

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

А.М. Усачев, О.А. Чернушкин

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
в качестве учебного пособия
для магистрантов, обучающихся по направлению 270100 (550100)
«Строительство»*

Воронеж 2010

УДК 666 + 691
ББК 38.3
У743

Рецензенты:

*кафедра технологии вяжущих веществ, бетонов и керамики
Пензенского государственного университета архитектуры и строительства;
М.М. Косухин, канд. техн. наук,
доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций
Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*

Усачев, А.М.

У743 **Конструкционные, функциональные и специальные строительные материалы:** учеб. пособие для магистрантов направления 270100 (550100) «Строительство» / А.М. Усачев, О.А. Чернушкин; 2-е издание, доп. и перераб.; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2010. – 245 с.

Содержит материал об основных конструкционных материалах, используемых в архитектурно-строительной практике. Особое внимание уделено функциональным и специальным строительным материалам, применяемым в различных отраслях промышленности и энергетики.

Предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 270100 (550100) «Строительство».

Ил. 68. Табл. 65. Библиогр.: 29 назв.

УДК 666 + 691
ББК 38.3

ISBN 978-5-89040-276-9

© Усачев А.М., Чернушкин О.А., 2010
© Воронежский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие подготовлено на кафедре материаловедения и технологии строительных материалов ВГАСУ в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования, учебного плана и рабочей программы по направлению 270100 (550100) «Строительство». Многолетний опыт преподавания дисциплин «Строительные материалы», «Технология конструкционных материалов», «Архитектурное материаловедение», «Технология керамики и огнеупоров», «Технология теплоизоляционных материалов и изделий» и др. стал основой для написания предлагаемой книги.

Учебное пособие содержит четыре раздела: «Строительные материалы – материальная база строительства и архитектуры», «Конструкционные и конструкционно-отделочные материалы», «Функциональные строительные материалы» и «Строительные материалы специального назначения». В **первом разделе** раскрываются проблемы взаимосвязи строительства и архитектуры с их материальной базой и научно-техническим прогрессом общества, представлена классификация строительных материалов и изделий, освещены вопросы физического и морального износа материалов, изделий и конструкций.

Второй раздел посвящен изучению основных конструкционных материалов в современной строительной практике, таких как природный камень, древесина, керамические изделия, бетон и железобетон, сталь и др. Определенное внимание уделено сравнительной оценке физико-механических свойств древних и современных строительных материалов, что особенно важно при проведении восстановительных и ремонтных работ. В эволюционно-историческом аспекте рассмотрены применяемые орудия труда, технологии и организация производства.

При подготовке **третьего раздела** были использованы последние данные о применяемых в строительстве функциональных материалах, а также результаты научных исследований. Функциональные строительные материалы представлены теплоизоляционными, акустическими, гидроизоляционными, кровельными и герметизирующими материалами.

В четвертом, заключительном разделе приводится информация о специальных строительных материалах, эксплуатируемых в экстремальных условиях: при высоких температурах, воздействии агрессивных сред (кислот, щелочей), при действии ионизирующих излучений.

Учебное пособие «Конструкционные, функциональные и специальные строительные материалы» предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 270100 (550100) «Строительство», программам 550107 «Архитектурно-строительное материаловедение и технологии» и 550109 «Ресурсосбережение и экология строительных материалов, изделий и конструкций». Информация, содержащаяся в нем, может быть также использована бакалаврами, изучающими похожие дисциплины

РАЗДЕЛ 1

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – МАТЕРИАЛЬНАЯ БАЗА СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

1.1. Связь строительства и архитектуры с материальной базой

Проблема взаимосвязи строительства и архитектуры с материальной базой – строительными материалами – одна из самых актуальных, комплексных проблем современной архитектурно-строительной науки и практики.

Строительные материалы и изделия оказывают бесспорное влияние на создание и развитие архитектурных конструкций и новых архитектурных форм, на формирование архитектурного стиля и образа, определяют массовость и индустриальность строительства, в значительной мере влияют на качество и экономику современной архитектуры.

Строительные материалы составляют более половины используемых архитектором материальных ресурсов. Это – своеобразная палитра зодчего, без которой невозможно воплощение ни одного творческого замысла, ни одного проекта. И палитра эта, чрезвычайно многообразная, включающая сегодня материалы и изделия более 1000 наименований, очень быстро расширяется и пополняется ежегодно сотнями новых материалов [1, 2]. Поэтому, современный проектировщик, архитектор, строитель должен знать не только основы строительного материаловедения и технологии строительных материалов, но и постоянно совершенствоваться, развивать свои навыки и умения, следить за последними достижениями строительной науки и техники.

Историю человечества часто делят на каменный, бронзовый и железный века – по тем материалам, из которых изготавливались орудия труда, оружие и здания.

1.2. Понятия – «строительный материал», «изделие», «конструкция»

Термины «строительные материалы», «изделия» и «конструкции» употребляются без различия вида той продукции строительной отрасли, которую они представляют. И это не случайно: действительно, иногда бывает не просто отнести тот или иной вид промышленной продукции к одной из перечисленных категорий. Поэтому необходимо дать определения основным терминам, предварительно изучив приведенную на рис. 1.1 классификацию.

Почти во всякой классификации отсутствуют четкие границы между соседними группами объектов, объединенных общими признаками. Предложенная классификация не является исключением. Поэтому на рис. 1.1 виды продукции, расположенные на стыке двух соседних групп, имеют двойное подчинение (второе, менее выраженное, обозначено пунктиром).

В представленной схеме к группе строительных материалов отнесены все

сырьевые материалы, материалы полуфабрикаты и материалы, готовые к применению. К группе строительных изделий отнесены столярные, санитарно-технические изделия. К этой же группе могут быть отнесены и простые элементы строительных конструкций. Однако эти изделия с равным успехом могут быть отнесены и к группе конструкций, наряду с элементами несущих и ограждающих конструкций.

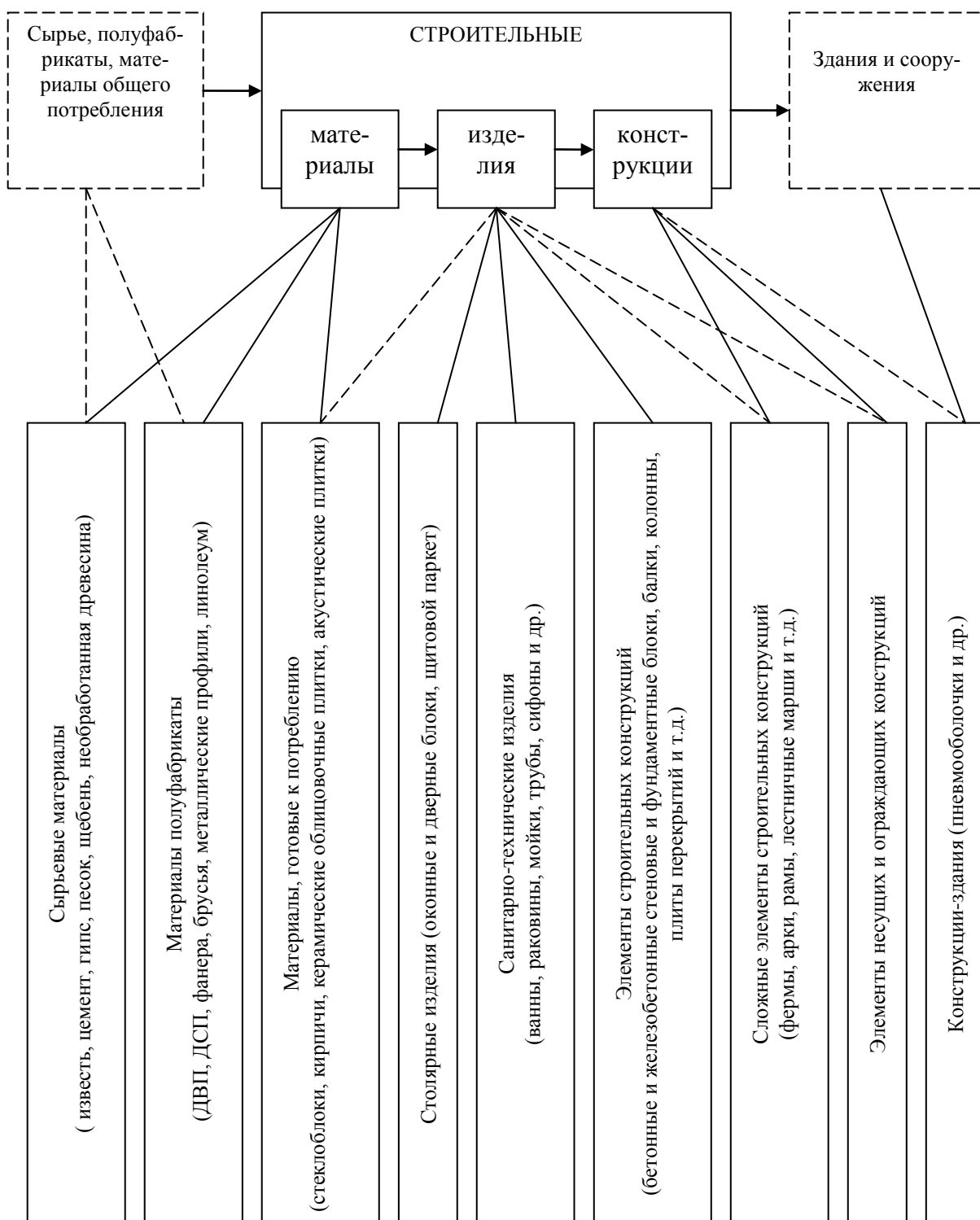


Рис. 1.1. Общая схема классификации строительных материалов и изделий

С появлением объемных жилых ячеек и зданий-пневмооболочек четкая грань между понятиями «конструкция» и «здание» также сглаживается.

С другой стороны схема (см. рис. 1.1) свидетельствует о том, что некоторые сырьевые материалы, полуфабрикаты и материалы, готовые к применению, в равной мере являются строительными и широко используются другими отраслями народного хозяйства. Некоторые материалы, являющиеся сырьем для производства других материалов и изделий (например, песок и щебень для строительных растворов и бетонов), могут в то же время самостоятельно применяться в строительных конструкциях (песчаные засыпки, щебеночное основание дорог).

Все это усложняет классификацию строительных материалов и изделий. Наиболее приемлемой для восприятия является классификация строительных материалов и изделий по назначению.

1.3. Классификация строительных материалов и изделий

Все строительные материалы и изделия в архитектурно-строительной практике классифицируются по их роли в строительных конструкциях на три основные группы (рис. 1.2):

- конструкционные;
- конструкционно-отделочные;
- отделочные.

Конструкционные материалы воспринимают возникающие в здании и действующие на него извне нагрузки и передают их на грунт основания [1-3]. Это несущие конструкции здания, которые подразделяются на вертикальные (стены, столбы, колонны, фундаменты) и горизонтальные (балки, фермы). Другие части ограждают внутренний объем здания, разделяют его на отдельные помещения.

Среди конструкционных материалов выделяют группы функциональных и специальных строительных материалов, которые помимо несения нагрузки обладают специфическими свойствами для выполнения определенных целей.

Функциональные материалы в зданиях и сооружениях выполняют определенные функции: защищают от атмосферных воздействий (гидроизоляционные и кровельные), обеспечивают необходимый температурно-влажностный и акустический режимы (теплоизоляционные, акустические) и т.п. В большинстве случаев строительный материал сочетает в себе конструкционные и функциональные свойства, например облегченный керамический кирпич, легкие бетоны и т.д.

Специальные строительные материалы предназначены нести нагрузки в экстремальных условиях эксплуатации сооружений. К специальным строительным материалам относят огнеупорные и жаростойкие, а также химически стойкие и радиационно-стойкие материалы.

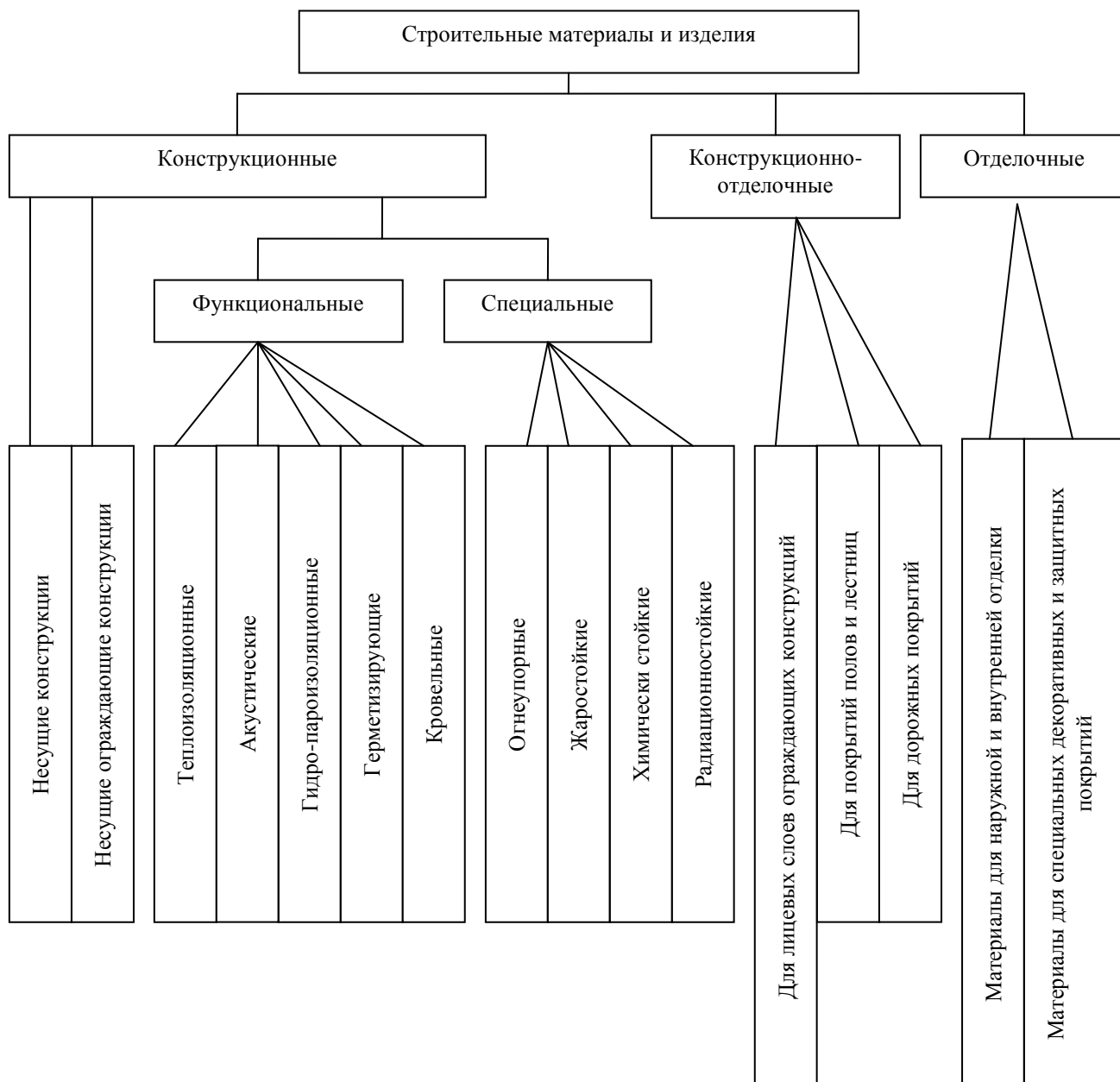


Рис. 1.2. Архитектурно-строительная классификация строительных материалов и изделий по назначению

Конструкционно-отделочные материалы одновременно выполняют функции конструкционного и отделочного материала. Ярким примером такого материала является лицевой керамический кирпич.

Отделочные (облицовочные) материалы в зданиях и сооружениях выполняют защитные и декоративные функции.

Классификация строительных материалов по назначению и областям применения наиболее удобна для использования в творческой работе архитектора, проектировщика и других специалистов строительной отрасли.

1.4. Комплексная связь строительства и архитектуры с их материальной базой и научно-техническим прогрессом

С древних времен развитие строительного искусства теснейшим образом связывалось со строительными материалами, методами и средствами труда, с достижениями научно-технической мысли. Уже в античные времена формируются и совершенствуются строительные приемы и средства труда, инструменты и механизмы, позволяющие обрабатывать и перемещать огромные массы природного строительного материала, создавать и приспособлять для своих нужд искусственную среду, удовлетворяющую жизненным потребностям человека.

В первобытнообщинном обществе основными материалами, применяемыми в строительстве, были природные камни, тростник, ветки деревьев, а в качестве связующего вещества использовалась глина.

Применение древними зодчими не только различных строительных материалов, которые «поставляла» природа, но и различных способов их обработки, а также самобытных методов и механизмов строительства – все это наложило отпечаток на развитие архитектурных форм и стилей Древнего Египта и Междуречья, Греции и Рима. **В рабовладельческом обществе** при большом избытке дешевой рабочей силы в строительстве в значительной мере стали использоваться обработанные горные породы, глиняный кирпич-сырец, деревянные изделия, а в конце рабовладельческого строя уже использовался глиняный кирпич, черепица, стекло, керамические плитки, а из вяжущих – глина, природный асфальт, воздушная известь и известь с гидравлическими добавками.

Несмотря на примитивный характер строительной техники, в условиях рабовладельческого строя создавались грандиозные культовые и другие сооружения. Поражает тщательность и точность обработки огромных каменных блоков для постройки храма в Баальбеке (Сирия), достигающих размеров $25 \times 5 \times 4$ м и массы – тысячи тонн.

В период феодального общества произошло резкое удорожание рабочей силы, что вызвало спад в использовании обработанных каменных материалов. Все шире применялся керамический кирпич, черепица, «римский» бетон, а в качестве вяжущего – глина, воздушная и гидравлическая известь, гипсовые вяжущие.

При **развитии капитализма** в связи со строительством большого количества объектов промышленного, железнодорожного, военного и др. назначений стали использоваться строительные стали, силикатный кирпич, керамический кирпич, плитка, черепица. Среди вяжущих веществ наряду с воздушной и гидравлической известью, гипсом начали применяться романцемент, портландцемент, разновидности портландцемента.

К концу XIX началу XX века стал широко использоваться железобетон, легкие бетоны, асбестовые изделия, портландцемент и его разновидности, теплоизоляционные и гидроизоляционные материалы.

К началу XXI века свои позиции сохранили металл, бетон и железобе-

тон, керамика, древесина. Широкое применение в строительной практике получили полимерные материалы, специальные виды стекла [4...7].

Знания, энергия и материалы – вот главные факторы, определяющие возможности развития цивилизации и технический прогресс общества. В свою очередь, темпы технического прогресса обусловлены социально-экономическими условиями того или иного общественного строя, соответствием производственных отношений уровню развития производственных сил, в составе которых техника наиболее подвижный элемент. Эти общие положения, касающиеся взаимосвязи развития техники и общественного производства, в полной мере относятся и к развитию строительной техники.

Многообразие взаимосвязи социально-экономических условий общественного строя, науки, техники, архитектуры и ее материальной базы отражены на блок-схеме (рис. 1.3), которая в упрощенном виде иллюстрирует аспекты сложной комплексной проблемы этих отношений.

Качественные изменения во всех областях современной строительной техники, тесно связаны с развитием общественного производства, базируются на научных достижениях, изобретениях и открытиях. Успешно осуществляется переход от механизации отдельных процессов производства строительных материалов и изделий к комплексной механизации и автоматизации всех производств, к использованию автоматизированных систем управления (АСУ) и электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Достижения в области химии и технологии, ускоренное развитие научно-технического прогресса во всех областях материального производства позволяют, с одной стороны, расширять ассортимент и совершенствовать качество традиционных строительных материалов, включая направленное изменение свойств природных материалов. А с другой – создавать новые эффективные искусственные материалы и изделия с заранее заданными свойствами, полностью отвечающими комплексу предъявляемых к ним архитектурно-строительных требований. К таким «запрограммированным» материалам могут относиться синтетические полимерные материалы, изделия из бетона и железобетона, стали и легких металлических сплавов, стекла и асбестоцемента. Новые горизонты в развитии технологии порой уникальных строительных материалов открывает внедрение нанотехнологии.

Водостойкая и трудногораемая древесина, легкие и прочные клееные конструкции из дерева в корне изменили традиционные формы использования древесины в архитектурном творчестве. А современная техника распиловки каменных блоков с помощью высокоэффективного алмазного инструмента на тончайшие плитки открыла возможность широкого использования дорогого и дефицитного природного камня в качестве доступного облицовочного материала. Можно привести другие примеры, наглядно иллюстрирующие то, как успехи многих смежных наук, успехи техники и технологии производства и применения традиционных строительных материалов и изделий полностью изменили наше представление о них, открыли новые широкие пути их эффективного использования, дали им вторую жизнь.

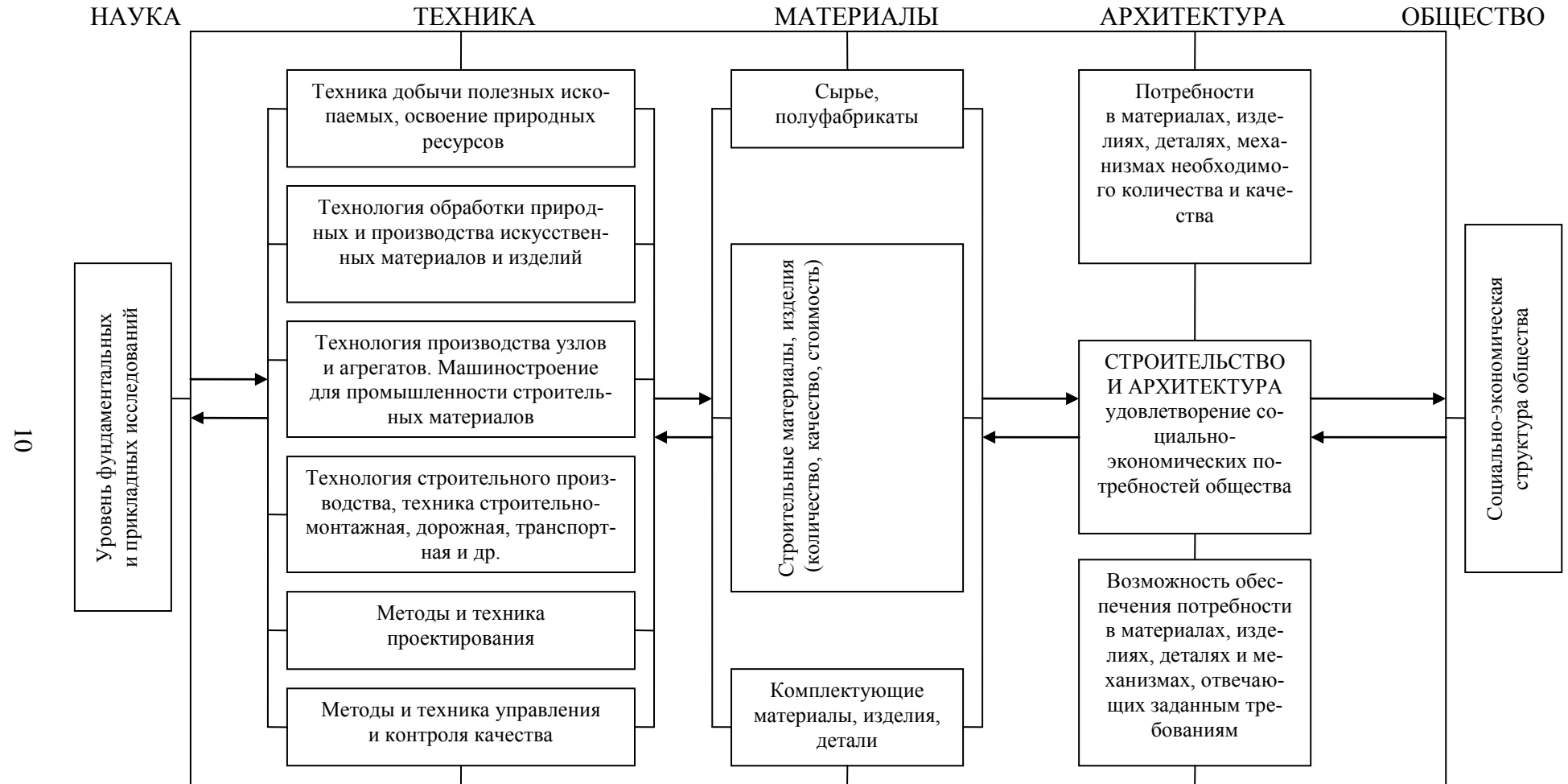


Рис. 1.3. Блок-схема важнейших комплексных взаимосвязей архитектуры, ее материальной базы и научно-технического прогресса общества

1.5. Основные архитектурно-строительные требования к строительным материалам

Считается, что архитектурно-строительные требования к строительным материалам и изделиям определены в нормативных документах на их производство (ГОСТах, ОСТах, ТУ и т.п.), в которых есть обязательный раздел «Технические требования», регламентирующие основные физико-механические и другие показатели качества продукции. Однако эти показатели не отражают требований потребителей, а лишь регламентируют уровень качества.

