Все процессы взаимодействия отдельных минералов с водой протекают одновременно, но с разной скоростью, налагаются один на другой и влияют друг на друга.

Советский учёный академик А.А. Байков разделил *процесс твердения портландцемента* на три периода:

1) период растворения, когда минералы цемента растворяются в воде, и происходит их химическое взаимодействие с образованием гидратированных соединений, которые образуются в растворе вплоть до образования насыщенного раствора.

2) период коллоидации или схватывания, когда возникающие вследствие продолжающегося взаимодействия с водой новообразования не могут растворяться в уже насыщенном растворе, а выделяются в виде геля.

3) период кристаллизации, или твердения, когда гелеобразные новообразования сближаются между собой, образуют кристаллы и превращаются в кристаллический сросток, что сопровождается увеличением его прочности.

Сразу после затворения цемента водой начинаются химические реакции. Силикаты кальция при взаимодействии с водой образуют два новых соединения – двухкальциевый гидросиликат и гидроксид кальция по реакции:



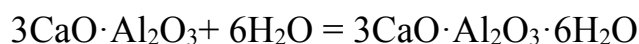
Следует отметить:

- взаимодействие с водой C₃S и C₂S протекает с различной скоростью: C₃S значительно активнее, чем C₂S, что определяет нарастание прочности цемента в первые сроки его твердения;

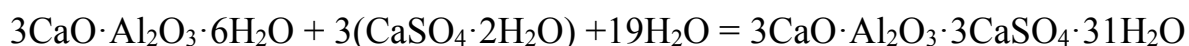
- при взаимодействии силикатов кальция с водой выделяется Ca(OH)₂ – воздушная известь, создающая щелочную среду в твердеющем цементе, что является условием для возникновения коррозии цементного камня;

- C₃S выделяет Ca(OH)₂ в три раза больше, чем C₂S; общее количество Ca(OH)₂ достигает 15% от массы цементного камня.

Трехкальциевый алюминат при взаимодействии с водой очень быстро образует гидроалюминат кальция:



Образовавшийся трехкальциевый гидроалюминат очень быстро кристаллизуется, что приводит к быстрому схватыванию цементного теста (1...2 мин). С таким тестом работать нельзя: должно быть определенное время для перемешивания смеси, ее транспортирования, укладки и уплотнения в форме. Для замедления схватывания цемента в него добавляют двуводный гипс, который, взаимодействуя с трехкальциевым алюминатом, переводит его в гидросульфоалюминат кальция (этtringит) – трудно-растворимую соль, чем замедляет схватывание:



Пока идет эта реакция, схватывания не наступает, поэтому гипс добавляют в цемент в зависимости от содержания трехкальциевого алюмината и требуемых сроков схватывания (обычно от 3,5 до 5% от массы цемента). При значительных добавках гипса наступает ложное схватывание, так как гипс в этом случае начинает действовать как самостоятельное вяжущее. Образующаяся молекула гидросульфоалюмината кальция в 2,5 раза больше по объему исходной молекулы трехкальциевого гидроалюмината и гипса. В данном случае образование большой молекулы в пластичном, не затвердевшем ещё тесте можно считать явлением положительным: она уплотняет цементный камень. Впоследствии, при росте кристаллов минералов твердеющего цемента гидросульфоалюминат разрушается. Взаимодействие четырехкальциевого алюмоферрита с водой может быть представлено в виде следующей реакции:



Количественное соотношение клинкерных минералов оказывает существенное влияние на свойства портландцементов.

Цементы, содержащие значительное количество алита, быстро твердеют. При их твердении выделяется много тепла. Поэтому алитовые, как и алюминатные, цементы нельзя использовать в массивных железобетонных сооружениях. Алит – единственный клинкерный минерал, гидратация которого сопровождается выделением свободной извести. Присутствие извести отрицательно сказывается на коррозионной стойкости бетона и положительно – на сохранности стальной арматуры бетона.

Алитовые цементы применяются в основном в тех случаях, когда за короткий промежуток времени необходимо получить наибольшую прочность изделий (ремонтные работы, полигонный способ производства железобетонных изделий).