Требования, которым должны отвечать все современные строительные материалы и изделия, определяются в основном назначением этих материалов, областью их применения и теми режимами эксплуатации зданий, сооружений, конструкций, в которых они применены. Кроме того, на эти требования влияют и факторы, обеспечивающие технологичность применения, удобство транспортирования, возможность хранения в определенных условиях, а также его сравнительную технико-экономическую эффективность.

Основные архитектурно-строительные требования к продукции промышленности строительных материалов и изделий (рис. 1.4) условно классифицируют на три группы: **функциональные**, которые, в свою очередь, можно разделить на общестроительные, эксплуатационные и санитарно-гигиенические; **эстетические** и **экономические**. На рис. 1.4 обозначены также основные факторы, определяющие эти требования.

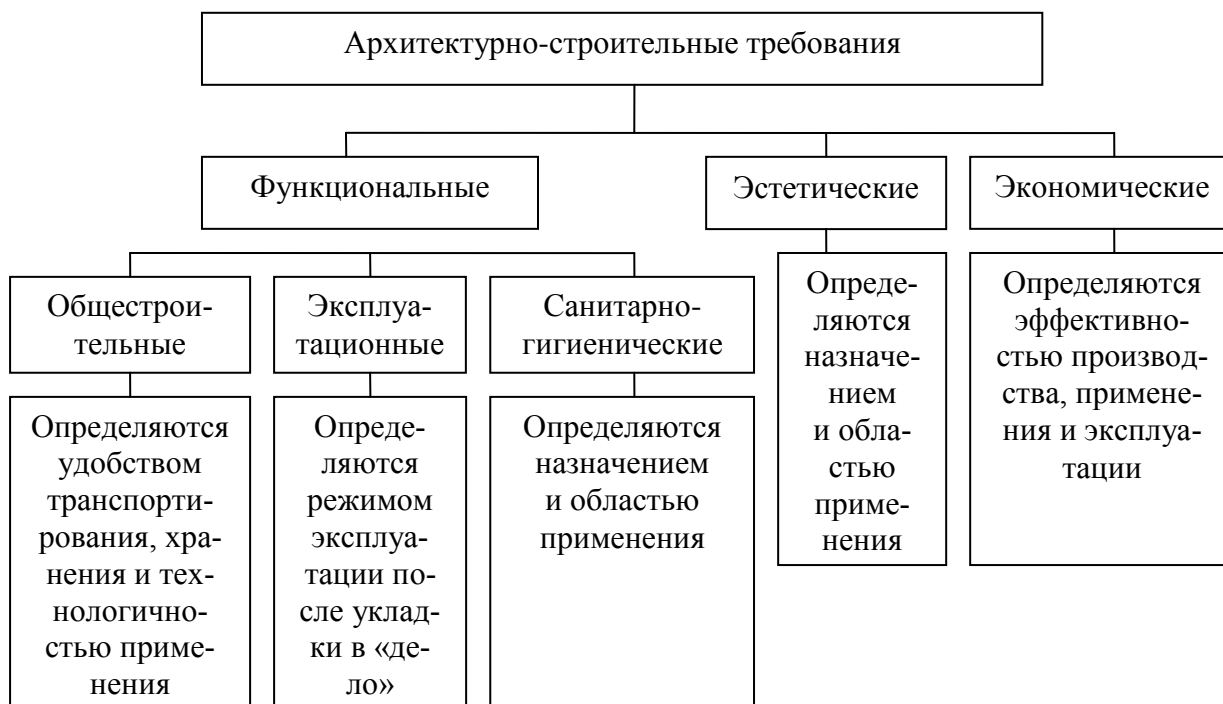


Рис. 1.4. Классификация архитектурно-строительных требований к строительным материалам и изделиям

Первая подгруппа функциональных архитектурно-строительных требований – общестроительные – обусловлена видом и назначением материала или изделия, удобством его транспортирования и хранения, технологичностью применения независимо от эксплуатационного режима той конструкции, в которой будет применен. Так, любой рулонный материал для покрытия полов (например, линолеум) независимо от области его применения должен обеспечить возможность его транспортирования, хранения, распаковки, укладки, гарантировать при этом надежное крепление, а также обладать другими необходимыми свойствами, характеризующими его пригодность к применению в условиях современного строительства. Эти общестроительные требования регламентируют ширину рулонов (она должна соответствовать строительному модулю и допускать транспортирование и перенос вручную); тыльная сторона материала должна обеспечивать надежную приклейку; при длительном хранении материал не должен изменять свои эксплуатационные свойства и др.

Вторая подгруппа функциональных требований относится к качественным характеристикам материалов и изделий, определяемым исключительно эксплуатационным режимом зданий, сооружений, отдельных помещений, где данная продукция будет уложена в «дело». Требования этой подгруппы называются **эксплуатационными**. Они определяют пригодность материала (изделия) к применению в данных эксплуатационных условиях, его общую надежность. Так, в зависимости от того, в каком здании (жилом, общественном, промышленном) и в каком помещении (жилая комната, кухня, холл и т.п.) будет уложен рулонный материал для покрытия пола, будут различными требования к степени его стойкости против различных физико-механических, химических и иных воздействий, которым будет подвергаться материал после его укладки. Эксплуатационный режим помещений будет определять и требования к свойствам, обеспечивающим определенный комфортный уровень покрытия, то есть его акустические, теплоизоляционные и другие параметры, а также характер и степень загрязнения покрытия, и соответствующие требования по уходу, эксплуатации и возможности ремонта.

В последнее время, особенно в связи с производством и широким внедрением в строительство синтетических, в том числе полимерных материалов и изделий, особую значимость приобрели **санитарно-гигиенические требования** к промышленной продукции. Если прежде строительные и, в первую очередь, отделочные материалы должны были допускать легкую очистку, реже – мытье и в исключительных случаях – обработку дезинфицирующими составами, то теперь главным и обязательным санитарным требованием к этим материалам является отсутствие у них каких-либо вредных выделений и запаха. Причем эти требования особенно жестки в отношении материалов, применяемых для внутренней отделки, потому что они во многом определяют микроклимат помещений.

Для некоторых строительных материалов, практически безвредных в нормальных эксплуатационных условиях (теплоизоляционный пенополиуретан), эти требования распространяются на случаи пожара, когда под действием

высокой температуры материал становится источником опасных для человека вредных выделений.

Требование полной безвредности материала распространяется не только на весь срок его службы, но и в равной мере на безопасность людей, его изготавливающих и применяющих. Так, некоторые лакокрасочные покрытия и мастики до полного высыхания обладают стойким запахом и аллергическим действием, поэтому строители во время работы с такими материалами должны надевать защитные маски и применять другие меры предосторожности.

Эстетические требования к форме, цвету, рисунку и фактуре поверхности строительных материалов, также определяемые, в основном, их назначением и областью применения, выделены в отдельную группу. Требования к эстетическим качествам рулонных материалов для покрытий полов в жилых помещениях квартиры определяются не только измеряемыми показателями светлоты, цветового тона и насыщенности цвета, но и общим архитектурно-художественным решением интерьера, вкусом автора проекта, наконец, «модой», отдающей предпочтение то одним, то другим цветовым гармониям, то различным по характеру и масштабу рисункам материала.

Сформулировать эстетические требования даже к определенной группе строительных материалов и изделий, объединенных общей областью применения в конструкциях или отделке зданий, задача чрезвычайно сложная. По этой причине при классификации архитектурно-строительных требований к промышленной продукции эстетические требования иногда не выделяют в отдельную группу, а объединяют их с функциональными, нормируя лишь показатели светлоты, цветового тона и насыщенности цвета некоторых отделочных материалов. В отдельных случаях эстетические требования относят к группе санитарно-гигиенических, рассматривая психофизиологическое воздействие яркости и цветового тона материала и других его архитектурно-художественных свойств на человека.

Не менее важна группа **экономических требований**, определяющих технико-экономическую эффективность и целесообразность разработки, производства и применения того или иного строительного материала и изделия.

В технических заданиях-заказах промышленности на разработку и производство новых видов строительных материалов и изделий обязательными параметрами, регламентирующими экономические требования заказчика к продукции, являются себестоимость продукции и долговечность. Себестоимость строительного материала выражает предельно-допустимый уровень затрат с учетом важнейших технико-экономических показателей новой продукции, предназначенной для замены ранее освоенной или в дополнение к ней. Эти расчеты производятся экономистами с участием технологов по производству данной продукции. Архитектор, являясь заказчиком на любое строительство, задает ее основные параметры, виды отделки, типоразмеры и т.п.

Важным параметром, определяющим экономические требования к промышленной продукции, является оптимальная (заданная) долговечность строи-

тельных материалов и изделий, учитывающая их место и роль в конструкции или отделке, сроки физического и морального старения, затраты на эксплуатацию и ремонт, так называемые затраты в деле.

Комплекс архитектурно-строительных требований к конструкционным и отделочным материалам и изделиям не лимитируется и не исчерпывается перечисленными выше группами требований. Последние могут быть конкретизированы для определенных видов материалов (изделий) и области их применения: одна группа требований может частично или полностью не предъявляться, а другая, наоборот, получить более широкое развитие. Например, нецелесообразно предъявлять эстетические требования к теплоизоляционным или герметизирующим материалам, если они полностью скрыты в конструкции. Но если герметик применен в открытом стыке сборных элементов (между панелями наружных стен жилого дома), то архитектору безразлично, каким будет его цвет. Для отделочных материалов с короткими сроками их морального старения определяющими становятся эстетические требования к цвету, рисунку, фактуре лицевой поверхности.

Высокая прочность, огнестойкость, долговечность материалов для несущих конструкций зданий и сооружений настолько важны, что ради их обеспечения можно полностью пренебречь эстетическими или иными свойствами, восполнив их в процессе строительства дополнительной отделкой, облицовкой и т.п.

1.6. Физический и моральный износ строительных материалов

1.6.1. Физический износ

Физический износ происходит под действием на материал, изделие, конструкцию и сооружение целого ряда различных физико-химических воздействий, представленных на рис. 1.5. Эти воздействия могут быть как внешние (различные осадки, солнечная радиация, ветер, химические вещества, грунтовые воды и др.), так и внутренние (вес конструкций, оборудования, людей, температурный и влажностный режим в помещениях и т.д.). Особые нагрузки зависят от места строительства здания и сооружения и могут быть представлены нагрузками, действующими со стороны соседних сооружений, приливами и отливами, торнадо, цунами и др.

Физический износ конструкции или элемента системы (Φ_k , %), имеющих различную степень износа отдельных участков рекомендуется определять по формуле

$$\hat{O}_{\hat{e}} = \sum_{i=1}^n \hat{O}_i \frac{P_i}{P_{\hat{e}}}, \quad (1.1)$$

где Φ_i – физический износ участка конструкции, элемента, %, определяемый по табл. 1.1;

P_i – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, m^2 или m ;
 P_k – размеры всей конструкции, m^2 или m ;
 n – число поврежденных участков [8].

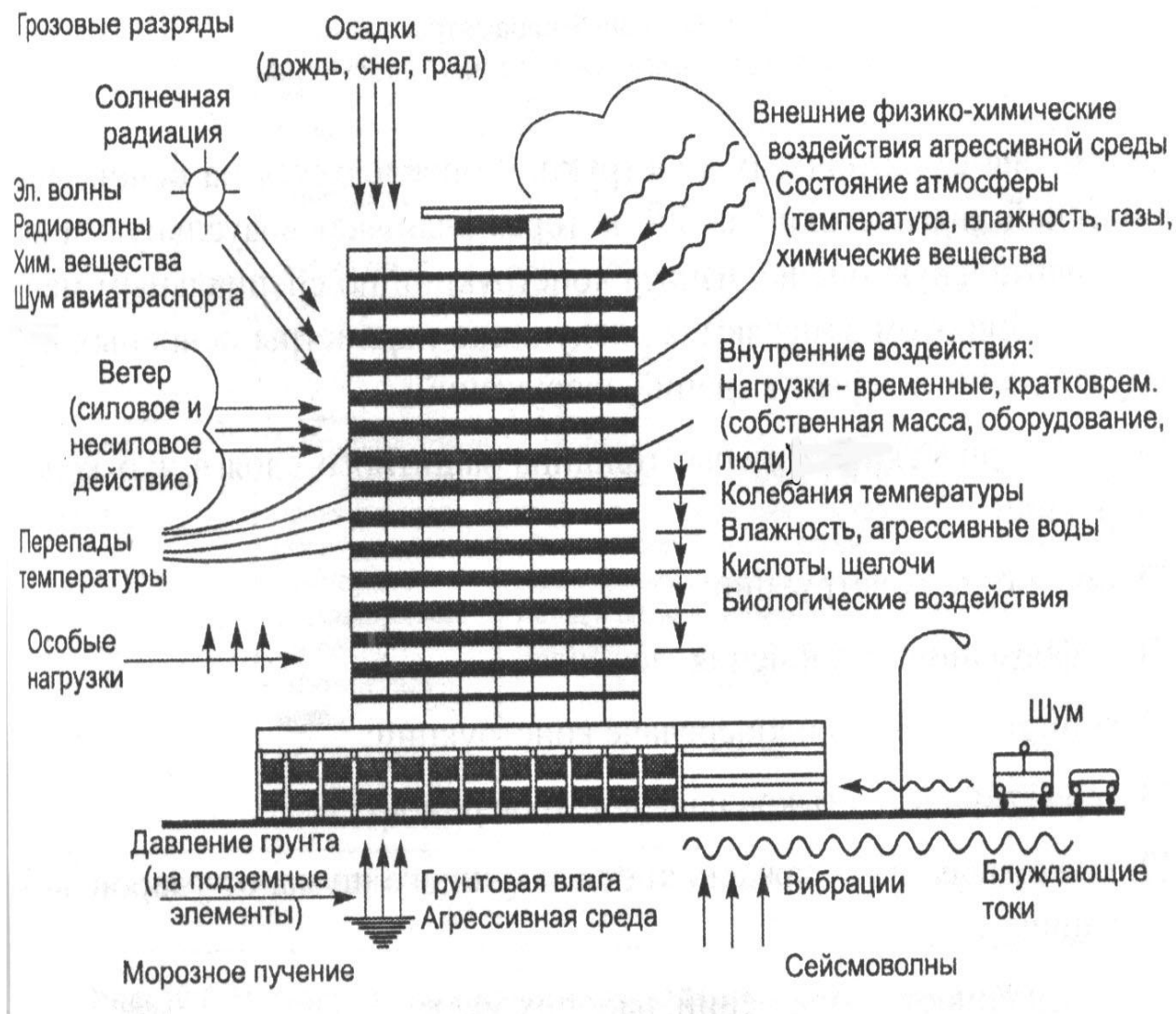


Рис. 1.5. Нагрузки, действующие на здание

Для определения степени повреждений и износа при обследовании конструкций используют различные методы: визуальный, механический, физический, лабораторные испытания, натурного испытания, комплексный.

Состояние конструкций определяется на основе технической диагностики зданий и сооружений, включающей визуальную и инструментальную оценку физического износа конструкций. При этом измеряются параметры (представленные в табл. 1.2) основных эксплуатационных качеств зданий [8].

Таблица 1.1

Оценка физического износа

Физический износ, %	Признак износа	Состояние конструкций, сооружений	Характер повреждений конструкций, сооружений	Приблизительный состав восстановительных работ
0...10	Мелкие повреждения, выбоины, трещины	Хорошее	Незначительные	Расшивка трещин, заделка выбоин
11...20		Вполне удовлетворительное	Слабые	
21...30	Трещины, сколы, выпадение отдельных камней	Удовлетворительное	Средние	Заделка трещин, ремонт кладки
31...40		Не вполне удовлетворительное	Сильные	
41...60	Перекосы, выпучивание, выпадение камней	Не удовлетворительное	Аварийные	Замена, ремонт
61...80	Искривление горизонтальных стен, осадка отдельных участков, перекосы оконных и дверных проемов, нарушение монолитности кладки	Ветхое	Разрушение	Полная замена конструкции
81...100		Негодное	Полное разрушение	Разборка, снос

Таблица 1.2

Основные параметры оценки эксплуатационных качеств зданий при физическом износе и способы их определения

Основные параметры эксплуатационных качеств	Способы определения	Приборы для определения
1. Геометрические размеры, толщина защитного слоя в ж/б конструкции, толщина лакокрасочных покрытий, а, b, с	Инструментальный замер	Толщиномеры ИПА-МГ4.01, ПОИСК-2.51-52, толщиномер ИТП-1, магнитный измеритель толщины покрытий МИП-10
2. Прочность конструкций, Rсж	Взятие проб, механическое или неразрушающее определение прочности	Гидравлические прессы УММ-200, ультразвуковые приборы УКБ-1, УКБ-1М, 1МК, Бетон-8-УРЦ, УК-10П, УК-14П, молотки Физделя, Кашкарова, Шмидта
3. Допустимые деформации, δ , Δ	Замер деформаций, смещений	Прогибомеры ТЕРЕМ-4, геодезические приборы: теодолит, нивелир, тензометры
4. Сопротивление теплопередаче конструкций, R _T	Замер теплового потока через конструкцию	Потенциометр, тепломер ТЕПЛОГРАФ, инфракрасный термометр

Основные параметры эксплуатационных качеств	Способы определения	Приборы для определения
5. Герметичность конструкций: кровли, стыков панелей и др.	Заливка поверхности водой, замер воздухопроницаемости стыков	Электронный влагомер, жидкокристаллический термоиндикатор ИВС-2М, ДСКЗ-1
6. Звукоизоляция ограждений от воздушного и ударного шума	Замер уровня шума в смежных помещениях	Динамик, шумомер ГШН, ударная (топальная) машина
7. Освещенность помещений, рабочих мест, Е	Замер светового потока	Люксметр Ю-16
8. Температурно-влажностный режим в помещении, t, ф	Замеры температуры и влажности воздуха	Психрометр Ассмана, термометр, анемометр, термограф М-16, гигрограф М-32
9. Химический состав воздуха	Взятие проб воздуха	Газоанализаторы УГ-2, ВПХ, интерферометры ШИ-3, МИ-5
10. Влажность материала конструкции	Взятие проб материала, использование влагомеров	Сушильный шкаф, влагомеры ЭВ-2, МГ4Б, МГ4У, ВИМС, термощупы ТМ, ЦЛЭМ, ТЕМП-3

1.6.2. Моральный износ

Одним из важнейших аспектов проблемы долговечности является вопрос морального старения или износа. Установлены две формы морального изнашивания объектов строительства. **Первая форма** проявляется в том, что по мере развития научно-технического прогресса, роста производительности труда, повышения эффективности оборудования, сырья и полуфабрикатов происходит обесценивание материалов, изделий, конструкций и зданий. **Второй формой** морального износа зданий и сооружений является их обесценивание, которое происходит в силу изменения со временем потребностей общества. Возрастающие требования к комфорту, благоустройству, гигиене и культуре производства и быта приводят к уменьшению потребительской стоимости объекта. И если первая форма морального износа не затрагивает потребительской стоимости объектов строительства, то в результате второй здания и сооружения еще до их физического износа уже перестают в полной мере удовлетворять функциональным, техническим и эстетическим потребностям.

Важным аспектом проблемы надежности зданий и долговечности строительных материалов и изделий является оптимизация сроков их службы в конструкциях и отделке. Построив здание, долговечность которого 100 лет, общество все эти годы несет огромные расходы на его эксплуатацию, капитальный ремонт и реконструкцию, а также затраты на текущий ремонт. Опыт эксплуатации жилого и общественного фонда показывает, что основную долю ремонтно-эксплуатационных расходов составляют текущие ремонты зданий, связанные с восстановлением отделки и облицовки фасадов, внутренними отделочными ра-

ботами, ремонтом или заменой покрытий полов, устранением дефектов в герметизации стыков сборных элементов, кровельными и другими работами. Ряд отделочных операций повторяется почти ежегодно. Поэтому долговечность материалов для несущих конструкций зданий и сооружений должна быть не менее срока службы самих зданий. Долговечность материалов для ограждающих конструкций и конструкционно-отделочных материалов (например, лицевой слой стеновой панели типа «сэндвич») равна сроку службы самой конструкции; для остальных конструкционно-отделочных и декоративно-отделочных материалов кратна нормативным срокам капитальных и текущих ремонтов зданий и сооружений.

1.7. Общая схема формирования качества строительных материалов

Основным средством управления качеством продукции строительной индустрии является государственная стандартизация. При этом главное внимание уделяется разработке стандартов не только на материалы и изделия, являющиеся конечными продуктами отраслевого производства, но и на сырье, полуфабрикаты, методы испытаний и оценки качества.

Проблема достижения оптимального качества продукции промышленности стройматериалов требует комплексного решения сложных технико-экономических задач на всех стадиях планирования и управления производством, начиная с мероприятий по обеспечению качества исходного сырья и кончая качеством готовых материалов, изделий и конструкций, поставляемых предприятиями на строительные объекты.

На рис. 1.6 показаны основные факторы, определяющие формирование качества готовой продукции промышленности строительных материалов.

Уровень качества строительных материалов и изделий, с одной стороны определяется требованиями потребителей к качеству исходного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции, а с другой – регламентируется показателями качества, заложенными в государственные стандарты или технические условия на производство этой продукции. Кроме качества предметов труда (исходного сырья, полуфабрикатов, вспомогательных и комплектующих материалов и изделий) в формировании качества промышленной продукции участвуют качество средств производства и качество труда.

Оптимальное качество строительных материалов и изделий достигается при полном соответствии требований потребителей показателям качества, нормируемым ГОСТами или ТУ. Поэтому в системе управления качеством продукции планирование качества строительных материалов и изделий должно начинаться с определения требуемого уровня качества конечной продукции, то есть с определения комплекса архитектурно-строительных требований, характеризующих оптимальные параметры качества этих материалов и изделий.



Рис. 1.6. Качество строительных материалов, изделий и конструкций

1.8. Материалы будущего – прогнозы и перспективы

Высокие темпы развития строительной индустрии, значительный научно-технический прогресс во всех областях современного градостроительства способствуют постоянно возрастающему интересу к долгосрочным прогнозам развития строительства и архитектуры и их материально-технической базы. Какими будут строительные материалы ближайшего и отдаленного будущего, как и в каком количестве их будут изготавливать, в каком направлении изменится материальная палитра строителей и зодчих? Ответы на эти вопросы представляют не праздный, а глубоко профессиональный интерес для специалистов, занятых как непосредственно в области строительства, так и во многих смежных отраслях народного хозяйства [1].

От остальных мировых держав Российская Федерация отличается огромной территорией, которая с учетом климата, национальных строительных традиций, природных ресурсов, менталитета граждан и других аспектов определяет широкую гамму архитектурно-строительных решений. Это, в свою очередь, накладывает определенные требования к применяемым строительным материалам, изделиям и конструкциям. Тем не менее, несмотря на многие трудности в прогнозах, можно предположить, что основными строительными материалами в будущем будут металл, бетон и железобетон, керамика, стекло, древесина,

полимеры.

Строительные материалы будут создаваться на той же сырьевой основе, но с применением новых рецептур компонентов и технологических приемов, что позволит получить высокое качество материалов и изделий и, следовательно, обеспечить долговечность и надежность конструкций и сооружений. Прогнозируется максимальное использование отходов различных производств, отработанных изделий, бытового мусора. Строительные материалы будут выбираться по экономическим критериям, а их производство будет основываться на безотходных технологиях [5].

Безусловно, прогнозирование номенклатуры и ассортимента новых строительных материалов должно вестись параллельно с прогнозированием спроса на них. Такие прогнозы могут сопутствовать или предшествовать промышленному производству этих материалов.

До начала разработки нового материала или изделия должна быть определена его технико-экономическая эффективность. Это позволит дать обобщенную оценку преимуществ и недостатков нового материала по сравнению с тем, который предполагается заменить, а также рассмотреть различные варианты новых конструктивных решений с его применением.

Не менее важной задачей прогнозирования в промышленности строительных материалов является предвидение параметров качества будущих материалов и изделий, их надежности и долговечности, технологичности в производстве и применении, экономичности, санитарно-гигиенических и эстетических свойств. Такие прогнозы по оптимальным (требуемым) параметрам качества наряду с прогнозами по номенклатуре и ассортименту должны являться основой для будущего производства.

Таким образом, главные задачи прогнозирования в промышленности строительных материалов – это прогнозирование номенклатуры, объемов производства и параметров качества новых материалов и изделий. В решении этих задач архитекторы и строители должны принимать самое непосредственное и активное участие [1, 2, 4].

Бетонные и железобетонные изделия занимают первое место среди конструкционных материалов, применяемых в строительстве. За рубежом около 60 % общего объема бетонных и железобетонных конструкций выполняются монолитными. Перспективное развитие отрасли бетона и железобетона невозможно без решения следующих важных задач:

- создание гибких технологических линий для заводов сборного железобетона;
- автоматизация производства железобетонных конструкций массового применения;
- создание конкурентоспособного отечественного оборудования;
- расширение номенклатуры модульных опалубок;
- внедрение в строительную практику высокопрочных бетонов.

Мелкоштучные стеновые материалы по-прежнему остаются одними из са-

мых распространенных материалов. Их суммарный объем при строительстве многоэтажного и индивидуального жилья составляет около 50 %. На сегодняшний день к промышленности стеновых материалов относится 517 крупных и средних предприятий, в том числе 460 кирпичных заводов. Перспективное развитие и расширение производства стеновых материалов может осуществляться за счет создания технологических линий по производству ячеистого пено- и газобетона автоклавного и неавтоклавного твердения, лицевого облегченных камней и блоков, пенополистиролбетона, гипсовых пазогребневых перегородочных плит.

В мире современных строительных материалов керамике принадлежит значительное место, обусловленное широким диапазоном ее физико-механических и химических свойств. Помимо строительных материалов различного функционального и специального назначения, керамика применяется в космической технике, электронике, медицине, в двигателях внутреннего сгорания, огнеупорах и других областях. По мнению многих специалистов, керамика способна обеспечить революционные изменения в строительстве, энергетике, машиностроении, электронике, космической технике. Прогнозируется, что керамика в ближайшее время может занять положение третьего промышленного материала после металлов и пластмасс, знаменуя тем самым начало «нового каменного века».

Ускоренное развитие химической индустрии и успехи в области технологии полимеров сулят большое будущее конструкционным, изоляционным и отделочным материалам из пластмасс.

По прогнозам будет увеличиваться объем производства теплоизоляционных материалов. Основным видом утеплителя останутся материалы на основе минеральных волокон. На сегодняшний день их доля в общем объеме производства составляет более 73 % (в том числе 32 % из минеральной ваты и 41 % их стеклянного волокна). Около 22 % рынка приходится на теплоизоляционные пенопласты.

Структура объемов выпуска теплоизоляционных материалов в России близка к структуре, сложившейся в передовых странах мира, где на долю утеплителей приходится 60...80 % от общего выпуска теплоизоляционных материалов.

Уже сейчас имеется большое количество фирменных названий отделочных, теплоизоляционных и других материалов, которые в принципе отличаются друг от друга только составом и технологией. Этот поток новых материалов будет увеличиваться, а их эксплуатационные свойства совершенствоваться с учетом суровых климатических условий и экономии энергетических ресурсов.

В общей структуре применяемых в строительстве кровельных материалов на долю шифера приходится около 55 %, а в малоэтажном и сельском строительстве – до 80 %. Асбестоцементная кровля в 4...6 раз дешевле черепичной, металлической, полимерной и из других альтернативных материалов, она применима во всех климатических зонах. Прирост выпуска продукции асбестоцементных предприятий будет обеспечен новыми видами изделий: окрашенными волнистыми крупноразмерными и мелкоразмерными листами, плоскими прес-

сованными плитками различного профиля, плитами для навесных вентилируемых фасадов, а также труб, различных сегментов и др.

В последние годы наблюдается значительный рост применения металлочерепицы и различных видов металлических кровель, особенно в индивидуальном и коттеджном домостроении. По прогнозам, объем этих кровельных материалов будет возрастать.

Таким образом, по мнению большинства ученых и специалистов в области строительства, перспективными материалами будущего будут пластмассы, цветные металлы, сталь, бетон и железобетон, керамика, стекло, искусственные деревянные конструкции. В табл. 1.3 представлены данные по удельным объемам применения строительных материалов в мировой практике строительства.

Таблица 1.3

Применение строительных материалов в мировой практике

Основные виды строительных материалов	Объемы применения по местам в зависимости от времени						
	до XVIII в.	XVIII в.	XIX в.	начало XX в.	конец XX в.	начало XXI в.	XXI в. (прогноз)
Природный камень	1	2	3	6	10	10	10
Дерево	2	1	1	1	5	9	9
Керамика	3	3	2	2	4	4	6
Сталь (до XIX в. железо и чугун)	4	4	4	5	3	3	2
Стекло	5	5	5	7	9	8	8
Бетон и железобетон (моноконтинентный)	-	6	6	3	1...2	1...2	3...4
Железобетон (сборный)	-	-	-	4	1...2	1...2	3...4
Цветные металлы	-	-	7	9	8	7	5
Искусственные деревянные конструкции	-	-	-	8	6	6	7
Полимерные материалы	-	-	-	10	7	5	1

Будущее строительства и архитектуры неразрывно связано с будущим их материальной основы – новыми и усовершенствованными традиционными строительными материалами и изделиями. Но если в прошлом материалы во многом определяли возникновение и развитие новых конструкций и новых архитектурных форм, то в будущем, вероятно, сама архитектура и ее творцы – зодчие, станут определять, какой должна быть их палитра, какие материалы (в каком количестве и какого качества) должны быть разработаны и изготовлены промышленностью для наиболее точного воплощения в жизнь любых творче-

ских проектов.

Для осуществления и реализации вышесказанного должны быть решены следующие задачи:

- переход на новые стандарты производства и методов испытаний материалов, увязанные с европейскими и мировыми стандартами;
- стимулирование развития отечественного машиностроения;
- экономическая поддержка создания новых эффективных видов строительных материалов и экспериментальных производств;
- выделение средств на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по приоритетным направлениям развития отрасли.

Аттестационные вопросы

1. Охарактеризуйте связь строительства и архитектуры с материальной базой.
2. Раскройте понятия «строительный материал», «изделие», «конструкция».
3. Представьте классификацию строительных материалов и изделий по назначению.
4. Раскройте комплексную связь строительства и архитектуры с их материальной базой и научно-техническим прогрессом.
5. Опишите основные архитектурно-строительные требования к строительным материалам.
6. Что такое физический и моральный износ строительных материалов?
7. Представьте общую схему формирования качества строительных материалов.
8. Какие материалы будут использоваться в архитектурно-строительной практике в будущем?

РАЗДЕЛ 2

КОНСТРУКЦИОННЫЕ И КОНСТРУКЦИОННО-ОТДЕЛОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Общие сведения

о конструкционных и конструкционно-отделочных материалах

История строительства и архитектуры с глубокой древности и до современности изобилует убедительными примерами того, как изобретение и совершенствование новых конструктивных систем и новых методов строительства в области технологии производства и применения новых и традиционных материалов оказывались важными, а порой главными двигателями развития новых архитектурных форм, новых стилевых и композиционных решений. В свою очередь, архитектурно-строительная практика всегда ставила перед наукой и техникой определенные задачи, решение которых способствовало их прогрессу.

Уже на заре архитектуры формируются и совершенствуются специфические строительные приемы и средства труда, инструменты и механизмы, позволяющие обрабатывать и перемещать огромные массы природного материала, создавать и приспособлять для своих нужд искусственную среду, удовлетворяющую главным жизненным потребностям человека [1, 2].

В настоящее время среди конструкционных материалов ведущее место принадлежит бетону и железобетону. Это связано с тем, что конструкции из бетона и железобетона обладают достаточной долговечностью, прочностью, огнестойкостью, коррозионной стойкостью и другими положительными свойствами. Применение металла и различных сплавов во многих несущих конструкциях экономически эффективно по сравнению с железобетоном. Это объясняется быстротой монтажа, возможностью сооружения сборно-разборных конструкций и др. Деревянные несущие конструкции, хотя уступают по огнестойкости и некоторым другим показателям железобетону, являются более дешевым местным материалом, легко обрабатываются и снижают вес зданий и сооружений. Номенклатура современных материалов и изделий для несущих и ограждающих конструкций чрезвычайно многообразна. Наряду с такими традиционными материалами, как природный камень, древесина, керамический и силикатный кирпич, находят все большее применение крупноразмерные изделия (камни, блоки, панели, объемные элементы и др.) из легкого бетона, алюминиевых сплавов, стекла и стеклопластиков, а также пенопластов и других эффективных материалов.

Среди конструкционно-отделочных материалов большое распространение в архитектурно-строительной практике получили уже упомянутые керамические материалы, изделия из стекла и пластмассы.

2.2. Древесина, ее свойства и область применения в строительной практике

Древесина является самым распространенным природным строительным материалом. Было время, когда древесина была главным и почти единственным строительным материалом. Древесина – это единственный в природе материал, запасы которого постоянно и довольно быстро восстанавливаются. Мировое потребление древесины почти вдвое превышает годовое производство чугуна и стали вместе взятых.

Россия по величине лесных массивов занимает первое место в мире. Велики ее запасы в Карелии, на Кавказе и Дальнем Востоке.

Древесные породы подразделяются на две группы: **хвойную** (сосна, лиственница, ель, пихта, кедр, тис, можжевельник и др.) и **лиственную** (*твердые* – дуб, бук, береза, граб; *мягкие* – ольха, осина, тополь). Широкое применение в архитектурно-строительной практике древесина получила благодаря целому комплексу положительных свойств: высокой прочности при небольшой средней плотности, малой теплопроводности, высокой морозостойкости и сопротивляемости действию химических реагентов, легкости в обработке. Вместе с тем древесина обладает и отрицательными свойствами, ограничивающими область ее применения. К числу недостатков древесины можно отнести неоднородность (анизотропность) строения, наличие пороков, гигроскопичность и связанные с ней деформации и коробления, способность к загниванию и возгоранию.

Применение срезанной древесины стало возможным с изобретением ручного каменного рубила, а затем и каменного топора (начало неолита). Первые конструкции из дерева были примитивны. Совершенствование техники рубки позволило сооружать стропильные кровли – односкатные и двухскатные. Упоминание о деревянных стропилах встречаются в «Илиаде», созданной в конце VIII в. до н.э.,

Расцвет бревенчатой архитектуры, рожденной простым каменным топором, начался много позже. Металлический топор и изобретение врубки как нового надежного способа сопряжения бревен явились главным двигателем прогресса деревянного строительства. Сруб позволил расти деревянным строениям ввысь. Плотничное искусство достигло большого совершенства в богатых лесом северных странах. Секреты деревянного зодчества передавались от отца к сыну, совершенствуясь на протяжении столетий. Железным плотничным топором научились тесать «на четыре канта» брусья, получать «плаху» (плоскую доску).

Построенная в петровские времена 22-главая **Преображенская церковь** (рис. 2.1) справедливо считается одним из непревзойденных шедевров русского деревянного зодчества. План церкви по одной из версий нарисовал сам Петр I. Как и многие другие деревянные постройки Преображенская церковь возведена без каких-либо чертежей, без единого гвоздя, с применением одного топора. Несмотря на разное время строительства и разных мастеров отличается целостностью [1, 9, 26].



Рис. 2.1. Преображенская церковь, Кижы, Россия

Подлинной революцией в обработке древесины как строительного материала было применение пилы, изобретенной еще в каменном веке, но получившей широкое применение гораздо позже*.

Пиленый брус и доска становятся главными строительными материалами, а резко сократившиеся отходы при обработке бревна позволили применять дерево и там, где оно было дефицитно. Появляются деревянный нагель (из твердых пород дерева) и железный кованый гвоздь**.

Соперником строительства в потреблении пиломатериалов было судостроение, откуда позже пришли в строительные конструкции болтовые соединения.

Гвоздевые и болтовые соединения позволили резко увеличить пролетность деревянных конструкций, которые долгое время не могли перешагнуть десятиметровую длину.

* Археологические раскопки в Трое обнаружили каменные пилки. Древнейшие металлические пилы делались из меди, а позже – из бронзы. Последние, предназначенные для пиления деревьев были обнаружены среди археологических находок бронзового века у разных народов. Стальные пилы известны в Древнем Риме. В Новгороде найдена стальная пила-ножовка с разведенными зубьями (изготовлена в XI в.).

** Бронзовые гвозди были известны еще в Древнем Египте.

Следующим этапом процесса механизации обработки древесины как конструкционного материала было изобретение в 1799 г. французским инженером Аленбером дисковой пилы, позволившей намного увеличить скорость пиления*.

Примерно в то же время (1806 г.) английским инженером Блюнелем была изобретена фанерострогательная машина, которая затем была усовершенствована Фаферайром в Англии и Гольцапфелем в России. В России же еще в конце XVIII в. появились первые строгательные машины, заменившие издавна применявшиеся в плотничном деле рубанки.

Развитие строгательных станков и появление казеинового клея, более водостойкого, чем роговой и мездровый, создало возможность изготовления нового строительного материала – арболита (клееной высокопрочной фанеры)**.

Всевозрастающие масштабы деревообработки вызвали новую проблему, связанную с утилизацией большого количества отходов: при лесопилении и изготовлении строительных деталей из древесины образовывались опилки – около 10...15 % от общей массы пиломатериалов; а при работе строгательных машин – до 20 % стружки. В 1882 г. немцем Корнфельдом был изобретен ксилолит, в котором опилки, применяемые в качестве засыпки, были использованы как наполнитель искусственного каменного материала, изготавливаемого на основе магнезиального вяжущего.

Инженеры и строители никогда не забывали и всегда пытались совершенствовать известные с древних времен способы повышения биостойкости и огнестойкости деревянных конструкций. В первой четверти XIX в. начали применять соляные пропитки – вымачивание древесины в морской воде взамен пресной. Затем стали применять пропитки различными химическими составами. В 1838 г. французский инженер Бетель применил давление до 8 атм с целью увеличения глубины пропитки древесины продуктами перегонки каменного угля. В 1847 году немецкий химик Фукс изобрел растворимое силикатное стекло. Это изобретение позволило широко внедрить в строительную практику огнезащитные силикатные краски и обмазки – сначала на натриевом связующем, а затем на более атмосферостойком – калиевом.

В дальнейшем успехи химической технологии и промышленности позволили внедрить новые эффективные огнезащитные средства – антипирены.

Внедрение клееных деревянных конструкций совершило коренной переворот в использовании древесины в строительстве и архитектуре: появились новые формы и новые конструкции, возросла «пролетность» сооружений.

Наряду с прогрессивными клееными материалами и конструкциями широко внедряются в архитектурно-строительную практику древесно-стружечные

* Скорость продвижения пилы при ручном пилении бревен составляла около 0,5 м/мин, водяные и паровые лесопилки увеличили ее до 1...3 м/мин, внедрение дисковых пил позволило ускорить подачу бревна до 30...50 м/мин. Современные станки работают на высоких скоростях до 100 м/мин и подаче – до 180 м/мин.

** Сейчас арболитом называют разновидность легкого бетона, изготовленного из смеси дробленых опилок, вяжущего (портландцемента) и воды.

и древесноволокнистые изделия на основе древесного волокна и полимерного связующего, древесно-слоистые и бумажнослоистые пластики, древополимерные и древометаллические детали и конструкции. Такие материалы по сравнению с натуральной древесиной обладают лучшими эксплуатационно-техническими свойствами, что значительно расширяет область применения древесных строительных материалов в архитектурно-строительной практике.

Из древесины были возведены многие уникальные постройки. **Храм То-дайзи** (рис. 2.2), расположенный в японском городе Нара, считается самым большим деревянным строением в мире. Этот храм знаменит еще и тем, что внутри него установлена самая большая бронзовая скульптура Будды высотой 25 м. На ее постройку ушло более 437 т бронзы.



Рис. 2.2. Храм То-дайзи, Нара, Япония

В Японии находится и самое древнее деревянное строение в мире. Это древнейший буддийский **храмовый комплекс Хорюдзи** (рис. 2.3), занимающий площадь 90 тыс. м². Он был возведен в VII в.



Рис. 2.3. Храмовый комплекс Хорюдзи, Япония

Мост У-Байн (рис. 2.4) является самым большим в мире деревянным мостом. Его длина составляет более 2 км. Конструкция этого моста состоит целиком из дерева. Деревянные опоры вбиты прямо в дно водоема, а расстояние между ними не превышает двух метров. Он перекинут через озеро между городами Мандалаем и Анарапурой в Мьянме (Бирма до 1989 г.).



Рис. 2.4. Мост У-Байн, Мьянма

Сегодня на основе древесины изготавливают различные изделия, используемые в архитектурно-строительной практике. Деревянные конструкции возводят преимущественно из хвойных пород, так как хвойная древесина содержит меньше пороков и в меньшей степени подвержена загниванию. Для изготовления мелких ответственных деталей и элементов конструкций (шпонок, нагелей и т.д.) применяют лесоматериалы из твердых лиственных пород. Мягкие лиственные породы используют в слабо напряженных зонах клееных элементов деревянных конструкций и в конструкциях временных зданий и сооружений.

Круглые лесоматериалы изготавливают из ствола дерева путем распиловки на отрезки разной длины. В строительстве используют главным образом бревна как в круглом виде, так и в качестве сырья для выработки пиломатериалов.

Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру) разделяют на мелкие (диаметром 6...13 см), средние (14...24 см) и крупные (26 и более см). Более тонкие части ствола или тонкий лес (от 3 до 7 см) строители называют жердями.

Пиломатериалы по геометрической форме и размерам поперечного сечения делят на пластины, четвертины, брусья, доски, горбыль. По характеру обработки пиломатериалы делят на обрезные и необрезные.

Строганные и фрезерованные детали (погонажные детали) – элементы

небольшого поперечного сечения, обработанные на станках: доски и бруски для покрытия полов, плинтусы, наличники, поручни. Доски и бруски для полов на одной кромке имеют паз, на другой – гребень для плотного соединения элементов и обеспечения жесткости пола. Плинтуса служат для заделки углов между полом и стенами; поручни и наличники для обшивки дверных и оконных коробок.

Столярные изделия представлены оконными и дверными блоками, перегородками и панелями для жилых и гражданских зданий.

Столярные плиты состоят из внутреннего щита, изготовленного из узких реек (основа), и наклеенного на щит с обеих сторон шпона в один или два слоя (лицевой и оборотные слои). Столярные плиты применяют при изготовлении дверей, перегородок, полов, а также щитовой мебели.

Паркет разделяют на *штучный, паркетные доски, паркетные щиты*. *Штучный паркет*, изготавливаемый из бука, дуба, ясеня, состоит из отдельных планок (дощечек), имеющих на кромках и торцах шпунт и гребень для соединения между собой.

Паркетные доски состоят из двух слоев. Нижний слой (основание) состоит из фрезерованных брусков или досок, верхний слой (лицевое покрытие) – из одинаковых паркетных планок. Оба слоя прочно склеены между собой водостойким клеем. По сравнению с штучным паркетом они имеют ряд преимуществ: меньший расход древесины ценных пород, снижение трудоемкости и ускорение процесса настилки паркетного пола.

Паркетные щиты состоят из древесного основания, которое собрано из досок или брусьев и на которое наклеены паркетные планки, расположенные в шахматном порядке. Щиты соединяются между собой с помощью вкладных торцовых шпонок или в паз-гребень. Их выпускают размером 400×400 и 800×800 мм.

Фанера представляет собой листовой материал, склеенный из трех и более слоев лущеного шпона. Шпон, тонкая непрерывная стружка, получают лущением или строганием распаренных бревен. Листы шпона склеивают между собой, располагая их в перпендикулярном направлении. Такая конструкция фанеры обеспечивает ей равную прочность во всех направлениях, малую растрескиваемость и коробление.

В строительстве применяют фанеру трех видов: *клееную*, марок ФСФ, ФК и ФБА; *декоративную (ДФ)* и *бакелизированную* (склеенную фенолформальдегидными клеями).

По виду обработки поверхности фанера может быть нешлифованной или шлифованной с одной или двух сторон.

Древесностружечные плиты (ДСП) изготавливают путем горячего прессования специально подготовленных древесных стружек с термореактивными полимерами. Стружку получают из отходов деревообработки, фанерного и мебельного производства. Для придания плитам биостойкости в полимерно-стружечную массу добавляют антисептики. С целью уменьшения набухания плит во влажном воздухе в исходную массу вводят гидрофобизирующие вещества.

Древесностружечные плиты выпускают различной средней плотности: очень высокой ($\rho_m = 1,0 \dots 0,81 \text{ г/см}^3$); высокой ($\rho_m = 0,8 \dots 0,66 \text{ г/см}^3$); средней ($\rho_m = 0,65 \dots 0,51 \text{ г/см}^3$); малой ($\rho_m = 0,5 \dots 0,35 \text{ г/см}^3$); очень малой ($\rho_m < 0,35 \text{ г/см}^3$). Плиты средней и высокой плотности применяют как конструкционный и отделочный материал. Плиты малой плотности служат в качестве тепло – и звукоизоляции.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают путем горячего пресования волокнистой массы, состоящей из древесных волокон, воды, наполнителей, полимера и добавок (антисептиков, антипиренов, гидрофобизирующих веществ). Волокна получают из отходов деревообрабатывающих производств.