Твердение белитовых цементов происходит медленно, и оно не сопровождается значительными тепловыделениями. Поэтому белитовые цементы используют при возведении массивных железобетонных сооружений (фундаментов, плотин гидроэлектростанций и др.). Белитовые

цементы более коррозионностойкие, чем остальные виды портланд-цементов.

К основным свойствам портландцемента (ГОСТ 10178–85) относятся тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объема и прочность (марка) цемента. При необходимости оценивают и другие свойства: насыпную плотность, тепловыделение, стойкость в различных условиях среды и т. п.

Тонкость помола – один из факторов, определяющих быстроту твердения и прочность цементного камня. Обычный портландцемент измельчают довольно тонко – остаток на сите № 008 (4900 отв/см²) не должен превышать 15%, что соответствует удельной поверхности цемента 2500...3000 см²/г.

Водопотребность портландцемента характеризуется количеством воды (% массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста нормальной густоты, т.е. заранее заданной стандартной пластичности, определяемой погружением в тесто цилиндра пестика прибора Вика. Водопотребность зависит от минерального состава и тонкости помола цемента и колеблется в пределах 22...26%.

Сроки схватывания и равномерность изменения объема цемента определяют на тесте нормальной густоты. Начало схватывания цементного теста должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 ч. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы этого прибора в тесто нормальной густоты. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера вводят добавку двуводного гипса, а в случае необходимости – специальные добавки – замедлители или ускорители схватывания.

Процесс твердения цементного камня сопровождается объемными деформациями: набуханием при твердении в воде, усадкой при твердении на воздухе. Эти неизбежные изменения объема учитывают в производстве строительных работ, предусматривая устройство усадочных швов. Неравномерное изменение объема цементного камня при твердении связано с наличием в клинкере свободных оксидов кальция и магния, которые при гидратации расширяются, вызывая местные деформации. По стандарту равномерность изменения объема определяют в образцах-лепешках, изготовленных из теста нормальной густоты, которые через 24 ч предварительного твердения кипятят в течение 3 ч в воде. Лепешки не должны деформироваться, на них не допускаются радиальные трещины. Цемент, не обладающий равномерностью изменения объема, нельзя применять в строительстве.

Прочность портландцемента является главным свойством, характеризующим его качество. В зависимости от предела прочности при сжатии и с учетом предела прочности при изгибе стандартных образцов-балочек через 28 суток твердения портландцемент разделяют на марки: 400, 500, 550, 600.

Фактическую прочность, полученную при испытании на осевое сжатие половинок указанных образцов, называют *активностью цемента*.

Прочность цемента при нормальных условиях твердения наиболее интенсивно нарастает в первые 7 суток твердения. Уже к 3 суткам она составляет 30...35%, а к 7 суткам – 60...70% от марки цемента. В дальнейшем рост прочности замедляется, но продолжается длительное время (месяцы, годы), согласно зависимости, близкой к логарифмической.

Тепловыделение при твердении цемента зависит от минерального состава и тонкости измельчения цемента и составляет через 7 суток твердения 168...335 кДж/кг цемента. При полной гидратации 1 кг C_3A выделяет 1090 кДж, C_3S – 670 кДж, C_4AF – 570 кДж и C_2S – 353 кДж теплоты. При изготовлении тонких бетонных конструкций теплота гидратации быстро рассеивается и не вызывает существенного разогрева бетона. При возведении массивных бетонных конструкций (плотины, фундаменты, толстые стены и т.д.) возможно повышение температуры до 50°C и более, что может вызвать значительные перепады температур в наружных и внутренних зонах, возникновение температурных напряжений, которые нередко являются причиной появления трещин в бетоне. В некоторых случаях, например при бетонировании конструкций в холодное время, повышенное тепловыделение играет положительную роль, способствуя поддержанию положительной температуры бетона.

Наиболее распространены следующие разновидности портландцемента.

1. Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ).

Быстрое твердение достигается за счёт повышенного содержания в клинкере активных минералов (C_3S и $C_3A = 60...65\%$) и более тонкого помола (до удельной поверхности 3500...4000 см²/г) с добавкой гипса 3...5%. Кроме того, допускается введение в клинкер активных минеральных добавок осадочного происхождения (до 10%) или доменных гранулированных шлаков (до 20%).