Выпускают плиты пяти видов:

- *сверхтвердые*, средней плотности более 950 кг/м^3 и пределом прочности при изгибе $R_{изг} > 50 \text{ МПа}$;
- *твердые* ($\rho_m > 850 \text{ кг/м}^3$, $R_{изг} > 40 \text{ МПа}$);
- *полутвердые* ($\rho_m > 400 \text{ кг/м}^3$, $R_{изг} > 15 \text{ МПа}$);
- *изоляционно-отделочные* ($\rho_m = 250 \dots 350 \text{ кг/м}^3$, $R_{изг} > 2 \text{ МПа}$);
- *изоляционные* ($\rho_m < 250 \text{ кг/м}^3$, $R_{изг} > 1,2 \text{ МПа}$).

Твердые плиты применяют для устройства перегородок, подшивки потолков, настилки полов, для изготовления дверных полотен и встроенной мебели. Изоляционно-отделочные плиты применяют для облицовки стен и потолков. Изоляционные древесноволокнистые плиты находят широкое применение в виде тепло- и звукоизоляционного материала.

Древесно-слоистые пластики – листы или плиты, изготовленные из лущеного шпона, пропитанного и склеенного резольным фенолформальдегидным полимером. Пластик отличается от фанеры большей средней плотностью ($1,25 \dots 1,33 \text{ г/см}^3$) и обладает высокими механическими свойствами ($R_{раст} = 140 \dots 200 \text{ МПа}$, $R_{изг} = 150 \dots 280 \text{ МПа}$). Эти пластики стойки к действию масел, растворителей, моющих средств; хорошо сопротивляются истиранию.

Клеевые деревянные конструкции – крупноразмерные элементы (балки, арки, фермы, оболочки, своды, купола), изготавливаемые путем склеивания небольших деревянных заготовок друг с другом, а иногда и с другими материалами. Клеевые деревянные конструкции, изготавливаемые на высокопрочных и водостойких полимерных клеях, отличаются меньшей массой, большей прочностью, водостойкостью, стойкостью к агрессивным воздействиям, чем обычные конструкции из дерева

2.3. Основные свойства природного камня. Развитие архитектурных форм из природного камня. Современные направления в использовании природного камня в архитектуре

Природный камень – один из древнейших конструкционных и отделочных строительных материалов. При выборе камня необходимо учитывать целый комплекс его эксплуатационно-технических свойств: минералогический состав, прочность, твердость, истираемость, среднюю плотность, водопоглощение, пористость, морозостойкость, теплопроводность и др. При использовании природного камня в отделочных работах особое внимание также уделяется его структуре, текстуре, цвету, светлоте и насыщенности [10, 11].

Строительные материалы и изделия из природного камня занимают одно из основных мест в ряду применяемых в архитектурно-строительной практике материалов.

Одним из первых типов целостной каменной архитектуры считают дольмены и менгиры (от бретон. *tol* – стол, *men* – камень и *hir* – длинный) - разновидность древних мегалических построек. Мегалиты (от греч. *meGas* – большой, *lithos* – камень) – искусственные сооружения из крупных диких или грубо обработанных камней.

Простейший вид мегалических сооружений – менгиры – состоят из одного камня, вкопанного в землю вертикально. Во Франции сохранились целые поля менгиров. Они также ставились в Испании, Армении, на Кавказе, в Сибири. Крупнейший менгир высотой 20 м и массой около 30 т находится на территории Франции.

Дольмены сложены из нескольких каменных глыб, поставленных вертикально и покрытых одной или несколькими плитами сверху (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Дольмен Poulnabrone Portal, Графство Клэр, Ирландия

Сооружение кромлехов (от бретон. *crom* – круг, *lech* – камень) свидетельствует о том, что их создатели уже овладели началом архитектурной композиции, масштабом и ритмом, знакомы с стоечно-балочной системой. Общеизвестен, например, знаменитый **кромлех Стоунхендж** – «Висячие камни» (рис. 2.6) на территории Великобритании у г. Солсбери, состоящий из трех возведенных в разное время сооружений на том же месте (время сооружения около 3200...1400 гг. до н.э.). Для его постройки использовались местные природные камни – вулканическая лава, вулканический туф, песчаник, известняк.

Внешнее каменное кольцо состоит из поставленных вертикально громадных песчаниковых глыб прямоугольной формы. В среднем вес такой глыбы составляет 25 тонн. На них уложены плиты-перемычки весом около 7 т. Чтобы закрепить ее наверху использовали систему шипов и пазов. Для этого на верхнем конце вертикально стоящих блоков вытачивали каменные штыри, а с нижней стороны перемычки – отверстия под них.



Рис. 2.6. Кромлех Стоунхендж, Солсбери, Великобритания

Стоунхендж был главным святилищем полукочевых племен, населявших эту местность. Здесь проводились ритуальные празднества, совершались погребения, устраивались собрания. Эта постройка также использовалась для проведения точных астрономических наблюдений и служила гигантским календарем.

Древние мастера умело обрабатывали каменные глыбы, используя технику удара, а также попеременное нагревание огнем костра и охлаждение холодной водой.

Скальные **храмы в Абу-Симбеле** вырублены в песчаниковых скалах на западном берегу Нила неподалеку от Асуана. Самый известный из них – Большой храм (рис. 2.7), перед фасадом которого восседают на тронах, словно несут свою стражу, четыре каменные фигуры высотой по 22 м каждая.

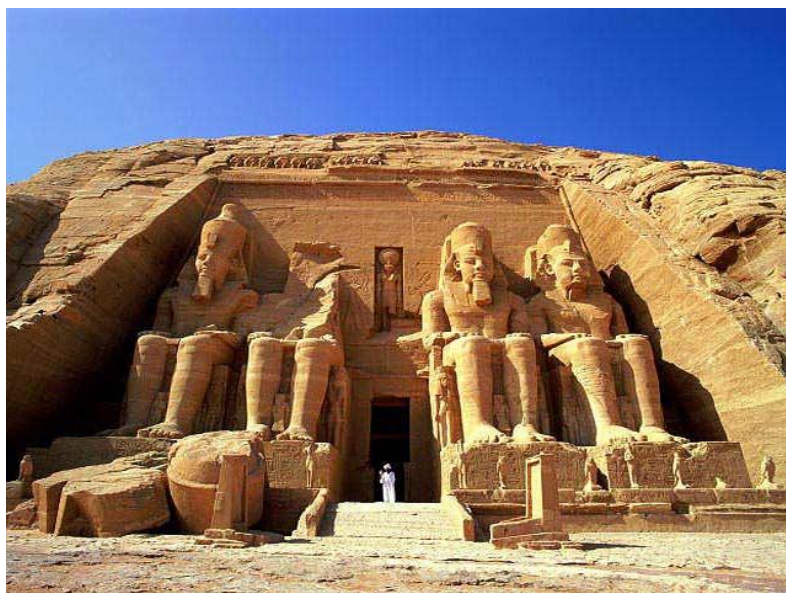


Рис. 2.7. Большой храм в Абу-Симбеле, Египет (около 1250 г. до н.э.)

Только ради строительства этого святилища, возведенного по приказу фараона Рамсеса II, пришлось вырубить в скальной толще около 10 000 м³ горной породы. В 200 м от этого храма расположен Малый храм, посвященный Нефертари – супруге Рамсеса.

После возведения в Египте Асуанской ГЭС храмы в Абу-Симбеле оказались в зоне затопления в результате возникновения искусственного озера. Для спасения этих шедевров Египта ЮНЕСКО предприняла уникальную акцию. При участии нескольких международных фирм (Германия, Италия, Швеция, Франция и др.) храмы были распилены на более чем 1000 фрагментов и перенесены на безопасное место – площадку расположенную выше прежнего места их расположения. Здесь уникальные сооружения были собраны заново. Отдельные блоки склеивались между собой смесью песка и синтетических смол.

Великая Китайская стена по праву считается величайшим достижением мировой цивилизации (рис. 2.8). Это сооружение единственное из рукотворных земных объектов, которое четко просматривается из космоса. Проект Китайской стены даже на бумаге был грандиозным и впечатлял размахом. Общая длина стеного укрепления должна была составить более шести тысяч километров. Стена должна была проходить от самого побережья Восточно-Китайского моря до труднодоступных отрогов Тибета. Масштабные работы по возведению стены начались в 220-х годах до нашей эры, в них участвовали миллионы людей. По проекту на расстоянии около семи метров напротив друг друга возводились две основные несущие стены толщиной чуть меньше метра из песчаника твердых пород. Образовавшийся промежуток засыпали грунтом с глиной и тщательно утрамбовывали. Ширина стены такова, что на ней свободно могут разъехаться шесть тяжеловооруженных всадников. Через равные промежутки длиной около полукилометра стена прерывается массивными сторожевыми башнями (всего

около 25 000 шт.).



Рис. 2.8. Великая Китайская стена

Процесс постепенного перехода от дерева к камню как основному строительному материалу в разных странах происходил в различные периоды времени. В Древней Греции это происходило около VII...VI в. до н.э. Однако попытки строить из камня так же, как из дерева, потерпели крах – здания рушились, как только пролет конструкции превышал его шестикратную высоту. Это обусловлено тем, что прочность природного камня на изгиб (растяжение) в десятки раз меньше его прочности на сжатие*.

Впервые сложившаяся еще в Древнем Египте каменная стоечно-балочная система (храм Сфинкса в Гизе, начало III тыс. до н.э.), получившая повсеместное применение благодаря конструктивной простоте, достигла окончательного характера в древнегреческой архитектуре. Каменные конструкции греческих храмов часто выполняли из двух и даже трех параллельно уложенных блоков. Причем для увеличения сопротивления изгибу каменные блоки клали «на ребро», то есть высота их была больше ширины. Нередко в одном и том же храме применяли и каменные и деревянные балки.

Лучше других камней на изгиб работают мелкозернистые граниты и мрамор, но и их прочность слишком мала и нестабильна. В ранних храмах малые пролеты зрительно компенсировались приземистостью колонны и расширяющимися кверху капителями. В главном храме Афинского Акрополя **Парфеноне** (447...436 гг. до н.э.) свободный пролет большинства балок не превышает 2,5 м, хотя кажутся они длиннее (рис. 2.9). Максимальный размер балки в Пропилеях

* Для гранита со средней плотностью 2600...2700 кг/м³ предел прочности при сжатии равен 100...300 МПа (1000...3000 кгс/см²), а при растяжении – около 1/40...1/60 от величины предела прочности при сжатии.

достигал 5,43 м, а в храме Артемиды в Эфесе – 6,12 м [1, 2].



Рис. 2.9. Парфенон, Афины, Греция

Несмотря на некоторые недостатки, природный камень широко использовался архитекторами и строителями на протяжении многих веков. Известно, что четыре из семи Чудес Света – египетские пирамиды, уже упомянутый храм Артемиды в Эфесе, мавзолей в Галикарнасе и Александрийский маяк на острове Фарос – были сделаны из камня.

Противоречия каменной кладки в работе на сжатие и растяжение, мешавшие преодолеть максимальный пролет в 4 м, были разрешены изобретением свода, в котором природный камень работает в основном на сжатие. Долгое время считалось, что своды изобрели этруски – древние жители Италии, до сих пор сохранились римские мосты, возведенные руками этрусков, обнаружены даже целые погребальные города со сводчатыми склепами.

Ярким примером применения каменных блоков в строительстве арок является **акведук Пон-дю-Гар – Гарский мост** (рис. 2.10), построенный римлянами в I в. до н.э. во времена правления императора Августа. Мост переброшен через реку Гар, текущую на юге современной Франции. Акведук был частью целой инженерной системы длиной 48 км, по которой вода из источника текла в город Ним. Перепад высот в начале пути воды у источника и в конце пути в Ниме составляет 17 м. Сооружение состоит из трех ярусов, нижний ярус – из 6 арок, только одна из которых является несущей, второй ярус – из 11 арок. Вода текла по самому высокому ярусу, включающему 35 арок. Гарский мост идеальный образец кладки из тесаного камня. Тщательно подогнанные каменные блоки были уложены без известкового раствора. Самый большой из них весит 6 т. Высота акведука составляет 47 м, его общая длина – 275 м. До сих пор акведук используется как переправа через реку [9, 12].



Рис. 2.10. Акведук Пон-дю-Гар, Франция

На сегодняшний день **Роквиллский мост** является самым длинным мостом в мире, возведенным из камня. Этот уникальный мост воздвигнут в 1901 г. через реку Саскуэханну в штате Пенсильвания (США) между городами Филадельфия и Питсбург. В качестве строительного материала был избран местный камень-песчаник, добывавшийся в карьерах на западе штата. Всего на строительство моста ушло 196 000 т камня. Роквиллский мост состоит из 48 арочных пролетов, каждый из которых имеет длину 21 м. Общая длина моста 1161 м.

Арочные сооружения из природного камня довольно широко встречаются в различных частях света. Путь к аркам и сводам, по-видимому, лежит от древней конструкции «карточного домика» – двух прислоненных друг к другу каменных плит до сочетания трех блоков, замыкающих пролет.

Возникавшие новые инженерно-технические проблемы арочных и сводчатых конструкций (толщина опор, геометрическая форма, увеличение пролета, способ кладки) решали, по-видимому, ценой терпеливых поисков, а порой и строительных катастроф. Часть же этих проблем удалось решить много позже в результате применения в строительстве металла и бетона.

В течение многих столетий, природный камень был основным материалом, используемым для кладки стен. Даже несмотря на конкуренцию со стороны искусственных строительных материалов, таких как стекло и керамика, камень оставался востребованным. Многие величайшие постройки древности сохранились благодаря его долговечности.

Храмовый комплекс Боробудур – буддийское святилище на острове Ява покоится на огромной квадратной платформе площадью 123×110 м (рис. 2.11). Девять террас, пирамидально сужаясь, ведут наверх. Посередине эта величественная постройка увенчана большой полый ступой, напоминающей, скорее, колокол. С каждой из четырех сторон храма находятся каменные лестницы, устремленные к его вершине, – туда, где находится так называемая главная ступа. На пути к ней располагаются свыше 500 статуй Будды, 2500 настенных релье-

фов и 1473 малых ступы. Всего на строительство святилища было израсходовано около 55 тыс. м³ вулканических пород.



Рис. 2.11. Храмовый комплекс Боробудур, о. Ява, Индонезия (778-850 гг.)

Комплекс был сооружен в 778...850 гг. Около 1000 г. на Яве произошло мощное извержение вулкана и весь храмовый комплекс был засыпан толстым слоем вулканического пепла и залит расплавленной лавой. Позднее отдельные части памятника, еще возвышавшиеся над землей, были уничтожены религиозными фанатиками и простыми грабителями.

В XIX в. значительная часть этого буддийского святилища была раскопана, но только в XX в. Началось подлинное возрождение забытого храма. В 1973 г., после подготовительных работ, продолжавшихся не один год, международная группа реставраторов, действовавшая под эгидой ЮНЕСКО, приступила к восстановлению памятника. Для спасения храма, его пришлось разобрать на камни, забетонировать холм, на котором он стоит, и откачать грунтовые воды. Затем Боробудур был собран снова. Любой из пронумерованных перед началом работы камней теперь опять находится на своем прежнем месте. В 1983 г. правительство Индонезии торжественно открыло храмовый комплекс [9, 25].

Храм Кайласа (рис. 2.12) – самый грандиозный из скальных святилищ, возведенных близ индийской деревни Эллора. Своим названием он обязан священной горе Кайлас, расположенной в Гималаях. Согласно индийским мифам на ее вершине пребывал могущественный бог Шива. Весь храм, со всеми украшениями и архитектурными элементами, вырублен в толще скалы, уходя на 40 метров вглубь земли. Собственно храмовые постройки покоятся на мощном каменном постаменте. Его наибольшая длина в поперечники составляет почти 100 м, а ширина – 60 метров. Перед храмом простирается площадь, также вырубленная в толще горы. С двух сторон ее обступают отвесные стены скал. В них располагались монастырские кельи, обустроенные в два, а то и три этажа. Врата, ведущие в храм, украшены с обеих сторон изображениями Шивы

и Вишну. В украшениях храма Кайласа можно увидеть рельефы, которые считаются одними из лучших произведений старинного индийского искусства резьбы по камню.



Рис. 2.12. Храм Кайласа, Индия (757-968 гг.)

Храм Кайласа – всего один из 34 храмов, вырубленных в отвесной стене скал, протянувшейся почти на два километра. Расположен этот уникальный комплекс святилищ на территории индийского штата Махараштра. Он сооружался на протяжении пяти столетий, и теперь здесь буквально соседствуют друг с другом святилища трех разных религий – буддийские, индуистские и джайнские храмы [25].

Месquita в Кордове (рис. 2.13) является мечетью в Андалусии, области на юге Испании. Мечеть возведена в 784...786 гг. на площади, сравнимой по размерам с той, что занимает базилика святого Петра в Риме. В общей сложности здесь сооружено 860 расположенных параллельными рядами колонн вырубленных из мрамора, гранита, порфира. В свое время это была самая большая мечеть в мире. Здесь могло собраться около 30 тыс. верующих (!).



Рис. 2.13. Месquita, Кордова, Испания (VIII-X в.)

В Средние века Кордова была одним из культурных и религиозных центров мусульман в Европе, средоточием интеллектуальной жизни, оплотом искусства и науки, в то время как христианский Запад переживал упадок. После освобождения Испании от мусульман Месquita была превращена в церковь.

Среди джунглей Камбоджи затерян город Ангкор. В IX-XV вв. он был столицей Кхмерского царства. **Ангкор-Ват** (рис. 2.14) – самый величественный храм не только этой древней столица. Он считается самым большим храмом в мире. Ангкор-Ват состоит из нескольких башен, соединенных между собой длинными галереями. Стены галерей пышно украшены рельефами. Эти галереи и башни расположены на трех возведенных одна на другой террасах, причем самая высокая находится посередине храма. Таким образом, Ангкор-Ват напоминает, скорее, гору или пирамиду. Он окружен прямоугольным каналом, заполненного водой, так что попасть в храм можно, лишь миновав плотину.



Рис. 2.14. Храм Ангкор-Ват, Ангкор, Камбоджа (XII в.)

Основным материалом для строительства служил песчаник и различные вулканические горные породы. На строительстве Ангкор-Вата («столицы-монастыря»), начатого в XII в. По приказу правителя кхмеров Сурьявармана II, было занято около миллиона человек и около 40 тыс. слонов. После возведения храма при нем была сооружена и усыпальница, в стенах которой похоронили останки прославленного правителя.

Эрозия сильно повредила храм и его скульптуры. В тропиках перепад между дневной и ночной температурой очень заметен. Пористые вулканические породы, как губка, впитывают и выпадающие осадки и пары влаги, содержащиеся в воздухе. Все это губит удивительное сооружение кхмеров. Вот почему Ангкор-Ват включен не только в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО, но и в «Красный список», как памятник, которому грозит разрушение. [9, 25].

Исаакиевский собор (рис. 2.15), строительство которого было начато еще

при Петре I, а потом продолжено при Екатерине, Павле и Александре I, был сооружен из полированного выборгского гранита. Из него выполнены 116 цокольных колонн и 48 колонн портика высотой 17 м, диаметром 1,8 м и массой около 100 т. Здание собора занимает территорию близкую по площади к 1 га.



Рис. 2.15. Исаакиевский собор, Санкт-Петербург, Россия (1818-1858 гг.)

Для внутреннего убранства собора применена изумительная гамма разноцветных камней. Здесь был использован русский, итальянский и французский цветной мрамор, малахит и лазурит [26].

Замок Нойшвайнштайн (рис. 2.16), затаившийся в Баварских Альпах, был возведен по приказу Людвига II в конце XIX века. На его возведение только в 1878-1880 гг. было израсходовано 465 т мрамора, 1550 т песчаника, а также более 3600 м³ песка. Помимо природного камня, при строительстве были использованы и искусственные строительные материалы и изделия, такие как цемент (свыше 600 т), известь и кирпич (более 400 000 шт.).



Рис. 2.16. Замок Нойшвайнштайн, Фюссен, Германия (1869-1892 гг.)

Международный аэропорт Кансай (рис. 2.16) считается одним из наиболее ярких архитектурных проектов последних десятилетий. Он был возведен в бухте Осака на искусственном острове площадью 5 га. При строительстве аэропорта в море было сброшено 180 млн. м³ грунта (песка, щебня, гальки, валунов).



Рис. 2.16. Аэропорт Кансай, Осака, Япония (1987-1994 гг.)

Сейчас природный камень применяют как долговечный и декоративно-отделочный материал для наружной и внутренней облицовки, а также покрытий полов, мощения дорог, в качестве крупного заполнителя в бетонах и др. Однако разработка более дешевых и легких искусственных материалов, возрастающие объемы потребностей строительных материалов привели к тому, что природный камень стал сдавать свои позиции.

Новая технология скоростного сверхтонкого пиления облицовочного камня, почти полная утилизация отходов камнеобрабатывающих предприятий вернули этому материалу его достойное место в палитре современного архитектора и строителя.

В настоящее время природные каменные материалы широко применяют в архитектурно-строительной практике:

- для получения **нерудных материалов** (щебень, гравий, бутовый камень, песок и др.). Данный материал в основном используется для производства строительных бетонов и растворов, дорожного цементобетона, асфальтобетона и др.;
- для изготовления **штучных камней и блоков** правильной геометрической формы (бутовый камень, шашка для мощения дорог, брусчатка, бортовые камни, плиты парапетные и карнизные, плиты тротуарные, стеновые камни и блоки);
- для изготовления **облицовочных декоративных изделий** со специально обработанной поверхностью (плиты, плитки, фасонные и профильные элементы для наружной и внутренней отделки).

2.4. Использование керамических изделий в архитектурно-строительной практике

Керамика (термин «керамика» происходит от греческого слова κέραμος – глина) – самый древний искусственный строительный материал. Первые глиняные изделия – фигурки людей, животных – известны еще в эпоху палеолита. Около V тыс. до н.э. в разных частях земли независимо друг от друга люди начали применять обжиг глиняных изделий с целью придания им водостойкости и прочности. Так делали, например, сосуды для варки и хранения пищи. Применять глазурированный кирпич и черепицу начали более 3000 лет назад.

Одним из первых примеров применения керамики в строительстве являются глинобитные жилища трипольской культуры (IV...III тыс. до н. э.), которые обжигали снаружи кострами и иногда расписывали.

Несмотря на то, что керамика имеет многовековую историю применения в различных областях, в том числе и в строительной практике, она и сегодня не утратила своих ведущих позиций по значимости и объемам производства среди других строительных материалов. Это объясняется следующим: из керамики можно получать широкую номенклатуру изделий с любыми заданными свойствами; наличием больших запасов повсеместно распространенного сырья; сравнительно простотой технологией; высокой долговечностью и экологической безвредностью керамических материалов.

Керамический кирпич является самым древним искусственным строительным материалом. Идея создания полноценной замены природному камню родилась на заре человечества. В период неолита, нового каменного века, человечество изменило образ жизни с кочевого на оседлый. Появившиеся крестьяне стали разводить скот, заниматься земледелием, строить небольшие поселения. Для этого использовалась глина, из которой вручную формовались кирпичи и сушились под солнцем.