В трёхсуточном возрасте БТЦ марки 400 имеет прочность при сжатии не менее 24,5 МПа.

2. Особо быстротвердеющий портландцемент (ОБТЦ).

Клинкер этого цемента содержит алит C_3S – 65...68% и C_3A – 8%. Помол с добавкой гипса ведут до удельной поверхности 4000...4500 см²/г.

Введение минеральных добавок не допускается. ОБТЦ марки 600 в возрасте 1 суток имеет прочность при сжатии 20...25 МПа, а в 3-суточном возрасте – 40 МПа.

3. Сверхбыстротвердеющий портландцемент (СБТЦ).

Сырьевая смесь СБТЦ содержит галогеносодержащие вещества (фториды или хлориды кальция).

Такой цемент через 1...4 часа без тепловой обработки набирает прочность, достаточную для распалубливания (до 70...80% от 28-суточной).

Все быстротвердеющие портландцементы целесообразно использовать при производстве сборных железобетонных изделий небольшого размера (из-за большого тепловыделения таких цементов) при зимнем бетонировании. Нельзя применять такие цементы для массивных железобетонных конструкций и конструкций, подвергающихся сульфатоалюминатной коррозии.

4. Сульфатостойкий портландцемент (СПЦ).

Клинкер СПЦ содержит алит $C_3S \leq 50\%$, $C_3A \leq 5\%$ и $C_3A + C_4AF \leq 22\%$. Этот цемент, в отличие от обычного, не только стоек к сульфатной коррозии, но имеет пониженную экзотермию и повышенную морозостойкость.

Марка СПЦ – 400. Его применяют в массивных конструкциях, подверженных воздействию сульфатных, пресных и слабоминерализованных вод, а также попеременному замораживанию и оттаиванию.

5. Белый и цветные цементы.

Клинкер белого цемента изготавливают из карбонатных пород и глин с малым содержанием оксидов железа (до 0,4...0,5%) и марганца (до 0,005...0,15%). При помоле в клинкер добавляют гипс и белый диатомит (до 6%). Основным показателем белого цемента является степень белизны. В зависимости от этого различают три сорта белого цемента. Марки по прочности 400, 500.

Цветные цементы изготавливают совместным помолом белого клинкера и свето- и щелочестойких пигментов или непосредственно из цветного клинкера, содержащего 0,05...1% оксидов некоторых металлов (кобальта – коричневатый, хрома – жёлто-зелёный, марганца – голубой, чёрный).

Белый и цветные портландцементы – это декоративные вяжущие вещества, применяемые для изготовления отделочных растворов и бетонов.

6. Портландцементы с добавками органических ПАВ.

Их получают путём совместного помола клинкера, гипса и небольшого количества (0,1...0,3% от массы цемента) добавок ПАВ.

Добавки ПАВ вводят для:

- 1) повышения пластичности растворных и бетонных смесей при том же содержании воды;
- 2) снижения расхода цемента за счёт уменьшения водопотребности смесей при сохранении проектной прочности;
- 3) повышения проектной прочности за счёт уменьшения водопотребности смесей без изменения расхода цемента.

Портландцементы с добавками отличаются лучшей структурой цементного камня, более морозостойки, водонепроницаемы.

Различают следующие виды добавок ПАВ:

Гидрофильные добавки – повышают смачиваемость цементного порошка водой. На практике широко используется добавка СДБ (сульфитно-дрожжевая барда) в количестве 0,15...0,25% от массы цемента.

Гидрофобизирующие добавки – понижают смачиваемость цементного порошка. При помоле в клинкер добавляют до 0,1...0,3% мылонафта, асидола, синтетических жирных кислот, петролатума, ГКЖ-94 и др. Эти добавки адсорбируясь на поверхности зерен цемента, оказывают смазывающее действие и уменьшают силы трения при перемешивании, вследствие чего повышается пластичность и однородность смесей. Кроме того, гидрофобизированные цементы при хранении не слёживаются даже во влажных условиях.

Портландцементы с добавками ПАВ широко применяют для бетонов гидротехнического, дорожного и аэродромного строительства.