Прародителем современного кирпича был кирпич сырцовый, до сих пор являющийся распространенным строительным материалом в южных районах Азии и Африки. Глина, вода, солома, солнце – вот основные составляющие саманного кирпича. Преимущества саманных кирпичей вполне очевидны: они дешевы, для их производства не требуется практически никаких специальных знаний. Для того чтобы сделать из высушенного кирпича прочный кладочный кирпич, необходимо обжечь глину при температуре 950...1150 °С. Режим обжига имеет большое значение: если температура слишком высокая, то он сплавляется в бесформенную стеклообразную массу, если она слишком низкая, то обожженный кирпич имеет низкую прочность и рассыпается. Поэтому производство обожженных кирпичей требует специального мастерства и сопровождается большими экономическими затратами (возведение печей, расходы на топливо и др.).

Необожженные глиняные кирпичи имеют низкую прочность, размокают от дождя. Обожженные кирпичи прочны и водостойки. Благодаря прочности и

твердости они стали в античные времена символом вечности и победы людей над временем. Обожженный кирпич считался ценным и изысканным материалом, который можно было использовать только для строительства храмов и дворцов - местопребывания богов и резиденций царей.

В Древнем Египте и Вавилоне впервые стали применять кирпич как конструкционный материал (сначала сырцовый, затем – обожженный), так же как и цветную глазурь для посуды (около XV в. до н. э.). В Месопотамии формовались и обжигались первые кирпичи.

Для кладки высушенных на воздухе или обожженных кирпичей требовался раствор, в качестве которого часто использовалась глина, смешанная с соломой или навозом домашних животных. В древних культурах в качестве раствора использовались гипс, известь и битум. Битум, составная часть нефти, собирающейся на поверхности земли в виде луж, использовался в качестве уплотнительной массы, которая после высыхания становилась водоотталкивающей. Известь изготавливалась из известняка путем обжига при температуре около 1000 °С, смешивалась с водой, образуя вязкую массу, идеальную для приготовления раствора и штукатурки. Известковая штукатурка появилась приблизительно в одно время с обожженным кирпичом. Гипсовый раствор получали путем обжига гипса. Причем для его обжига достаточной была температура 125 °С, которую дает простой огонь.

Стены Вавилона – самые красивые, самые громадные и самые хитроумные стены, которыми когда-либо были обнесены города Древнего Востока. Вавилон был огражден двумя рядами стен, защищавших его. Внешняя стена шириной от 6,5 до 7,8 м была сложена из дорогого обожженного кирпича, отличавшегося большой прочностью и твердостью. Внутренняя стена шириной от 3,7 до 7 м была, наоборот, сооружена из необожженного кирпича. Кирпичи скрепляли между собой горячим асфальтом. Проем между стенами шириной от 9 до 12 м был засыпан галькой и щебнем. Колесница, запряженная четверкой лошадей, могла не только проехать по стене, но и свободно развернуться на ней. За внешней стеной пролегал ров с водой. Чтобы не допустить подмывания крепостных стен, жители Вавилона возвели перед городом еще одну защитную стену из обожженного кирпича. Ее высота достигала 3 м, а ширина – 3,3 м.

Вдоль стен высились более трех сотен смотровых башен. Внутрь города вели великолепные ворота. Самые знаменитые из них – ворота Иштар в северной части метрополии, облицованные голубыми глазурованными изразцами. сегодня передней частью этих ворот, как и фрагментами самих стен, можно любоваться в Берлине в музее Пергамон (рис. 2.16).

Производство глазурованной строительной керамики и кирпичных плиток для мощения издавна развивалось и у народов Востока. В Византии обожженный кирпич многие века был основным строительным материалом. Кладка выполнялась на известковом растворе, в который добавляли толченую кирпичную крошку. Иногда ряды кирпича чередовались с рядами из природного камня.



Рис. 2.16. Стены Вавилона, музей Пергамон, Берлин, Германия (VI в. до н.э.)

В Древней Греции и в Древнем Риме изготавливали черепицу, водопроводные керамические трубы, терракотовые архитектурные детали. Кроме того, в Древнем Риме было широко развито производство кирпича для кладки арочных и сводчатых конструкций, мостов, акведуков. Так, кирпич, наряду с природным камнем, использовали при постройке **Колизея** (рис. 2.17) в I в. н.э.



Рис. 2.17. Колизей, Рим, Италия (I в. н.э.)

Неточные размеры и формы кирпичей были их большим недостатком. Поэтому кладка велась с использованием толстых слоев раствора, имевшего значительно меньшую прочность, чем сами кирпичи. Изобретение пресс-формы – первая великая техническая инновация при производстве кирпича и

значительный прогресс в строительной практике. Самые древние изображения форм для производства кирпича находятся в гробнице Рехмира в Фивах (Луксор), который занимал пост визиря во время правления Тутмоса III в Египте в 1450 г. до н. э..

Между изобретением кирпича ручной лепки и его производством в формах существовала промежуточная ступень, когда глина лепилась руками, а края выравнивались дощечками. Такие кирпичи, не были прямоугольными и ровными, хотя и имели гладкие края. Они обнаружены в Южной Месопотамии и датируются 6300 г. до н. э.

Керамические изделия (кирпичи, облицовочная плитка и др.) широко использовались мастерами Востока для возведения и отделки зданий. Примером этого является **мавзолей Гур-Эмир** (рис. 2.18) – гробница великого азиатского завоевателя Тимура (Тамерлана) в Самарканде. Строительство этой усыпальницы, больше похожей на дворец, началось в 1400 г. Ее венчает громадный голубой рифленый купол, похожий на вязаную шапочку. Поверхность купола полностью покрыта геометрическим орнаментом в виде ромбов, который выложен из разноцветных изразцов.



Рис. 2.18. Мавзолей Гур-Эмир, Самарканд, Узбекистан (1400 гг.)

Арка портала облицована резным кирпичом и разноцветной мозаикой. Стены украшены белыми и бирюзовыми изразцами на фоне неглазурованного кирпича. Монументальной и величественной композиции красочных архитектурных масс соответствует пышное решение интерьера.

Архитектура мавзолея отличается своеобразием форм, величественностью масштабов и совершенством конструкции. Недаром Гур-Эмир занимает особое место в истории архитектуры Среднего Востока.

Мечеть Дженне (рис. 2.19) – самая большая в мире мечеть, построенная из глины. Строители смешивали глину с песком, соломой и водой, а затем прессовали из нее кирпичи, которые быстро высыхали под жарким африканским солнцем. Полученные кирпичи скрепляли глиняным раствором и затирали швы шпатлевкой, тоже на основе глины.



Рис. 2.19. Мечеть Дженне, Мали (XIII-XX вв.)

Однако, необожженная глина непрочный и не водостойкий строительный материал. Мечеть постепенно размывают дожди и она теряет свой первоначальный облик. Для поддержки сохранности уникального сооружения жителям Дженне приходится часто ремонтировать и даже перестраивать его целиком. Современная мечеть это уже третье по счету здание, построенное в 1907 г. почти заново на этом месте. Сооружение первой мечети датируется XIII в.

Мечеть Дженне имеет 3 минарета высотой по 50 м. Для укрепления минаретов и стен здания, а также для уменьшения разрушения от ливней и перепадов температур применены бруски пальмового дерева повсюду торчащие из сооружения.

Альгамбра (рис. 2.20) – самая большая мавританская крепость на территории Испании. Для ее постройки использовался керамический кирпич. Снаружи дворец выглядит как обычная средневековая крепость. Внутри открываются изысканные полные роскоши дворцовые постройки – шедевр мавританского зодчества. Весь архитектурный ансамбль Альгамбры сооружен в XIII...XIV вв.

Дворцовый комплекс Альгамбры включен в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО.



Рис. 2.20. Альгамбра, Гранада, Испания (XIII-XIV вв.)

Средневековые зодчие Европы продвинулись значительно дальше своих «древних» предшественников. Они использовали не только конструкционные возможности кирпича, но и декоративные. Наряду с узорной кладкой широкое применение получило ее сочетание с терракотовыми и майоликовыми деталями. Европа благодарно впитывала в себя опыт народов и тысячелетий. На территории Германии кирпич дал название целому стилю в архитектуре – кирпичная готика. Этот стиль господствовал здесь на протяжении XII...XVI веков.

В Западной Европе, где большинство зданий возводилось из камня, кирпич появился во времена крестовых походов. В сыром европейском климате долго прослужить мог только обожженный кирпич, поэтому местные мастера создавали вместительные печи для обжига, а потом и устройства для автоматической формовки.

Помимо керамического кирпича широко использовалась и черепица. Именно глиняная черепица была применена при строительстве купола **Флорентийского собора** (Санта-Мария-дель-Фьоре), изображенного на рис. 2.21.



Рис. 2.21. Собор Санта-Мария-дель-Фьоре, Флоренция, Италия

Вся поверхность купола между восемью угловыми ребрами была покрыта черепицей. Чем ближе к вершине купола, тем легче становилась она. Для этого, по распоряжению архитектора проекта Филиппо Брунеллески, в глину, из которой изготавливали черепицу, добавляли солому.

Вместе с христианством, научными знаниями и основами живописи обожженный кирпич – плинфа появился на Руси из Византии. Князь Владимир, приняв христианство, начал строить церкви, храмы, соборы. Все передовое на Руси возникало в монастырях и распространялось по стране. Первые кирпичные мастерские тоже сооружались при монастырях. В первую очередь их продукция шла на нужды храма и братии. Считается, что первым кирпичным сооружением на Руси стала **Десятинная церковь** в Киеве (рис. 2.22).



Рис. 2.22. Десятинная церковь, Киев, Русь

Церковь была построена по указанию князя Владимира после крещения киевлян в христианскую веру. На ее строительство и содержание князь Владимир отдавал 10-ю часть своих доходов, что и дало название. Строили церковь греческие мастера по Константинопольскому образцу. Материалом для постройки служил квадратный тонкий кирпич на толстых слоях известкового раствора. Церковь стояла на высоком берегу Днепра, подверженному оползням. Поэтому под фундамент вбивали сваи, в качестве которых использовали толстые просмоленные дубовые бревна. Венчали храм 25 позолоченных глав. К его центральной части примыкали 4 предела – церкви меньших размеров, находящиеся в основном объеме здания.

В XIII в. при взятии Киева татара-монглами церковь была подожжена и рухнула. В XV в. ее восстановили, однако во время Великой Отечественной Войны она была взорвана.

Первые кирпичные дома, в основном княжеские хоромы, стали сооружать в IX веке. Кирпич стал очень популярным сначала, среди знати и людей торговых.

Первые кирпичные заводы появлялись при гончарных мастерских, так как

это ремесло существовало уже давно и в них имелись опытные мастера, которые умели обращаться с глиной. Но в гончарном производстве глина должна была быть высокого качества, требовала тщательной переработки, поэтому гончарной продукции выпускалось мало. А поскольку в изготовлении кирпича основное внимание уделялось количеству, а не качеству, то вскоре заводы стали выходить из-под «опеки» гончаров. В 1475 г. был построен первый в России кирпичный завод.

Первым кирпичным домом в Санкт-Петербурге стали палаты адмиралтейского советника Кикина, построенные в 1714-1720 гг. А первым крупным кирпичным строением города стал Меншиковский дворец (1710-1727 гг.). И уже тогда, в XVIII в., в России все производители были обязаны ставить клеймо на свои кирпичи, так как только этот способ позволял выявлять бракоделов.

Одним из лучших в мире памятников зодчества из керамического кирпича является **храм Василия Блаженного** на Красной Площади в Москве. Неповторимые композиции и разнообразие архитектурных форм созданы путем применения 18 типоразмеров фасонного кирпича (рис. 2.23).



Рис. 2.23. Храм Василия Блаженного, Москва, Россия

До XIX века техника производства кирпича оставалась примитивной и трудоёмкой. Формовали кирпич вручную, сушили только летом, обжигали в напольных печах-временках, выложенных из высушенного кирпича-сырца. В середине XIX века были изобретены и построены кольцевая обжиговая печь и ленточный пресс, обусловившие переворот в технике производства кирпича. В это же время появились глинообрабатывающие машины: бегуны, камневыделительные вальцы, глиномешалки.

Весь дальнейший прогресс производства и применения строительной ке-

рамики, расширение ее ассортимента и совершенствование свойств изделий связан с развивающимися потребностями архитектурно-строительной практики и научно-техническими достижениями в области переработки сырья и внедрения новых технологических методов в керамическом и фарфорофаянсовом производствах.

Основными технологическими видами современной керамики являются: терракота, майолика, фаянс, фарфор, каменная масса [10, 13].

Терракота (от итал. *terra* – земля, *cotta* – обожженная) – неглазурованная однотонная естественно окрашенная керамика с характерным цветным (от светло-кремового до красно-коричневого и почти черного) черепком. Имеет утилитарное и художественное применение: скульптура, малые архитектурные формы, изразцы, облицовочные плитки, стеновые материалы, архитектурные детали, вазы и др.

Майолика – керамика из цветной обожженной глины с крупнопористым черепком, покрытая глазурью. Из майолики изготавливают фризы, оконные наличники, печные изразцы и др. Одним из самых удачных и прекрасно сохранившихся до наших дней объектов с применением майолики является **мечеть Куббат-ас-Сахра** («Купол Скалы»). Куббат-ас-Сахра – старейший памятник исламской архитектуры (рис. 2.24), возведенный около 700 г. н.э. На его отделку было израсходовано 45 тыс. персидских плиток.



Рис. 2.24. Мечеть Куббат-ас-Сахра («Купол Скалы»), Иерусалим, Израиль

Фаянс – твердый мелкопористый керамический материал (обычно белого цвета), с большой пористостью и влагопоглощением (до 12 %), покрытый тонким слоем легкоплавкой глазури. Фаянс используют в производстве посуды, глазурованных белых и цветных облицовочных плиток, санитарно-технических изделий.

Фарфор – спеченный плотный водонепроницаемый керамический материал белого цвета. Сравнительные характеристики фаянса и фарфора представ-

лены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Физико-механические свойства технологической керамики

Свойства	Фарфор	Полуфарфор	Фаянс
Водопоглощение, %	0,2...0,5	3...5	10...12
Средняя плотность, кг/м ³	2250...2300	2000...2200	1900...1960
Предел прочности при сжатии, МПа	400...500	150...200	100
Предел прочности при изгибе, МПа	70...80	35...43	15...30

Каменная масса – близкий к фарфору материал, отличающийся от него цветом (серый или коричневый) и непрозрачностью. Покрытые прозрачной или матовой глазурью каменные массы используют для декоративных целей, а также для изготовления дорожных покрытий, плиток для химически стойкой облицовки.

Разнообразная номенклатура керамических материалов и изделий позволяет широко применять их в несущих и ограждающих конструкциях зданий и сооружений, в облицовке и отделке, в монументальном и декоративно-прикладном искусстве. К строительной керамике относятся также санитарно-технические изделия и трубы. Особую группу материалов составляют керамические краски, керамические покрытия, применение которых в строительстве весьма ограничено [1, 5, 7].

Стеновые изделия – широкая группа материалов, в которую входят кирпич керамический обыкновенный, а также эффективные керамические материалы (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий кирпич, камни).

Керамические кирпичи и камни применяют для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений. Пустотелый кирпич имеет сквозные пустоты, камни изготавливают только пустотелыми. Пористо-пустотелый кирпич получают аналогично пустотелому, но в состав керамической массы вводят выгорающие добавки. Легкие пористые сплошные и пустотелые кирпичи и камни изготавливают из диатомитов и трепелов.

Применение эффективных стеновых керамических материалов позволяет уменьшить толщину стен, снизить материалоемкость, сократить транспортные расходы и нагрузки на основание.

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

К изделиям для внешней облицовки зданий относятся кирпич и камни лицевые, крупноразмерные облицовочные плиты (глазурованные и неглазурованные, с гладкой, шероховатой или рифленой поверхностью), плитки керамические фасадные и ковры из них.

Изделия для внутренней облицовки представлены плитками для облицовки стен (квадратные, прямоугольные) и плитками для покрытия полов (квадратные, прямоугольные, четырех-, пяти-, шести- и восьмигранные).

Керамические изделия для кровли и перекрытий. В эту группу строительных материалов входит глиняная черепица (штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская и коньковая), а также пустотелые камни и плиты для перекрытий.

Керамические изделия для подземных коммуникаций – это канализационные трубы, имеющие цилиндрическую форму и покрытые кислотоустойчивой глазурью, и дренажные трубы, имеющие цилиндрическую форму или форму шести- или восьмигранника с глазурированной внешней поверхностью.

Санитарно-техническая керамика представлена изделиями из фаянса, полуфарфора и фарфора (умывальники, унитазаы, сливные бачки, раковины и др.).

В отдельные группы отнесены керамические функциональные и специальные материалы (**кислотоупорные, теплоизоляционные и огнеупорные керамические изделия**), которые будут рассматриваться в дальнейшем, при изучении соответствующих разделов.

В последние годы развиваются новые направления в технологии получения конструкционной керамики: конструкционно-теплоизоляционной, армокерамики, пенокерамики, крупноразмерной стеновой, окисной.

Керамическая отрасль представляет собой наиболее развивающуюся отрасль промышленности, без которой немислим дальнейший прогресс ни в строительстве, ни в машиностроении, ни в оптике, ни в медицине.

2.5. Стекло. Общие сведения, основные свойства, применение архитектурно-строительного стекла

Стекло – один из важнейших искусственных строительных материалов, представляет собой твердый, хрупкий, аморфный материал, полученный при охлаждении минеральных расплавов, содержащих стеклообразующие компоненты (оксиды кремния, бора, алюминия и др.) и оксиды металлов (лития, калия, магния, свинца и др.) [10].

Изделия на основе стекла обладают высокими механическими свойствами, оптическими (светопропускание, светопреломление, отражение и рассеивание) свойствами, звукоизолирующей способностью, химической стойкостью. Главными недостатками стекла являются хрупкость и низкая теплостойкость.

Стекло было известно с древних времен: наконечники стрел, ножи и другие изделия из природного вулканического стекла обнаруживают археологи на разных континентах. Возникновение стеклоделия ученые связывают с развитием гончарного производства, где искусственное стекло было случайным сопутствующим продуктом*.

Производство простых изделий из непрозрачного стекла, в основном украшений, началось в IV тыс. до н.э. в Месопотамии и Египте. Самое древнее из известных в настоящее время стеклянных изделий – бусина зеленоватого цвета, обнаруженная в Египте в окрестностях древнего города Фивы. В Британском музее хранится старейшая стеклянная ваза с начерченным на ней именем ассирийского царя Саргона II, жившего в VIII в. до н.э. [1].

Во II тыс. до н.э. была известна техника прессования стеклянных изделий в открытых формах. Первые стеклянные емкости делали, накручивая горячую вязкую стеклянную нить на мешок, заполненный песком, или болванку из глины. Все изменило изобретение, на котором и сейчас базируется стеклянная индустрия, – стекло научились выдувать. Мастера Древнего Рима, вероятно, первыми овладели методом выдувания. Стеклодувная трубка, изобретенная в I в. до н.э., а затем начало изготовления бесцветного прозрачного стекла стали важными этапами развития стеклоделия. В Византии в VI в. процветало изготовление непрозрачного цветного посудного стекла и смальты. В Средневековье в странах Западной Европы витражное искусство достигло большого мастерства. Непревзойденными витражами из высококачественного и чрезвычайно разнообразного по цвету стекла славятся многие готические соборы.

На Руси стеклоделие было широко развито уже в XI в. Примерно тогда же русские мастера научились делать декоративную смальту. Первый стекольный завод в России был построен в 1635 г. под Москвой. Огромная заслуга в развитии стеклоделия принадлежит М.В. Ломоносову, основавшему в 1735 г.

* Есть мнение, что стекло случайно изобрели финикийские купцы, торговавшие содой. Однажды они остановились на ночлег в устье реки Бел (Израиль) и принялись готовить еду. Так как вокруг не оказалось камней, они выложили ограду вокруг костра из кусков соды. Когда сода расплавилась и смешалась с береговым песком, образовались прозрачные ручьи новой жидкости, что и явилось началом стекла

Усть-Рудицкую стекольную фабрику.

Усовершенствование стекловаренных печей в начале XVII в. и применение для их нагрева угля позволило значительно повысить температуру варки, что сразу же сказалось на качестве материала. В это же время во Флоренции выходит первый научный труд по стеклоделанию.

Подлинной революцией в производстве стекла были изобретения XVIII столетия: промышленное производство оконного стекла, отливка зеркальных стекол на медных плитах и др.

Если в промышленности до XX в. преобладал ручной труд, то во второй половине XX в. началась повсеместная механизация, а затем и автоматизация производства многочисленных разновидностей строительного стекла.

Первым публичным зданием, возведенным из стекла, является **Хрустальный Дворец** в Лондоне (рис. 2.24). Он был возведен по проекту Джозефа Пакстона в 1851 г. из стекла и железа на территории Гайд-парка. В середине XIX в. стекло и железо все еще считались грубыми промышленными материалами, с которыми не пристало иметь дело настоящему архитектору, художники. Железные фермы, стеклянные купола – все это были приметы утилитарных построек: торговых галерей, рынков, вокзалов.

Строительство Хрустального Дворца началось в августе 1850 г., и по истечении всего пяти месяцев он был завершен. Дворец состоял из продольного здания длиной 563 м и шириной 124 м, которое пересекалось тремя поперечными пристройками. Продольные и поперечные здания были спроектированы из сборно-разборных конструкций.



Рис. 2.24. Хрустальный дворец, Лондон, Англия

По общей площади застройки Хрустальный Дворец превосходил все другие здания того времени. Площадь этого выставочного павильона, включая помещения верхних этажей, составляла 90 тыс. м².

Здесь в 1851 г. прошла Первая Всемирная выставка, на которой побывали

свыше 6 млн посетителей. По окончании выставки Дворец был разобран и перевезен в лондонское предместье Сайденхем-Хилл, где был обустроен парк, в котором проходили различные выставки и фестивали. К сожалению, в 1936 г. здание Хрустального дворца было уничтожено пожаром.

Сиднейский Оперный театр (рис. 2.25) считается одним из самых удивительных памятников мировой архитектуры. Возведенный в 1973 г. театр стал символом не только Сиднея, но и всей Австралии. Лондонская газета «Times» назвала Оперный театр «лучшим памятником архитектуры XX в.».

Купола-паруса перекрыты, словно створками, стеклянными пластинами янтарного цвета. По замыслу архитектора, датчанина Йорна Утсона, эти двойные стекла должны идеально изолировать звук, чтобы зрители, расположившиеся в зале театра, не слышали уличных шумов. Каждое такое окно собрано из двух тысяч отдельных стекол самой различной формы. Всего здесь было использовано 700 различных типов стекол.



Рис. 2.25. Оперный театр, Сидней, Австралия

Современное архитектурно-строительное стекло обладает большим разнообразием свойств. С помощью множества технологических приемов можно получить стекла, свойства которых не только заранее задаются, но и рассчитываются. Так, средняя плотность стекол может колебаться от 2,2 до 2,8 г/см³, предел прочности при растяжении 35...100 МПа, а при сжатии 580...1200 МПа. Твердость стекла по шкале Мооса – 5...7, коэффициент теплопроводности 0,7...0,8 Вт/(м·°С). Стекло обладает высокой химической стойкостью, биостойкостью, долговечностью, невозгораемостью, стойкостью к перепаду температур, влаге, солнечной радиации.

В настоящее время промышленность выпускает широкий ассортимент изделий из стекла.

Листовое стекло – основной вид стекла, используемый для остекления

оконных и дверных проемов, витрин и внутренней отделки зданий. Разновидностями листового стекла являются: оконное (выпускается толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм в виде листов размерами от 750×1300 мм до 1600×2200 мм); витринное (изготавливается полированным и неполированным, толщиной 6,5...12 мм и максимальных размеров 3000×6000 мм); увиолевое (пропускает 25...75 % ультрафиолетовых лучей); узорчатое (имеет на одной или обеих сторонах четкий рельеф); армированное; закаленное (при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми нережущими краями); матированное (обработанное пескоструйным аппаратом, что ухудшает видимость предметов сквозь него); теплозащитное (поглощает или отражает солнечные лучи); радиационно-стойкое (содержит большое количество свинца и бора).

Многослойное стекло (триплекс) состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой. Его выпускают армированным и неармированным, при ударе оно не дает осколков и является безопасным.

Светопрозрачные изделия и конструкции из стекла нашли широкое применение в строительстве в виде *стеклоблоков, стеклопрофилита, стеклопакетов и стеклянных труб*.

Стеклянные блоки – пустотелые изделия квадратной (145×145, 220×220, 295×295 мм) или прямоугольной (245×296, 245×120 мм) формы, состоящие из двух прессованных полублоков сваренных или склеенных между собой. Блоки имеют небольшую среднюю плотность 800 кг/м³, предел прочности при сжатии 4...5 МПа, низкую теплопроводность 0,46 Вт/(м·°С), достаточное светопропускание 50...65 %. Применяются для устройства светопрозрачных элементов стен, перекрытий и перегородок, остекления лестничных клеток, шахт лифтов и др.

Профильное стекло (стеклопрофилит) представляет собой погонажные длинномерные светопрозрачные изделия, применяемые для устройства светопрозрачных ограждений и самонесущих стен, внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в зданиях различного типа. Профильное стекло изготавливается открытого (швеллерное, ребристое) и замкнутого (коробчатое, овальное, треугольное и т.д.) сечений, армированное и неармированное, бесцветное и цветное.

Стеклопакеты – изделия, состоящие из двух или более листов стекла, соединенные между собой по контуру таким образом, что между ними образуются замкнутая воздушная полость (вакуум). Стеклопакеты упрощают и удешевляют процесс остекления зданий, обладают хорошей тепло- и звукоизолирующей способностью, не запотевают. Они применяются для остекления окон и дверей, витрин, зенитных фонарей зданий различного назначения.

Трубы стеклянные и фасонные части к ним применяются для трубопроводов, используемых для транспортировки жидких, газообразных и твердых агрессивных сред при температуре от – 50 °С до + 120 °С. Стеклянные трубы производятся диаметром от 40 до 200 мм и длиной от 1500 до 3000 мм. Они хорошо сопротивляются коррозии, обладают достаточной механической прочностью, гигиеничны. Основными недостатками стеклянных труб является малое

сопротивление изгибу и удару, значительная хрупкость.

Облицовочные изделия из стекла применяют для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений. Эта группа строительных изделий из стекла представлена *зеркалами* (полированное стекло с нанесением на него с одной стороны тонкого слоя алюминия или серебра); *цветным листовым стеклом*; *марблитом* (листовое, цветное, глушенное стекло толщиной 5...25 мм с полированной лицевой поверхностью и рифленой тыльной стороной); *облицовочной плитой* (неокрашенной или цветной, гладкой или рельефной) и коврами из нее; *эмалированной плиткой* (изготавливается из отходов цветного оконного или узорчатого стекла путем его резки на требуемые размеры, нанесения на одну из поверхностей непрозрачной эмали и ее сплавления); *смальтой* (кусочки глушеного цветного стекла неправильной формы).

Изделия из пеностекла получают путем вспучивания массы, состоящей из размолотого стекла, древесного угля, известняка или других материалов, выделяющих газ при температуре размягчения стекла. Пеностекло хорошо обрабатывается, склеивается, гвоздится, воздухопроницаемо и негигроскопично. Изготавливается в виде *блоков и гранул*.

Блоки из пеностекла применяются для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования, холодильников (в интервале рабочих температур от -260 до + 430 °С и относительной влажности до 97 %).

Гранулированное пеностекло применяется в качестве особо легкого заполнителя в производстве легкого или теплоизоляционного бетона. Насыпная плотность гранулированного пеностекла 100...150 кг/м³.

Стекловолоконное применяется в производстве композиционных строительных материалов в виде *непрерывных нитей, холста, тканей, рубленого стекловолокна и стекловаты*. Диаметр стекловолокон 5...15 мкм, прочность их при растяжении достигает 4000 МПа.

Непрерывное стекловолокно получают из расплава методами механического вытягивания из фильер плавильных ванн и намотки. Короткое волокно получают центробежным или дутьевым способами.

Стекловолокнистый холст представляет собой тонкий листовой материал из переплетенных непрерывных волокон, скрепленных синтетическим связующим. Применяется как полуфабрикат для изготовления гидроизоляционных и кровельных материалов, в частности стеклорубероида.

Стеклоткани применяются для изготовления стеклотекстолитов на полимерном связующем, а также в строительстве при теплоизоляции трубопроводов.

Рубленое стекловолокно получают резанием непрерывного стекловолокна и применяют для повышения прочности различных изделий на основе минеральных связующих и в производстве стеклопластиковых светопрозрачных плоских и волнистых листов для кровли и обшивок трехслойных панелей.

На основе стекла созданы микрокристаллические материалы – **ситаллы и шлакоситаллы**. Эти стеклокристаллические материалы впервые изготовлены в 50-е годы XX в. Они отличаются долговечностью, термостойкостью, отсут-

вием пористости, высокой прочностью, износостойкостью, стойкостью к действию различных агрессивных сред. Сырьем для получения ситаллов являются те же компоненты, что и для получения обычного стекла (кварцевый песок, доломит, известняк, сода), но к их чистоте предъявляются очень высокие требования. Кроме того, в состав вводят специальные добавки, регулирующие процесс кристаллизации и корректирующие состав и свойства изготавливаемых материалов. Ситаллы могут быть темного, серого, коричневого, кремового, светлого цветов, глухие и прозрачные.

Сырьем для производства шлакоситаллов являются кварцевый песок и шлаки (металлургические, топливные). Применяют ситаллы и шлакоситаллы для устройства полов промышленных цехов, в которых могут быть проливы кислот, щелочей, расплавов металлов, а также движение тяжелых машин. Высокую эффективность дает применение стеклокристаллических материалов в производстве химической аппаратуры и труб для транспортировки высоко агрессивных сред.

К стеклам относят также **растворимое стекло**, представляющее собой твердый стекловидный сплав, состоящий из кремнезема и оксидов щелочных металлов (натрия, калия). В отличие от обычных стекол растворимое стекло образует с водой клейкую жидкость (жидкое стекло), широко применяемое для склеивания элементов конструкций из картона, дерева, силикатных материалов, а также стекла и металла. На основе жидкого стекла изготавливают экономичные и долговечные силикатные краски для наружной и внутренней отделки стен. Жидкое стекло применяют также для обработки древесины, тканей и других материалов с целью повышения их огне- и биостойкости. Силикатирование грунтов используют для укрепления оснований под фундаментами и для защиты от грунтовых вод при прокладке туннелей и других работах. Широко используют жидкое стекло в производстве специальных (быстротвердеющих, кислотостойких) цементов, огнеупорных замазок и бетонов.

Строительные материалы из стекла оказали огромное влияние на современную архитектуру. Удивительна сочетаемость стекла практически со всеми строительными материалами (бетоном, камнем, деревом, пластмассой и др.). Такие свойства стекла, как прозрачность, высокая химическая стойкость и достаточная механическая прочность, позволяют применять его там, где затруднено, а порой и совершенно исключено применение других строительных материалов. Стекло используют для остекления, как конструкционный и конструкционно-отделочный, тепло- и звукоизоляционный материал, как свето- и теплоотражающий материал. Современное архитектурно-строительное стекло с его высокими прочностными и оригинальными эстетическими характеристиками предоставляет разнообразные возможности для выражения творческих замыслов архитектора. Все это убедительно доказывает, что в ближайшем и отдаленном будущем стекло будет являться наиболее перспективным строительным материалом.

2.6. Металлы в строительной практике. Свойства, область применения. Металлические конструкции

Среди всех известных в настоящее время химических элементов примерно 4/5 металлы и лишь 1/5 неметаллы.

Металл – относительно новое приобретение техники по сравнению с древесиной и камнем. Именно металлам принадлежит ведущая роль в современной и, вероятно, будущей строительной технике. Такому успеху они обязаны, прежде всего, наличием ценных свойств, таких как высокая прочность, тепло- и электропроводность, пластичность, способность работать при относительно низких и высоких температурах и т.д., а также достижениям металлургии, металловедения, обеспечившим дешевые и многотоннажные способы получения металла из руды.

Наряду с положительными свойствами металлы обладают и существенными недостатками: имеют большую среднюю плотность, под действием различных газов и влаги корродируют, а при высоких температурах значительно деформируются [2, 7].

В строительстве обычно применяют не чистые металлы, а сплавы, представляющие собой твердые системы, полученные сплавлением нескольких металлов или металлов с неметаллами (например, железуглеродистые сплавы). В настоящее время известно более 10 000 используемых в технике сплавов.

Все металлы и металлические сплавы делят на две основные группы (рис. 2.26): *черные и цветные*. К **черным металлам** относят *железо* и его сплавы с углеродом, кремнием, марганцем, фосфором, серой и др. элементами, а также *чугун* и *сталь*. На их долю приходится около 95 % металлопродукции мирового производства.

Сырьем для получения черных металлов служат железные руды, представленные минералами – магнетитом (Fe_3O_4), гематитом (Fe_2O_3), хромитом ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) и др.

Железо – блестящий серебристо-белый металл, широко распространенный в природе, хотя в свободном состоянии встречается крайне редко. Оно пластично, легко куется в холодном и нагретом состоянии, поддается прокатке, штамповке и другим способам механической обработки.

Чугун – сплав железа с углеродом (более 2 %), содержащий постоянные примеси кремния, марганца, фосфора и серы. Он обладает низкими механическими свойствами, но зато дешевле и легче отливается в изделия сложной формы.

Чугун получают в ходе доменного процесса, основанного на восстановлении железа из железных руд коксом при высокой температуре. В готовом чугуне содержится около 93 % железа, до 5 % углерода и небольшое количество примесей кремния, марганца, фосфора, серы и некоторых других элементов.

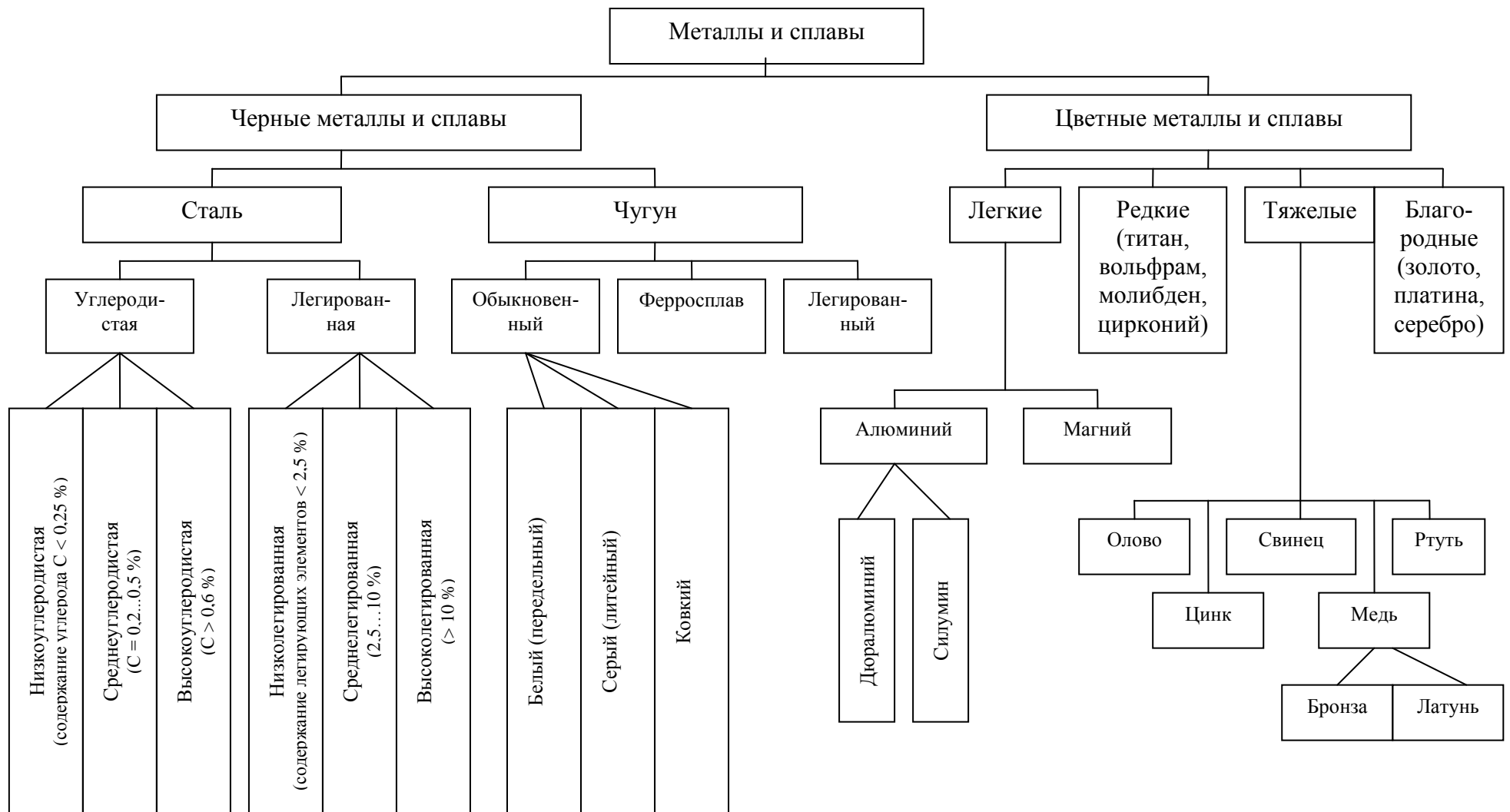


Рис. 2.26. Классификация металлов и сплавов

Сталь – сплав железа с углеродом (до 2 %) и другими элементами. Сталь получают из чугуна путем удаления из него части углерода и примесей. Существуют три основных способа производства стали: конверторный, мартеновский и электроплавильный.

По химическому составу стали делят на *углеродистые* и *легированные*. *Легированная сталь* – сталь с содержанием легирующих элементов (вольфрама, хрома, молибдена, никеля, ванадия и др.), вводимых в состав для придания определенных свойств: повышенной прочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и др. В строительстве сталь используют для изготовления конструкций, армирования железобетонных изделий, форм при изготовлении железобетонных изделий и т.д.

Цветные металлы применяют для изготовления изделий и деталей, работающих в условиях агрессивной среды, подвергающихся трению, требующих большой теплопроводности, электропроводности и уменьшенной массы. К цветным металлам относятся редкие (титан, вольфрам, молибден, цирконий), благородные (серебро, золото, платина), легкие (алюминий, магний и их сплавы) и тяжелые (олово, свинец, цинк, медь и ее сплавы) металлы.

Сырьем для производства цветных металлов являются бокситы, сульфидные и карбонатные руды меди, никеля, цинка и др.

Алюминий – легкий серебристый металл, имеющий самое широкое распространение в природе. Из-за высокой химической активности в свободном состоянии не встречается, содержится в бокситах, нефелинах, каолинах. Обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью, легко обрабатывается. В чистом виде алюминий применяют в виде алюминиевой пудры и для приготовления красок. В строительстве чаще применяют алюминиевые сплавы – силумин (сплав алюминия с кремнием до 14 %) и дюралюминий (сплав алюминия с медью, кремнием, марганцем, магнием и др.). Силумины обладают хорошими литейными качествами, малой усадкой, большой прочностью, твердостью при достаточно высокой пластичности. В последнее время алюминий и его сплавы применяют в качестве несущих и ограждающих конструкций большепролетных зданий и сборно-разборных конструкциях, эксплуатируемых в агрессивных средах.

Сплавы магния (с алюминием, марганцем, цирконием и др.) характеризуются высокими значениями прочности, жаростойкостью, самыми малыми значениями плотности (1700...1800 кг/м³) среди всех цветных металлов. Их целесообразно использовать в конструкциях с высокой стойкостью против вибрации, но необходимо защищать от коррозии.

Титан начал широко использоваться в различных отраслях техники благодаря ценным свойствам: высокой коррозионной стойкости, меньшей плотности (4500 кг/м³) по сравнению со сталью, высокими прочностными свойствами, повышенной теплостойкости.

Медь представляет собой металл красного цвета, обладающий высокой плотностью (8960 кг/м^3), теплопроводностью ($394 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$) и стойкостью против атмосферной коррозии. Встречается в природе в свободном состоянии в виде самородков, достигающих достаточно больших размеров, и в природных рудах. В чистом виде и в сплавах (бронза и латунь) применяется в архитектурно-строительной практике как конструкционный, кровельный и декоративно-отделочный материал.

Бронза – сплав меди с оловом (до 12 %), алюминием, марганцем, свинцом и другими элементами. Обладает хорошими литейными свойствами.

Латунь – сплав меди с цинком (10...40 %) и другими компонентами (марганец, серебро, алюминий). Этот металл хорошо поддается прокатке, штамповке, вытягиванию [2, 7].

Среди других цветных металлов, применяемых в незначительных масштабах в тех или иных областях строительства, можно выделить *цинк* и *свинец*. *Цинк* применяют для кровельных и защитных покрытий, а *свинец* – для зачеканки стыков элементов конструкций, футеровки кислотостойких промышленных агрегатов.

История освоения металлов уходит в глубокую древность. Первые упоминания об обработке металлов датируются IX тыс. до н.э. В Азии во II тыс. до н.э. из руды получали железо. Позже в Древнем Вавилоне и Египте железо применялось при постройке пирамид. В Древней Греции во времена Перикла (примерно к середине V в. до н.э.) уже умели не только плавить железо, но и выливать его из печи в изложницы. В дело шло сварочное (малоуглеродистое) железо, а литые изделия из чугуна, хотя и были известны в античной Греции, но из-за большой хрупкости использовались достаточно редко. Металл широко применялся при подсечном земледелии, в судостроении, для обработки дерева, для изготовления ободов колес, ступиц и упряжи, а также в различных ремеслах.

В Западной Европе и Древней Руси чугун первоначально считали отходом сыродутного процесса производства железа. Как металл для отливки различных изделий его начали выплавлять в конце XIII...XIV вв., а применять в строительных конструкциях лишь с середины XVIII в.

Уже упоминалось о случаях применения железа в античной архитектуре для армирования каменных конструкций, однако они были чрезвычайно редки. Греки и римляне предпочитали бронзу, которая не разрушалась от атмосферных осадков. Не верили в железо как строительный материал и строители (архитекторы) эпохи Возрождения.

Почти единственный пример применения железа в строительстве – это работа Микеланджело, который охватил железным кольцом купол (диаметр 42 м) **собора Святого Петра** (рис. 2.27). Это здание является самой высокой церковью мира, возведенной в эпоху Возрождения (1506...1626 гг.). Высота купола

достигает 132 м. В настоящее время собор Святого Петра – самый большой в мире христианский храм.



Рис. 2.27. Собор Святого Петра, Рим, Италия

Железные детали в виде затяжек каменных сводов применяли еще в средние века. К началу XII в. относятся первые сведения об их применении в старых русских постройках. Такие затяжки, например, использованы в сводах Успенского собора во Владимире (1158...1161 гг.). В храме Василия Блаженного в Москве (1555...1560 гг.) применены железные несущие конструкции, воспринимающие массу потолка. Металлическим является и каркас главки **колокольни Ивана Великого** в Москве, построенной в XVII в. (рис. 2.28).



Рис. 2.28. Колокольня Ивана Великого, Москва, Россия

А в середине XVII в. при строительстве Большого Кремлевского дворца в Москве были использованы железные стропила. В XVII...XVIII вв. на Руси широко развивается кузнечное дело, которое дало архитектуре множество замечательных изделий из кованого железа. Над знаменитыми коваными решетками Петербурга работали выдающиеся зодчие А.Н. Воронихин, В.П. Стасов, В.В. Растрелли, Дж. Кваренги, К.И. Росси и др. Одна из лучших декоративных оград мира – **решетка Летнего сада** – была изготовлена тульскими кузнецами в 1772...1778 гг., а медные детали к ней позднее выковали петербургские умельцы (рис. 2.29).



Рис. 2.29. Решетка Летнего сада, Санкт-Петербург, Россия

Покрытие купола Исаакиевского собора (см. рис. 2.15), имеющего диаметр 21,83 м, выполнено из чугуна и стали, что также свидетельствует о развитии техники и инженерии русской металлообработки.

В середине XVIII в. в Европе применяли тигельный процесс получения стали, который был изобретен в ранний средневековый период на территории Сирии, но потом забыт. Большую роль в выплавке железа играло топливо (древесный уголь, кокс, каменный уголь). Примерно в 1740 г. англичанин Бенджамин Хант научился плавить железо с небольшими добавками углерода. В глиняных тиглях, установленных в печах, ему удавалось выплавлять до 40 кг свободной от шлака стали. В 1784 г. изобретателем Генри Кортон была сконструирована пламенная печь, работающая на каменном угле, что позволило увеличить производительность труда почти в 20 раз.

К концу XVIII столетия производство изделий из чугуна значительно усовершенствовалось и он стал дешевым материалом. Однако его прочность на растяжение и изгиб была очень низкой, и применять его можно было только в строительных конструкциях, работающих на сжатие (например, в арочных мостах), либо в несущих оградах (лестничных и балконных ограждениях, решет-

ках, воротах и т.п.) и декоративных деталях.

Первым крупным металлическим сооружением был арочный мост, построенный в Англии через реку Северн в 1779 г., известный как **Железный мост** (рис. 2.30). Как первые каменные здания копировали формы и конструкции своих деревянных предшественников, так и первые металлические арочные мосты возводили из полых клиновидных литых чугунных «камней» подобно каменной кладке. На строительство Железного моста длиной 60 м, стрелой арки 15 м и пролетом 32 м было израсходовано 380 т чугуна.



Рис. 2.30. Железный мост, Англия

Благодаря улучшению качества чугунных изделий, совершенствованию инженерного искусства и строительной техники в 1814 г. инженер Ренни смог осуществить строительство лондонского чугунного Саутверского моста с каменными опорами через реку Темзу, максимальный пролет между которыми составил 73 м.

В строительстве арочных мостов чугун господствовал до середины XIX в., затем его постепенно вытеснила сталь, первое крупное успешное применение которой было в не строительстве, а в судостроении. В 60...80-е годы XIX в. в Америке и Европе было построено несколько легких быстроходных стальных пароходов.

Знаменитый **Тауэрский мост** (рис. 2.31), строительство которого было завершено в 1894 г., стал самым большим и наиболее сложным подъемным мостом в мире. Две его массивные опоры глубоко уходят в ложе реки, более 11 000 т. стали ушло на создание конструкций башен и пролетов. Снаружи стальные конструкции одеты в корнуэльский гранит и портлендский камень. Длина моста составляет 850 м, высота – 40 м, а ширина – 60 м.