7. Портландцемент с активными минеральными добавками (ПЦД).

Активными минеральными добавками называют вещества, которые при смешивании в тонкоизмельчённом виде с воздушной известью и затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть в воде. Эти добавки содержат аморфный диоксид кремния, способный взаимодействовать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидросиликатов кальция. При этом повышается плотность цементного камня и улучшается коррозионная стойкость.

К природным активным минеральным добавкам относятся такие осадочные породы, как диатомит, трепел, опока (горные породы Пензенской области), глиежи (естественно обожженные глинистые породы), а также магматические породы (вулканический пепел, туф, пемза).

К искусственным гидравлическим добавкам относятся: гранулированные доменные шлаки, топливные золы и шлаки, нефелиновый шлам (отход производства глинозема, содержащий 80% C_2S), глины, обожженные при $t \leq 800^\circ\text{C}$.

Предельное содержание добавок в ПЦД не должно превышать 20%. При этом улучшается водостойкость, коррозионная стойкость против коррозии 1-го вида, но несколько ухудшается морозостойкость.

Марки ПЦД: 400, 500, 550, 600 (иногда 300).

ПЦД широко применяются в строительстве наряду с обычным цементом.

8. Пуццолановый портландцемент.

Содержит в клинкере C_3A не более 8%. Изготавливают этот цемент путём совместного помола клинкера, добавок гипса и 20...40% активных минеральных добавок. Пуццолановый цемент стоек к коррозии первого вида (выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$). Его применяют для бетонов, постоянно находящихся во влажных условиях (подземные и подводные сооружения). На воздухе даёт большую усадку и в сухих условиях часто теряет прочность.

Пуццолановый цемент имеет плохую морозостойкость. Твердеет медленно, особенно при низких температурах. Обладает сравнительно небольшим тепловыделением, поэтому его применяют для бетонирования внутренних частей массивных сооружений (тело плотины, шлюза).

Марки по прочности – 300, 400.

9. Шлакопортландцемент (ШПЦ).

Получают совместным помолом клинкера и гранулированного доменного шлака (21...80% от массы цемента) с небольшим количеством гипса. Шлакопортландцемент может твердеть в воде и на воздухе.

По сравнению с портландцементом ШПЦ более стоек в мягких и сульфатных водах вследствие незначительного содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Тепловыделение при твердении ШПЦ в 2...2,5 раза меньше, поэтому его применяют при бетонировании массивных конструкций. ШПЦ, в отличие от пуццоланового, имеет меньшую водопотребность и более морозостоек. Однако, как и пуццолановый цемент, ШПЦ медленно набирает прочность и особенно при пониженных температурах. Он широко применяется в строительстве. Стоимость ШПЦ на 15...20% меньше, чем портландцемента.

Марки ШПЦ: 300, 400, 500.

10. Глиноземистый цемент.

Глиноземистый цемент иногда называют алюминатным, т.к. в его составе преобладают низкоосновные алюминаты кальция.

Клинкер состоит из смеси известняка CaCO_3 и боксита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Его подвергают спеканию при $t = 1300^\circ\text{C}$ и плавлению при $t = 1400^\circ\text{C}$.

Этот цемент более дорогой по сравнению со всеми другими видами цемента, т.к. бокситы являются ценным сырьём для производства Al . Кроме того, такой цемент труднее измельчать.

В отличие от других цементов, глиноземистый – это быстротвердеющее (1...3 суток) высокопрочное вяжущее. Высокую прочность глиноземистый цемент набирает, если твердеет при t до 25°C , в процессе твердения глиноземистого цемента в 1,5 раза больше выделяется тепла по сравнению с портландцементом. Поэтому его нельзя применять при бетонировании массивных конструкций без дополнительных мероприятий, способствующих отводу тепла.

При твердении образуется высокопрочное вещество – двухкальциевый гидроалюминат (C_2AH_8):



Несмотря на быстрые сроки твердения, глиноземистый цемент обладает нормальными сроками схватывания (начало не ранее 30 мин, конец – не позднее 12 часов).

В продуктах гидратации этого цемента нет $\text{Ca}(\text{OH})_2$, поэтому он стоек в сульфатных, морских и углекислых водах.

Глиноземистый цемент применяют в специальных сооружениях, при ремонтных работах, для изготовления жаростойких бетонов и растворов.

Марки в 3-суточном возрасте: 400, 500, 600.

11. Расширяющийся безусадочный цемент.

Его получают совместным помолом следующих компонентов, % по массе: портландцементного клинкера – 58...63, глиноземистого шлака или клинкера – 5...7, гипса – 7...10, активной минеральной добавки – 23...28.

Расширяющийся цемент отличается быстрым твердением при кратковременном пропаривании, высокой плотностью, водонепроницаемостью. Он способен расширяться при твердении в течение первых 3-х суток, т.к. при этом образуется трехсульфатный гидросульфат алюмината кальция ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot(31...32)\text{H}_2\text{O}$).

Применяют для изготовления газонепроницаемых конструкций, бензохранилищ, подводных и подземных напорных сооружений и т.д.

7.4.2. Химическая стойкость цементного камня

Химическая стойкость цементного камня связана со скоростью и глубиной коррозионных процессов, вызываемых воздействием агрессивных газов и жидкостей.

В.М. Москвин разделил коррозию цементного камня на 3 вида (по основным факторам воздействия).

Коррозия первого вида.

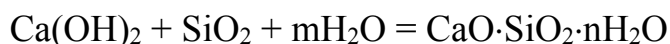
Это разрушение цементного камня в результате растворения и вымывания его составных частей (выщелачивание).

При действии воды вначале растворяется свободный $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующийся при гидролизе алита C_3S и белита C_2S . Затем начинается разложение гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроферритов кальция. В результате повышается пористость и снижается прочность цементного камня.

Коррозия первого вида ускоряется под действием мягких вод, при наличии гидравлического напора через тонкостенные конструкции.

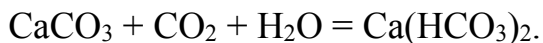
Путем повышения стойкости к коррозии первого вида является применение цементов с умеренным содержанием алита C_3S и выдерживание свежееизготовленного бетона на воздухе для того, чтобы на его поверхности образовалась малорастворимая корка из CaCO_3 при карбонизации.

Главный способ защиты – использование цементов с активными минеральными добавками, связывающих $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в малорастворимое соединение – гидросиликат кальция:



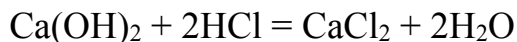
Коррозия второго вида.

а) Углекислотная коррозия развивается в цементном камне под действием воды, содержащей свободный CO_2 , который разрушает CaCO_3 на поверхности, вследствие образования легкорастворимого бикарбоната кальция:



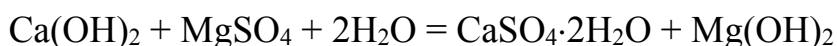
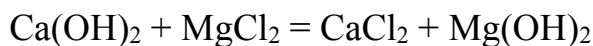
б) *Общекислотная коррозия* происходит при действии растворов кислот, имеющих значение водородного показателя $\text{pH} < 7$ (кроме поликремниевой и кремнефтористоводородной).

Кислота вступает в химическое взаимодействие с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуются растворимые соли:



При сильной кислотной коррозии ($\text{pH} < 4$) используют бетоны на кислотоупорном цементе (жидком стекле), полимерных связующих и кислотоупорных заполнителях.

в) *Магнезиальная коррозия*. Возникает при действии на цементный камень магнезиальных солей, растворённых в грунтовых водах и морской воде. Наиболее характерные реакции при этом следующие:



CaCl_2 и двухводный сульфат кальция легко растворимы и выносятся водой. Кроме того, двухводный сульфат кальция образуется с увеличением объёма, что приводит к образованию трещин цементного камня.

Меры защиты те же, что и при коррозии первого вида.

г) *Коррозия под действием органических кислот*. Вредное влияние на цементный камень оказывают уксусная, молочная и винная кислоты. Вредны агрессивные среды в помещениях животноводческого комплексов, т.к. выделяются олеиновая, стеариновая и пальмитиновая кислоты. Кроме того, вредны масла, содержащие кислоты жирного ряда: льняное, хлопковое, рыбий жир.