Рис. 2.31. Тауэрский мост, Лондон, Англия

Внедрение железа и стали в строительство позволило освоить новые висячие конструкции мостов. Одним из первых европейских висячих мостов был так называемый Пантелеймоновский мост в Петербурге, построенный в 1823-1824 гг. через Фонтанку. Пролеты цепных железных мостов быстро возрастали. Спустя 3 года (в 1826 г.) английский инженер Телфорд перекрыл пролет в 176 м через Минейский морской пролив; пролет в 200 м был перекрыт в 1840 г. мостом через реку Дунай в Будапеште; а в начале XX в. там же был сооружен цепной мост с пролетом 316 м. Начиная с 1815 г. началось строительство висячих мостов с проволочными канатами. Первым в России предложил заменить цепь канатом А.Л. Витберг, а затем кабельные конструкции внедряли французы Л. Новье и М. Сеген.

Первым построенным Марком Сегеном в 1824 г. канатным висячим мостом был мост через реку Рону (Франция). Позже канатные висячие мосты получили широкое распространение в США. В 1883 г. в Нью-Йорке было завершено строительство **Бруклинского моста** через Ист-Ривер пролетом 486 м (рис. 2.32). Он соединяет Бруклин с Манхэттеном. Протянутые через реку стальные тросы держат две гранитные башни-опоры высотой 66 м [12].



Рис. 2.32. Бруклинский мост, Нью-Йорк, США

В 1937 г. в Сан-Франциско был открыт мост **«Золотые Ворота»** над проливом Голден-Гейтс, соединяющим бухту Сан-Франциско с Северной Калифорнией (рис. 2.33). Его железобетонный пролет составляет 1280 м. Самый длинный в то время висячий мост в мире (2737 м) строили в сложнейших условиях – туманы, штормовые ветры, океанские течения. Его прочная и гибкая конструкция может отклоняться от вертикали на 9 м. Для бетонных опор моста на дне выдалбливались огромные котлованы, на них ушло по 27 000 м³ бетона. Башни удерживают два стальных кабеля, которые в свою очередь держат настил моста. Диаметр кабелей составляет 90 см, длина – 2 300 м. Каждый кабель сплетен из 27 572 стальных проводов диаметром 5 мм. Общая длина всех стальных нитей составляет 129 тыс. км – этого достаточно, чтобы три раза обогнуть земной экватор.



Рис. 2.33. Мост «Золотые Ворота», Сан-Франциско, США

Сегодня самым длинным подвесным мостом в мире является **мост Акаси-Кайкё** (рис. 2.34), соединяющий японские острова Хонсю и Сикоку. Общая длина моста составляет 3911 м, высота его опор равна 283 м, а ширина пролета между ними – 1991 м. Высота автострады над поверхностью воды составляет 71 м.

Пролив Акаси подвержен землетрясениям, тайфунам, сильным морским течениям. Для возведения опор сначала были изготовлены две огромные круглые камеры. С помощью грузовых судов они были доставлены на место. Затем эти полые цилиндры опустили на дно моря и заполнили специальным бетоном, застывающим непосредственно в воде. На этом железобетонном фундаменте высотой 67 и диаметром 80 м вознеслись громадные стальные пилоны.



Рис. 2.34. Мост Акаси-Кайкё, Япония

В период строительства моста в 1995 г. в этом районе произошло мощное землетрясение, которое, к счастью, не оказало никаких серьезных повреждений конструкциям моста, а, наоборот, лишь показало его устойчивость.

Дорожное полотно моста удерживают два стальных троса, сплетенных из множества отдельных нитей. Благодаря использованию новейших технологий обработки стали их прочность заметно возросла. Натягивали тросы с помощью вертолета. При сильных, шквальных порывах ветра дорожное полотно может отклоняться в сторону на 27 м (!), не теряя при этом устойчивости.

Строительство моста было закончено в 1998 г., и он исправно служит вот уже более 10 лет.

Примером раннего применения чугуна в несущих конструкциях зданий является хлопчатобумажная фабрика в Манчестере (1801 г.). Здесь была сделана первая попытка создания единого внутреннего каркаса здания из чугунных стоек и ригелей. Это строительство часто рассматривается как определенная

века в истории освоения металлоконструкций. Чугунная колонна, заменившая в конце XVIII в. деревянные стойки, прочно господствовала затем на протяжении всего следующего столетия. Из промышленного строительства она скоро перешла в гражданское (Кристалл Палас, оранжереи, крытые рынки, библиотеки, жилые дома).

В 1811 г. архитектор Белланже и инженер Брюне перекрыли чугунным куполом круглый двор парижского зернохранилища, заменив им сгоревший в 1802 г. деревянный и сохранив принцип конструирования деревянных куполов. Обнаженная внутри и крытая снаружи медью конструкция купола, по диаметру почти сравнимая с куполом собора св. Петра в Риме, была образована радиально расположенными фермами.

В то же время архитектором А.Н. Ворониным был сооружен один из самых больших куполов с металлическим каркасом – купол **Казанского собора** в Санкт-Петербурге (1811 гг.), который представлен на рис. 2.35.



Рис. 2.35. Казанский кафедральный собор, Санкт-Петербург, Россия

Идея сборно-разборности элементов чугунных конструкций позволила в 1853 г. бывшему часовщику, изобретателю металлических каркасов Джеймсу Богардусу предложить проект «чугунного Колизея» для Всемирной выставки в Нью-Йорке. Это должен был быть колоссальный амфитеатр диаметром 365 м и высотой наружной стены 18 м, в центре которого предусматривалась 90-метровая металлическая башня с лифтом для подъема посетителей на обзорную галерею. Сооружение после выставки должно было демонтироваться, а чугунные стандартные элементы конструкций использоваться для новых построек.

Промышленное производство сравнительно дешевой стали относится ко

второй половине XIX в. В 1855 г. Г. Бессемер запатентовал способ удаления избытка углерода и других включений потоком воздуха, продуваемого через расплавленный чугун. Год спустя Роберт Мюшет усовершенствовал этот процесс предложением добавлять в конце продувки марганец, что позволило улучшить качество стали. И, наконец, новый способ получения литой стали в регенеративных пламенных печах с добавлением в шихту большого количества стального лома был предложен Пьером Мартеном в 1864 г.

Началом применения мартеновской стали в строительстве считают сооружение в 1889 г. железнодорожного моста **через реку Форт** в Шотландии (рис. 2.36). На его строительство было израсходовано 55 000 т стали. Это самый большой в мире консольный мост, длина каждого из двух его центральных пролетов – 523 м.



Рис. 2.36. Мост Форт-Рэйл, Шотландия

Дальнейший прогресс в освоении металлических строительных конструкций связан с широким внедрением заклепочных соединений, которые постепенно вытеснили горновую сварку металла, а затем и электросварку, в свою очередь заменившую трудоемкую клепку. Появляются новые типы строительных конструкций, совершенствуются методы их расчета, позволяющие не только снижать расход металла, но и по-новому решать вопросы их архитектурного проектирования. Характерными чертами металлических сооружений XIX в. являются изящество, оригинальность и смелость решений, хотя новые материалы использовались главным образом для подражания старым стилям – классике и готике.

Бурное развитие машинного производства, прогресс техники, освоение железа и стали как новых строительных материалов – все это не могло не отразиться на развитии металлической архитектуры, быстро освоившей каркасные

системы высотных домов и большие пролеты новых типов общественных зданий, появившихся в XIX в.: универсальных магазинов, крытых рынков, библиотек, национальных и всемирных выставок, вокзалов и т.п. Используя сталь можно было воплощать в жизнь самые смелые проекты, возводить самые сложные сооружения. Среди таких построек нельзя не отметить Хрустальный дворец Всемирной выставки в Лондоне (1851 г., автор Джозеф Пакстон), Галерею машин на Международной выставке в Париже (1867 г., инженеры С. Кранц и Г. Эйфель), здание Национальной библиотеки в Париже (1868 г., конструктор-архитектор Анри Лабруст) и, наконец, Дворец машин (пролет 115 м) и трехсотметровую **Эйфелеву башню** (рис. 2.37).

Эйфелева башня по праву считается символом прогресса инженерного искусства XIX в. Она собрана из 18 тыс. деталей, каждая из которых по отдельности вычерчена, рассчитана на прочность и изготовлена. Полное заводское производство элементов металлических конструкций позволило осуществить монтаж башни на Марсовом поле Парижа всего за 2 года и 2 месяца. Поражала и точность, с которой выполнялись соединения отдельных деталей конструкции. Всего для скрепления элементов было использовано 2,5 млн заклепок. На высоте 57, 115 и 276 м расположены смотровые площадки.



Рис. 2.37. Эйфелева башня, Париж, Франция

Гюстав Эйфель был автором оригинальной конструкции стального каркаса подаренной Францией и собранной в Нью-Йорке **статуи Свободы** (рис. 2.38) работы скульптора Фредерика Огюста Бартольди. Для этого каркаса, имеющего высоту 46 м, Эйфель разработал специальную систему жестких связей, способную воспринимать очень большие ветровые нагрузки (отклонение руки статуи с факелом по вертикали составляет около 12 м).

В массивной каменной кладке пьедестала были встроены две железные перемычки, которые соединяются с анкерными балками, уходящими наверх. С помощью этих анкерных балок статуя Свободы и крепится к основанию.

Сама статуя собрана из нескольких сотен огромных бронзовых пластин выкованных вручную в специальных формах. В короне статуи расположена смотровая площадка, на которую ведут 171 ступени винтовой лестницы.



Рис. 2.38. Статуя Свободы, Нью-Йорк, США

Статую массой более 225 тонн собрали во Франции в 1884 г. Затем ее разобрали на части и переправили в США, где 28 октября 1886 г. состоялось ее торжественное открытие.

До 1899 года статуя Свободы была самым высоким сооружением Нью-Йорка. Постепенно ее намного переросли небоскребы Манхэттена.

Успехи в технологии изготовления металлических конструкций и опыт предшественников позволили в 1883 г. осуществить строительство по проекту Уильяма ле Барона Дженни первого высотного конторского здания – предшест-

венника американских небоскребов. Подлинным шедевром мировой строительной и архитектурной практики считается **небоскреб Эмпайр-стейт-билдинг** (рис. 2.39), долгое время остававшийся самым высоким зданием в мире. Закладка небоскреба состоялась в октябре 1929 г., и в мае 1931 г., то есть спустя двадцать месяцев, оно было уже завершено. Таким образом, скорость его возведения в среднем составила один этаж в неделю. Высота небоскреба 381 м, что на 77 м выше Эйфелевой башни. Возведенная позже антенна увеличила высоту всего здания до 449 м. Несущий каркас небоскреба создают стальные бруссы общей массой 60 000 т, а общий вес постройки достигает 365 000 т.



Рис. 2.39. Небоскреб Эмпайр-стейт-билдинг, Нью-Йорк, США

Также на рубеже 1920...1980-х гг. в США было построено несколько небоскребов. Это **Крайслер Билдинг** (рис. 2.40) высотой 317,7 м, возведенный в 1929 г., Центр Джона Хэнкока высотой 343 м (1969 г.), **Сирс-Тауэр** (рис. 2.41) высотой 443 м, построенный в 1973 г.

Вплоть до конца XX в. считалось, что родиной самого высокого небоскреба в мире неизменно будут Соединенные Штаты Америки. Но в 1998 г. конец этой монополии положил огромный небоскреб **Петронас Тауэр**, построенный в столице Малайзии – Куала-Лампуре (рис. 2.42). Высота двух башен

близнецов составляет 452 м. На уровне 42-го этажа (высота 170 м) башни соединяет воздушный мост-переход, являющийся одновременно и смотровой площадкой. На постройку небоскреба ушло 36 910 т стали. Небоскреб возводился на сравнительно мягком грунте, поэтому здание закрепили в земле с помощью двухсот свай длиной от 40 до 105 м.

До 2008 г. звание самого высотного здания в мире принадлежало 101-этажному зданию **Тайбэй 101** (рис. 2.43), по форме напоминающему стебель бамбука. Его высота от земли до вершины здания – 508 м [8, 9, 12]. Архитектура здания примечательна: с каждым новым этажом постройка постепенно расширяется, но ровно через восемь этажей неожиданно сужается.

Фасад башни Тайбэй 101 выполнен полностью из стали и стекла. Внутри нее движутся самые быстрые лифты в мире. Они развивают скорость до 60 км/ч.

Для основания здания в мягкий грунт пришлось вбить более 200 свай на глубину 80 м (именно на этой глубине начинаются плотные скальные породы).

Каркас здания представлен шестнадцатью стальными колоннами, залитых бетоном. Дополнительно по четырем сторонам башни были возведены по две колонны диаметром несколько метров. Каждый восьмой этаж опоясан огромными стальными траверсами, которые связывают наружные колонны с каркасом здания. Поэтому среди всех других небоскребов башня Тайбэй 101 выделяется едва ли не самым массивным железобетонным каркасом.

Для предотвращения резкого раскачивания небоскреба внутри башни сооружена специальная демпфирующая система, представляющая собой гигантский маятник массой 660 т. Он подвешен на 92 этаже на шестнадцати стальных тросах и занимает четыре нижних этажа.

Сегодня самым высоким зданием в мире является небоскреб **Бурдж Дубай** (Объединенные Арабские Эмираты). Его высота – 688 м.

В штате Оклахома (США) сооружена самая высокая в мире мачта. Эта стальная антенная опора решетчатой конструкции с несколькими ярусами вантовых стяжек имеет высоту 550 м.



Рис. 2.40. Небоскреб
Крайслер Билдинг,
Нью-Йорк, США



Рис. 2.41. Небоскреб
Сирс Тауэр,
Чикаго, США



Рис. 2.42. Петронас тауэр,
Куала-Лампур, Малайзия



Рис. 2.43. Тайбэй 101,
Тайвань

Самым высоким мостом в мире является **виадук Мийо** (рис. 2.44), построенный над долиной реки Тарн во Франции. Этот мост является кратчайшим путем между Парижем и Барселоной.



Рис. 2.44. Виадук Мийо, Франция

Виадук Мийо является вантовым мостом. Стальные тросы-ванты поддерживают дорожное полотно и нижнюю часть конструкции. Один их конец крепится к высоким мачтам (пилонам), а другой – к середине моста, к разделительной полосе. Всего возведено 7 пилонов. От каждого веером отходят 22 стальных троса толщиной с человека. Расстояние между опорами составляет 345 м. Общая длина виадука 2,5 км, расстояние от земли до дорожного полотна в самой высокой точке составляет 270 м.

Высота бетонных опор очень значительна – от 77 до 245 м. Их ширина достигает 27 м, а поперечное сечение имеет форму ромба. Проведенные испытания показали, что подобные пилоны более устойчивы, чем традиционные опоры прямоугольного сечения, поскольку при сильных порывах бокового ветра площадь поверхности, подвергающаяся нагрузке, будет значительно меньше.

Само дорожное полотно изготовлено из стали и весит 36 тыс. т. Оно собрано из 14 сегментов длиной около 175 м и шириной – 32 м (такая же, как и ширина моста).

Этот грандиозный проект потребовал новейших технологий: монтаж конструкций осуществлялся с помощью лазерной юстировки и систем спутниковой навигации, сварочные работы на высоте выполняли роботы.

В строительстве металлы используют для изготовления несущих конструкций, армирования железобетонных конструкций, кровли, подмостей, ограждений, форм при изготовлении железобетонных изделий и т.д.

Широко применяются **прокатные стали**, которые имеют различный про-

филь (блумс, квадратный, круглый, полосовой, треугольный, овальный, полукруглый, ромбовидный, угловой неравнобокий и равнобокий, швеллер, двутавр, тавр, рельс и др.).

Сортамент проката постоянно расширяется и совершенствуется благодаря внедрению облегченных, тонкостенных, фасонных и других экономических профилей из алюминиевых сплавов, которые отличаются небольшой плотностью ($2700 \dots 2900 \text{ кг/м}^3$), высокой коррозионной стойкостью и прочностью.

Из сортамента прокатных сталей изготавливают фрагменты колонн, подкрановых и мостовых балок, ферм, прогонов, арок, цилиндрических и шатровых покрытий и других несущих конструкций.

Металлические конструкции из черных и цветных металлов широко применяют при производстве зданий и сооружений, особенно при больших пролетах, высоте, и нагрузках (промышленные здания, каркасы и большепролетные покрытия общественных зданий, мосты и эстакады, башни и мачты, витражи, подвесные потолки и др.).

Широкое распространение металлоконструкций в строительстве обуславливается их высокой прочностью, надежностью, индустриальностью, скоростью монтажа.

Для обычного и предварительно напряженного армирования железобетонных конструкций применяют главным образом стальную арматуру в виде стержней, проволоки и канатов из углеродистых и низколегированных сталей. При проектировании железобетонных конструкций арматуру выбирают в зависимости от ее назначения, марки и вида бетона, свариваемости сталей, условий эксплуатации, характера нагружения и т.д.

Широко используются в строительстве **горячекатаные бесшовные трубы** с наружным диаметром 25...95 мм и **электросварные водогазопроводные трубы** с внутренним диаметром от 6 до 150 мм.

Промышленность выпускает также **сталь листовую** толстую горячекатаную толщиной 4...160 мм, длиной 6...12 м, шириной 0,5...3,8 м, поставляемую в виде листов и рулонов; тонкую горячее- и холоднокатаную толщиной до 4 мм в рулонах и широкополочную универсальную толщиной 6...60 мм горячекатаную с обработанными выровненными кромками.

Благодаря своим положительным свойствам, легкости в обработке металлы заняли одно из ведущих мест в архитектурно-строительной практике среди других конструкционных материалов.

2.7. История развития и применения бетона и железобетона в архитектурно-строительной практике

На сегодняшний день бетон и железобетон являются самыми распространенными конструкционными строительными материалами. Широкое использование бетонов в современном строительстве объясняется наличием ряда преимуществ:

- большой сырьевой базой, поскольку запасы песка и щебня, занимающих до 90 % объема бетона, имеются практически во всех регионах;
- несложной технологией переработки сырья в конечный продукт с сравнительно малыми затратами энергии;
- широким диапазоном строительно-технических свойств затвердевшего бетона (средняя плотность 300...4500 кг/м³, предел прочности при сжатии 1,5...100 МПа), что позволяет использовать его для несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений;
- возможностью изготовления изделий сложной конфигурации и крупно-размерных элементов;
- разнообразием обработки его поверхности, благодаря чему из бетона можно выполнять сооружения, обладающие большой архитектурной выразительностью.

Первое упоминание о железобетонной конструкции относится к 1849 г. Именно тогда французский садовник Жозеф Монье сделал кадки для апельсиновых деревьев, заложив в цементный раствор сетку из тонких железных прутьев. Сделал он это не сознательно, а для того чтобы упрочнить конструкцию кадок в области растягивающих усилий. Не разбирался он и в том, что цементный камень и железо удачно дополняли друг друга не только в статическом отношении, но и в почти одинаковом термическом расширении материала. Это удачное сочетание двух различных материалов считают величайшим изобретением века, сыгравшим революционную роль в развитии строительной техники и архитектуры. Монье запатентовал свое изобретение в 1867 г. и вскоре основал большое предприятие по строительству мостов, хранилищ, водонапорных башен.

Приоритет Ж. Монье в изобретении железобетона оспаривается двумя следующими доводами. Во-первых, до Монье в 1864 г. английскому строителю из Ньюкасла, специалисту по штукатурным работам и изготовлению искусственного камня, В. Велкинсону был выдан Британский патент № 2293 на конструкцию огнестойкий перекрытий в зданиях, изготовляемых из бетона, армированного параллельно расположенными рядами проволочных тросов. Во-вторых, материал, который использовал Монье для своих кадок, не был бетоном – это был не содержащий крупного заполнителя цементный раствор.

Французский инженер Ж. Лямбо изготовил и в 1855 г. показал на Всемирной выставке в Париже железобетонное судно. Он же запатентовал применение нового комбинированного материала в строительстве. Тот же Велкинсон,

в поисках какого-либо применения старым шахтным канатам, первый сделал армированные строительные балки, сознательно заложив эти канаты в растянутой зоне [1, 2].

Было бы несправедливо приписывать изобретение железобетона как строительного материала потребностям садоводства или судостроения. Они лишь зафиксировали и запатентовали то, что зарождалось тысячелетиями, и было несомненным достижением прогресса строительства и, в частности, результатом повторного открытия бетона во второй половине XVIII в. английским инженером Дж. Смитом, начала производства искусственных цементов в первой половине XIX в. и широкого внедрения в строительство чугуна и сварочного железа.

Еще в Древнем Вавилоне строения из глины армировали тростником и плетеными прутьями. Различные вариации глины и «растительной арматуры» издавна применялись во всем мире: и в монолитных сооружениях Востока, и для изготовления египетских глиняных кирпичей, армированных соломой, и в керамических изделиях инков и майя. У английских строителей, например, был старый обычай добавлять в штукатурный раствор немного бычьего волоса.

Железо в качестве строительной арматуры впервые стали применять, вероятно, греки. Еще в 470 г. до н.э. греческие колонисты на острове Сицилия использовали в строительстве железные армирующие балки сечением 12×30 см и длиной до 4,5 м (способ получения их остается тайной*), а в 437 г. до н.э. строитель Афинского Акрополя Мнесикл применил для армирования балок железные стержни длиной около 2 м, которые были замурованы в специально выдолбленных в массе мрамора канавах.

Бетон использовали еще в Древнем Риме. **Пантеон** – лучше всего сохранившийся памятник античного Рима (рис. 2.45). Купол Пантеона представляет собой идеальную полусферу: его диаметр и высота составляют ровно 43,5 м. Этот словно бы невесомый, исполненный совершенства свод покоится на прочном каркасе. Фундамент Римского храма уходит вглубь земли на 4,5 м и представляет собой литую бетонную конструкцию толщиной 7 м (!). На нем высятся двойная стена толщиной порядка 6 м. Тяжесть конструкции принимают на себя 8 мощных опор, а также хитроумно устроенная система арок и ниш, позволяющая несколько снять нагрузку. Над этими громадными стенами нависает купольная оболочка, состоящая из двух слоев литого бетона. Причем к верхнему слою для облегчения веса подмешивался вулканический пепел.

Пантеон (что означает храм всех богов) посвящен семи главным римским божествам: Меркурию, Венере, Марсу, Юпитеру, Сатурну, Урану и Плутону.

* Железные рельсы длиной 4,5 м научились делать только в начале XIX в.



Рис. 2.45. Пантеон, Рим, Италия (117-128 гг.)

Вслед за глиняными и мраморными прототипами железобетона появились металлические стяжки, противоборствующие распору арочных и сводчатых покрытий (**собор св. Софии в Константинополе, 532 г.**, рис 2.46 и др.). Купола римского собора св. Петра (XVI в.) и лондонского собора св. Павла (XVII...XVIII вв.) одинаково связаны замкнутой растянутой цепью, заделанной в кладку основания.



В

Рис. 2.46. Собор Святой Софии (Айя-София),
Стамбул, Турция (532 г.)

Собор святого Павла (рис. 2.47) увенчан вторым по величине куполом в мире. Архитектор сэр Кристофер Рен похоронен в самом соборе, как и адмирал сэр Горацио Нельсон и другие знаменитые британцы.