д) *Коррозия под действием минеральных удобрений*. Особенно агрессивна аммиачная селитра, состоящая в основном из NH_4NO_3 и действующая на $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием *легкорастворимого* нитрата кальция.

Коррозия третьего вида объединяет процессы, при которых компоненты цементного камня, вступая во взаимодействие с агрессивной средой, образуют соединения, занимающие больший объём, чем исходные продукты реакции.

а) *Сульфоалюминатная коррозия*. Возникает при воздействии морской воды, грунтовых и минерализованных вод, содержащих сульфатные ионы:



Образующийся по этой реакции в порах цементного камня малорастворимый трёхсульфатный гидросульфоалюминат кальция (эттрингит) увеличивается в объёме примерно в 2 раза. При этом происходит растрескивание бетона.

Способы защиты: применение сульфатостойких цементов, повышение плотности бетона.

б) *Щелочная коррозия.* При действии на цементный камень растворов щелочей (NaOH, KOH) деструктивные процессы происходят вследствие карбонизации щелочи за счёт CO₂ воздуха в порах. В порах у поверхности бетона накапливаются кристаллы соды Na₂CO₃·10H₂O и поташ K₂CO₃·1,5H₂O, оказывающие разрушающее воздействие на цементный камень.

Щелочная коррозия встречается на химических предприятиях.

В слабощелочной среде цементный камень не разрушается.

Защита бетонов и растворов от коррозии требует больших расходов (до 10...15% от общей стоимости строительства). Поэтому следует выполнять следующие мероприятия:

- 1) правильно установить характер агрессивного воздействия;
- 2) выбрать вид портландцемента;
- 3) изготавливать высокоплотный бетон;
- 4) применять защитные покрытия.

Вопросы для самоконтроля

1. Классифицируйте неорганические вяжущие вещества в зависимости от способа их твердения. Приведите примеры.

2. Что является сырьем для получения строительного гипса?

3. Опишите процессы, протекающие при твердении гипсовых вяжущих веществ.

4. Опишите свойства и области применения строительного гипса.

5. Что является сырьем и каковы способы получения воздушной извести?

6. Каковы основные свойства воздушной извести и чем они отличаются от свойств строительного гипса.

7. Чем различаются по сырью, составу и свойствам каустический магнезит и каустический доломит? Области их применения.

8. Какое сырье используют для получения портландцемента и по каким схемам технологического процесса получают этот материал?

9. Приведите минеральный состав портландцементного клинкера. Укажите влияние клинкерных минералов на свойства цемента.

10. Опишите существующие способы обжига цементной сырьевой смеси и основные процессы, протекающие при этом.

11. Опишите основные химические реакции, протекающие при твердении цементного теста.

12. Опишите основные свойства портландцемента.

13. В чем суть коррозии цементного камня по В.М. Москвину?

14. Опишите состав, свойства и применение пуццоланового портландцемента и шлакопортландцемента.

15. В чем отличие быстротвердеющего портландцемента от обычного?

16. Опишите состав, свойства и применение глиноземистого цемента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительные материалы и изделия очень многообразны. В условиях ограниченного объема данного учебного пособия рассмотрены лишь важнейшие из них. Овладение знанием структуры и свойств строительных материалов является важной частью подготовки бакалавров для архитектурно-строительного комплекса России.

Как показано в учебном пособии, свойства материалов неразрывно связаны с особенностями их структуры, а с помощью технологических приемов удастся получать материалы с заранее заданным набором эксплуатационных характеристик, т.е. управлять свойствами и структурой материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Августиник, А.И. Керамика [Текст] / А.И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 57 с.
2. Акимова, Т.Н. Минеральные вяжущие вещества [Текст]: учеб. пособие / Т.Н. Акимова– М.: МАДИ (ГТУ), 2007. – 98 с.
3. Байер, В.Е. Строительные материалы [Текст]: учебник / В.Е. Байер. – М.: Архитектура-С, 2004. – 240 с.
4. Белов, В.В. Краткий курс материаловедения и технологии конструктивных материалов для строительства / В.В. Белов, В.Б. Петропавловская. – М.: АСВ, 2006. – 208 с.
5. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) [Текст]: учебник для вузов / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
6. Горчаков, Г.И. Строительные материалы [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
7. Карасев, М.С. Строительные материалы [Текст]: учебно-методическое пособие / М. С. Карасев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 72 с.
8. Комар, А.Г. Строительные материалы [Текст] / А.Г. Комар. – М.: Высшая школа, 1988. – 527 с.
9. Микульский, В.Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учеб. издание / В.Г. Микульский. – М.: АСВ, 2004. – 536 с.
10. Панталеенко, В.Н. Конспект лекций по курсу «Материаловедение» и «Технология конструкционных материалов» [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Панталеенко, Л.А. Ерохина. – Ухта: УГТУ, 2008. – 132 с.
11. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2006. – 367 с.
12. Семейных, Н.С. Технология керамических материалов [Текст]: конспект лекций / Н.С. Семейных. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 202 с.
13. Сканави, Н.А. Материаловедение (строительные материалы) [Текст]: учеб. пособие / Н.А. Сканави. – М.: МГСУ, 2010, 85 с.
14. Тюменцева, О.В. Минералы и горные породы [Текст] / О.В. Тюменцева. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2000. – 64 с.
15. Шейкин, А.Е. Строительные материалы [Текст] / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	6
1.1. Стандартизация строительных материалов.....	6
1.2. Состав и строение материалов, применяемых в строительстве.....	7
1.3. Классификация строительных материалов	10
2. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	13
2.1. Классификация свойств.....	13
2.2. Физические свойства строительных материалов.....	14
2.2.1. Свойства материала, характеризующие его как физическое тело	14
2.2.2. Гидрофизические свойства строительных материалов	18
2.2.3. Теплофизические свойства строительных материалов	24
2.3. Механические свойства строительных материалов	27
2.4. Технологические и эксплуатационные свойства строительных материалов.....	33
2.5. Химические и физико-химические свойства строительных материалов.....	35
3. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	41
3.1. Общие сведения.....	41
3.2. Физические свойства минералов	41
3.3. Классификация минералов.....	44
3.4. Классификация горных пород	45
3.5. Магматические горные породы	46
3.6. Осадочные горные породы.....	52
3.7. Метаморфические горные породы.....	56
3.8. Природные каменные материалы и изделия	58
4. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	63
4.1. Общие сведения.....	63
4.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий	64
4.2.1. Глинистое сырье	64
4.2.2. Добавки к глинам	68
4.3. Общая схема производства керамических изделий	69
4.4. Структура и общие свойства керамических изделий.....	74
4.5. Виды керамических материалов.....	75

5. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ	82
5.1. Общие сведения.....	82
5.2. Состав, свойства и основы технологии производства стекла	83
5.3. Разновидности стекла и стеклянных изделий, применяемые в строительстве	87
6. МЕТАЛЛЫ	95
6.1. Общие сведения и структура металлов.....	95
6.2. Строение и свойства металлов.....	97
6.3. Производство чугуна	101
6.4. Производство стали.....	103
6.5. Состав и свойства железоуглеродистых сплавов.....	110
6.6. Упрочение стали.....	113
6.7. Цветные металлы и сплавы	115
6.8. Коррозия металлов	116
6.9. Сварка металлов	117
7. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	120
7.1. Общие сведения.....	120
7.2. Классификация вяжущих веществ	121
7.3. Воздушные вяжущие вещества.....	123
7.3.1. Гипсовые вяжущие вещества	123
7.3.2. Известь строительная воздушная.....	129
7.3.3. Магнезиальные вяжущие вещества	133
7.3.4. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент	134
7.4. Гидравлические вяжущие вещества.....	135
7.4.1. Общие сведения	135
7.4.2. Химическая стойкость цементного камня	149
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	153

Учебное издание

Самошина Екатерина Николаевна
Самошин Андрей Павлович
Шитова Инна Юрьевна
Кислицына Светлана Николаевна

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебное пособие

Редактор М.А. Сухова
Верстка Н.В. Кучина

Подписано в печать 13.10.15. Формат 60x84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 9,07. Уч.-изд. л. 9,75. Тираж 80 экз.
Заказ № 359.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.