Рис. 2.47. Собор Святого Павла, Лондон, Англия

Во второй половине XVIII в. француз Суффло предложил более общий подход к проблеме армирования: он закладывал железные стержни в растянутые зоны кирпичной кладки. То же, но не с круглыми, а плоскими железными стержнями, идущими на обручи для бочек, проделывал Брюнель.

Однако обе попытки закончились неудачей – железо окислялось влагой, проникавшей в шов, и кладка разрушалась вследствие расширения продуктов коррозии. Успех был достигнут лишь после того, как было обнаружено, что в бетоне на основе портландцемента, обеспечивающем хорошее сцепление с арматурой, коррозия металла уже не столь значительна и опасна.

Первыми строительными конструкциями, в которых совместно применялись бетон и сварочное железо, вероятно, были конструкции перекрытий, где бетоном заливали промежутки между металлическими балками (упоминаемая ранее текстильная фабрика в Манчестере, 1801 г.).

Первым жилым железобетонным зданием был особняк инженера В.А. Уарда, утверждавшим, что он самостоятельно изобрел железобетон в 1871 г. (Нью-Йорк). Все несущие конструкции дома – колонны, внутренние и наружные стены, перекрытия – были выполнены из железобетона, но сохраняли традиционные формы каменных конструкций.

Начиная со второй половины XIX в. все последующие совершенствования железобетона как прекрасного конструкционного материала с управляемыми свойствами целиком обязаны прогрессу строительной науки и техники.

Саграда-Фамилия (рис. 2.48) является современным готическим кафедральным собором, возводимого в Барселоне. Автор проекта Антонио Гауди, ис-

пользуя довольно новый строительный материал – железобетон, стремился показать его пластические возможности. В своей работе Гауди использует бетон, главным образом, для создания традиционно-пластических форм, а также для имитации форм природы, подражания скалам и пещерам.



Рис. 2.48. Собор Саграда-Фамилия, Барселона, Испания (1882-1826 гг.)

Во Флориде (США) в 1930 г. из сборных железобетонных конструкций построили мост Севен-Майл протяженностью более 10 км. Эта автотрасса, состоящая из 440 пролетов, соединяет острова коралловой гряды Флорида-Кис (рис. 2.49).

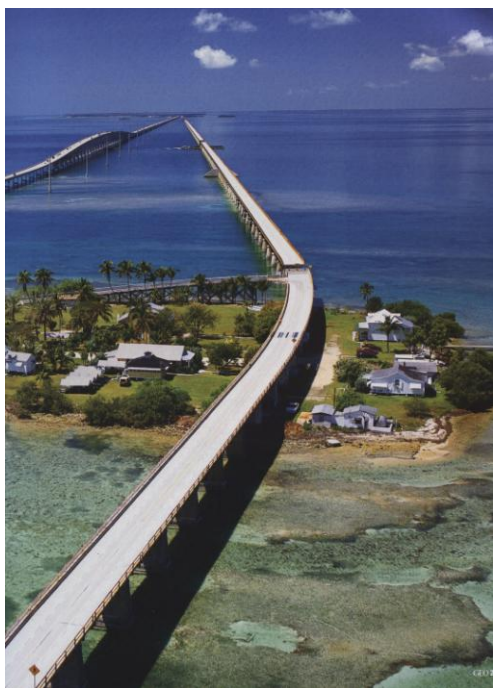


Рис. 2.49. Мост Севен-Майл, Флорида, США

Одним из самых значительных этапов в развитии бетонных и железобетонных изделий явилось изготовление предварительно-напряженных железобетонных конструкций, в которых оба компонента этого композиционного материала работают наилучшим образом – бетон всегда сжат, а стальная арматура – растянута.

Огромный **мост-дамба**, переброшенный через озеро Понтчартрейн (штат Луизиана, США), на сегодняшний день удерживает абсолютный рекорд по протяженности среди мостов всех типов. Его длина составляет 38 422 м. Мост был построен в 1956 г. и соединил городки Метайри на южном берегу и Мандевилл на северном берегу. В 1965...1969 гг. параллельно ему на расстоянии 25 м был проложен второй путепроводный мост. Семь поперечных проездов соединяют обе части моста, чтобы на случай аварийной ситуации автомобили смогли объехать опасную зону. Оба моста-близнеца поддерживаются более чем 9 500 полыми цилиндрическими столбами из предварительно напряженного бетона, каждый 1,4 м. в диаметре.

Марсельский блок (рис. 2.50) представляет собой массивное сооружение, являющееся прообразом всех крупнопанельных высотных домов. Сооружение уникального здания велось под руководством знаменитого швейцарского архитектора Ле Корбюзье начиная с 1947 по 1952 гг.



Рис. 2.50. Марсельский блок, Франция (1947-1952 гг.)

Длина здания составляет 138 м, ширина – 25, а высота – 56 м. Здание насчитывает 17 этажей и возведено на огромных бетонных сваях. Под ними предусмотрены места для парковки автомобилей.

Квартиры в доме удивляют своим разнообразием. В общей сложности здесь предусмотрено 23 типа различных помещений – от холостяцких владений до огромных апартаментов, рассчитанных на большую семью. Но всех их объединяет одна общая черта – они занимают два этажа. Седьмой и восьмой этаж здания занимает торговая линия, в которой находятся магазины, гастроном, ап-

тека, почта, парикмахерская, прачечная и небольшой отель. На семнадцатом этаже расположены ясли и детский сад.

В Марсельском блоке на плоской крыше Ле Корбюзье устроил целый парк развлечений. Здесь есть игровая площадка и бассейн для детей. Для взрослых предусмотрены спортзал, бар, дорожка для занятий бегом длиной 300 м, солярий и обзорная площадка.

Капелла Нотр-Дам-Дю-О (рис. 2.51) возведена на холмистых просторах Бургундии. Ее создатель прославленный архитектор Ле Корбюзье. Возведена эта церковь в традициях, так называемого «нового пластицизма» - архитектурного стиля, возникшего после Второй мировой войны. Памятники пластического стиля часто напоминают скульптуры.



Рис. 2.51. Церковь Нотр-Дам-Дю-О, Роншане, Франция (1950-1955 гг.)

Композиция церкви навеяна образами первых молитвенных домов (шатров) ранних христиан. Железобетонная прихотливо изогнутая плита покрытия перекликается с образом шатрового навеса, а нерегулярная форма наружных стен с кажущимися случайными по форме и расположению окнами способствует созданию иррационального внешнего облика и внутреннего пространства, отвечающих мистической программе храма [25, 26].

Плотина Итайпу (рис. 2.52) возведена на реке Парана на границе между Бразилией и Парагваем. Плотина представляет собой стену из бетона и стали длиной 8 км, высотой – 196 м, толщина основания достигает 273 м (!). Данное сооружение является мировым рекордсменом среди гидроэлектростанций по количеству вырабатываемой энергии. Ежегодно два десятка генераторов вырабатывают порядка 30 млрд. кВт·ч. Это позволяет удовлетворить потребности Парагвая в электроэнергии на 95 %, а Бразилии – на 25 %.



Рис. 2.52. Плотина Итайпу, Парагвай-Бразилия (1975-1982 гг.)

В 1994 г. в Роттердаме по проекту архитектора и инженера Бен Ван Беркеля был сооружен самый длинный **разводной мост** из стали и бетона (рис. 2.53). В его оригинальной форме соединены сразу две конструкции: одноопорный подвесной мост и 82-метровый разводной мост. Общая длина моста 792,5 м.

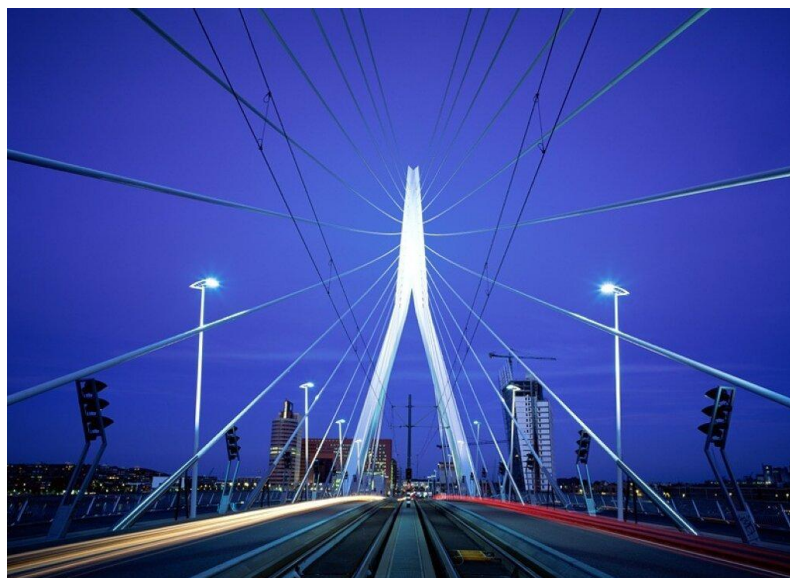


Рис. 2.53. Разводной мост, Роттердам, Голландия

Архитектурная конструкция **Останкинской телебашни** высотой 536,3 м и объемом помещений $70\,000\text{ м}^3$ – одно из высочайших стоящих сооружений нашей планеты – даже грамотному инженеру может показаться недостаточно прочной. Башня заглублена в землю всего на 3,5...4,6 м, но масса «крошечного» фундамента – это четверть массы всей башни (14 500 т из 55 000 т). Главным элементом фундамента является десятиугольная плита толщиной 3 м и диаметром 70 м. Эта плита армирована 1040 предварительно напряженными проволочными пучками. Монолитное железобетонное тело стянуто примерно

150 мощными семижильными канатами, укрепленными по периметру внутренней поверхности ствола (рис. 2.54).



Рис. 2.54. Останкинская телебашня, Москва, Россия

Берлинская телебашня (рис. 2.55) имеет высоту 315 м, на 200-метровой высоте железобетонного ствола башни расположен семиэтажный шар диаметром 32 м из стекла и металла, в котором размещены все радиотехнические службы, закрытая смотровая площадка и кафе.



Рис. 2.55. Берлинская телебашня,
Германия

На сегодняшний день самой высокой в мире отдельно стоящей телевизионной башней является башня **Си-Эн Тауэр** в Торонто (рис. 2.56). Ее высота 553 м.



Рис. 2.56. Башня Си-Эн Тауэр, Торонто, Канада

На высоте 335 м от земли располагается семиэтажная шарообразная капсула, в которой размещены вращающийся ресторан, ночной клуб и несколько смотровых площадок. На высоте 447 м находится самая высокая смотровая площадка («Космическая палуба»).

Фундамент башни выполнен в виде буквы Y. На нем начали возводить башню методом непрерывной заливки бетона при помощи подвижной опалубки.

Все эти уникальные сооружения из бетона и железобетона по праву считаются шедеврами мировой архитектурно-строительной практики. Невозможно было бы соорудить их без развития строительной науки и техники, значительно продвинувшейся в последнее время. Ускорение процессов твердения бетонных и железобетонных изделий за счет применения тепловлажностной обработки значительно повысило производительность предприятий стройиндустрии.

В последние годы стали применять различные добавки, позволяющие ускорять процессы твердения цемента, противостоять коррозии арматуры, пластифицировать бетонную смесь, уменьшать количество воды затворения и соответственно расход цемента. Применение комплексных добавок дает наибольший технико-экономический эффект.

Широкое распространение получила технология монолитного возведения зданий и сооружений, применяемая еще с конца XX в. Она включает следующие операции: изготовление и монтаж опалубки, установка арматурных каркасов, подача и заливка бетонной смеси. Монолитная технология позволяет создавать разнообразные архитектурные формы и конструктивные решения. Воссозданный **Храм Христа Спасителя** в Москве (рис. 2.57) имеет монолитный железобетонный каркас.

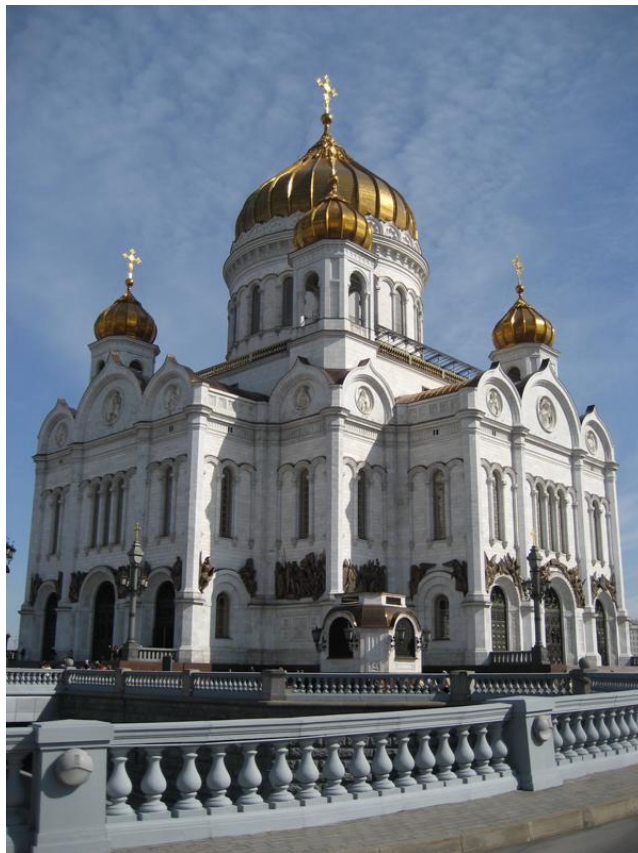


Рис. 2.57. Храм Христа Спасителя, Москва, Россия

Большой объем бетонных смесей идет на восстановление и реконструкцию старых и поврежденных зданий и сооружений. Например, для спасения **Пизанской башни** (рис. 2.58), уклон которой в 1990 г. стал угрожающим, весь грунт в районе фундамента укрепили, откачав из водоносных слоев под основанием мягкие породы и закачав под землю десятки тысяч тонн бетонной смеси*. В результате наклон был уменьшен на 10 %. Таким образом башня высотой 56 м, весом 14 500 т частично выпрямилась и угол ее наклона стал безопасным [8].

* Среди вариантов, направленных на устранение угрожающего угла наклона Пизанской башни, были и весьма оригинальные. Предлагали построить рядом с башней такую же падающую башню с тем, чтобы их вершины уперлись друг в друга и компенсировали падение. Другой план состоял в том, чтобы просверлить в мраморном теле колокольни 10 000 больших отверстий и заполнить их легким веществом, облегчив, таким образом, вес всей конструкции. Были варианты заморозить пльвуны в основании башни жидким азотом.



Рис. 2.58. Пизанская башня, Пиза, Италия

Сегодня бетон применяется в **гидротехническом** (элементы плотин, облицовка каналов), **дорожном** (мосты, путепроводы, опоры) и **аэродромном строительстве**, из него изготавливают **кислотостойкие** и **жаростойкие конструкции** и многие другие функциональные и специальные строительные материалы.

2.8. Общие сведения о силикатных материалах, их разновидности, применение обычного и цветного силикатного кирпича, силикатных бетонов

Силикатными называют материалы и изделия, которые получаются в результате формования и последующей тепловлажностной обработки смесей, состоящих из извести, кварцевого песка и воды. Хотя отдельно эти компоненты применялись в архитектурно-строительной практике уже давным-давно (известь – в качестве вяжущего при кладке стен зданий из природного камня и кирпичей, песок – как заполнитель в различных растворах и бетонах), использование их в качестве единого целого имеет не столь долгую историю.

Карлов мост (рис. 2.59), к строительству которого приступили в 1357 г., долгое время являлся одним из крупнейших мостов в Европе. Он покоится на шестнадцати арках, сложенных из известковых блоков. Считается, что из всех мостов в мире Карлов мост самый прочный, ибо при его постройке в известь добавляли яйца. Протяженность этого моста – 520 м, ширина – 10 м. Мост был столь широким, что на нем проводились рыцарские турниры [12].



Рис. 2.59. Карлов мост, Прага, Чехия

Гидравлическая известь, сырьем для которой являются известняки с содержанием глины 8...20 %, используется в строительстве более 350 лет. Ее начали применять с середины XVII века. В XVIII...XIX веках она уже широко применялась во многих странах Европы (Англия, Франция), в том числе и в России. На основе этого вяжущего построены морские сооружения, гидротехнические конструкции, маяки. Одним из ярких примеров сооружений, построенных с применением гидравлической извести, является **Суэцкий канал** (рис.

2.60), возраст которого 200 лет. Суэцкий канал – это судоходный бесшлюзовый канал, соединяющий Красное и Средиземное море. Зона канала является условной границей между двумя континентами – Африкой и Евразией.

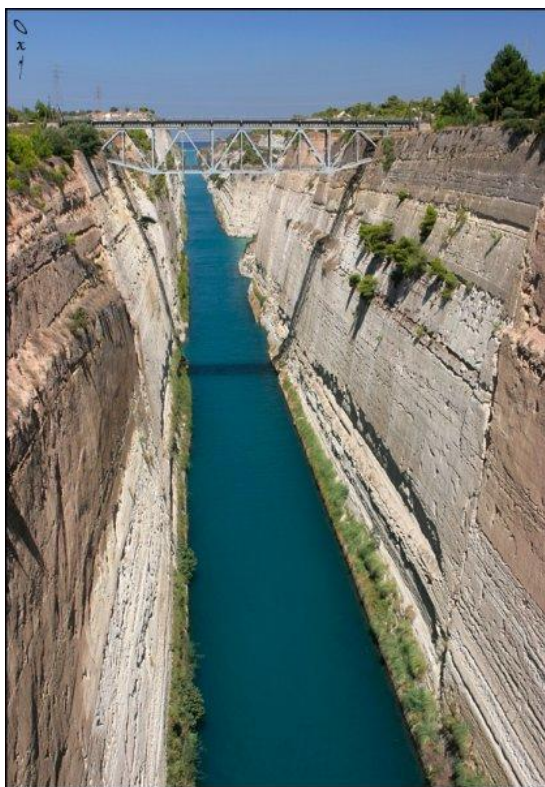


Рис. 2.60. Суэцкий канал, Египет (1869 г.)

При смешивании извести с песком и твердении этого материала на воздухе образуется камень, но он имеет невысокую прочность (после 1...3 месяцев твердения всего 1...2 МПа).

В 1880 г. немецким ученым В. Михаэлисом было установлено, что твердение смеси извести с кварцевым песком резко ускоряется, если эту смесь подвергнуть тепловлажностной обработке в автоклаве, где температура насыщенного пара достигает 175...200 °С, а давление – 0,8...1,2 МПа. В этих условиях SiO_2 приобретает химическую активность и вступает во взаимодействие с CaO с образованием гидросиликатов кальция, которые придают материалу большую прочность.

Многие годы единственным видом силикатных строительных материалов являлся силикатный кирпич. Позже научились размалывать песок и на его основе получать плотный силикатный бетон, обладающий значительной прочностью. Регулируя количество и степень измельчения песка, а также соотношение CaO к SiO_2 можно получать изделия различной прочности (марки) и регулировать их физико-механические свойства.

В последние годы для производства силикатных изделий используют отходы промышленности – металлургические и доменные шлаки, топливные золы, нефелиновый шлам и др., что значительно улучшает экологическую обста-

новку.

В нашей стране впервые в мире была разработана технология и создано производство силикатных автоклавных изделий и конструкций для сборного строительства. Такие изделия и конструкции по своим техническим и строительно-эксплуатационным качествам не уступают бетонным и железобетонным, и для их изготовления требуется меньшее количество вяжущего, шире используются местные материалы, технология полностью поддается механизации и автоматизации.

Силикатный кирпич изготавливают из смеси воздушной извести (6...8 %), кварцевого песка (92...94 %) и воды (7...9 %) путем прессования под большим давлением и последующего твердения в автоклаве.

Силикатный кирпич в основном имеет светло-серый цвет, однако при введении щелочестойких пигментов может быть и цветным. Современная промышленность выпускает силикатные кирпичи темного, синего, зеленого, розового и других цветов. Применение кирпичей различной цветовой гаммы позволяет значительно улучшить архитектурную выразительность возводимых из него зданий и сооружений.

Силикатный кирпич нельзя применять в конструкциях, подвергающихся систематическому действию воды (фундаменты) и высоких температур (печи, трубы и т.п.).

Изделия из силикатного бетона могут быть плотного и пористого строения. Плотные бетоны изготавливают на кварцевом песке, они имеют среднюю плотность 1800...2300 кг/м³, прочность при сжатии – 15...50 МПа. Хотя они менее водостойки и морозостойки, чем цементные бетоны, однако этого вполне достаточно для обеспечения требований к наружным ограждающим конструкциям гражданских и промышленных зданий. Широкое применение в качестве конструкционно-теплоизоляционных материалов получили пористые силикатные бетоны (ячеистые). Ячеистые силикатные бетоны получают путем смешивания технической пены с предварительно измельченной известково-кремнеземистой смесью и последующей обработки в автоклаве (пеносиликат) или путем смешивания известково-кремнеземистой смеси с газообразователем (газосиликат). Ячеистые бетоны имеют среднюю плотность 300...1200 кг/м³ и прочность выше 20 МПа.

2.9. Внедрение пластмасс в архитектурно-строительную практику. Эксплуатационно-технические и эстетические свойства пластмасс. Номенклатура и ассортимент строительных материалов

Искусственные полимерные материалы (пластмассы) широко вошли в материальную палитру строителей и архитекторов только в середине XX в., однако их внедрение в архитектурно-строительную практику было подготовлено выдающимися успехами химии и технологии еще за столетие до этого. Большая заслуга в создании новых материалов принадлежит русским ученым, среди ко-

торых видное место принадлежит создателю теории химического строения А.М. Бутлерову [2, 4].

Несмотря на молодость, пластмассы прочно заняли свое место в ряду современных строительных материалов. В настоящее время пластмассы называют материалами будущего, а XXI столетие – веком синтетических материалов. Это объясняется наличием у пластмасс целого комплекса ценных свойств, таких как высокая прочность при малой средней плотности, низкая теплопроводность, стойкость к различным агрессивным воздействиям, хорошая декоративность, возможность получения изделий любой самой сложной конфигурации, легкость в обработке, хорошая свариваемость и склеиваемость между собой и другими строительными материалами (древесиной, металлом и др.).

Вместе с тем пластмассы не лишены недостатков. Большинство из них горючи, обладают невысокой теплостойкостью (от 60 до 200 °С), под действием высоких температур и длительных нагрузок проявляют большие пластические деформации (ползучесть), длительное воздействие солнечных лучей, повышенной температуры совместно с кислородом воздуха приводят к «старению» пластмасс, большинство из них достаточно дороги.

Начало промышленного производства полимерных материалов относится к 1862 г., когда на Всемирной выставке в Лондоне специалист по художественной обработке металла А. Паркс продемонстрировал новый синтетический материал для формования декоративных элементов. В 1870 г. печатник Дж. Хайэт предложил в качестве заменителя слоновой кости для бильярдных шаров разработанный им целлулоид. Однако многие полимерные материалы были открыты задолго до этого: стирол – в 1831 г., меламин – в 1834 г., винилхлорид – в 1835 г., полиэфир – в 1847 г. и т.д. Но ни один из них не был внедрен раньше XX столетия.

Сегодня трудно назвать точную дату, когда был запроектирован и построен первый дом с применением пластмасс. Считают, что это был Даймекшн-хауз, созданный по проекту Б. Фуллера в 1927 г. Конструкции этого висячего на единственной опоре дома из винилпластовых панелей весили около 2 т. Начиная с 1933 г., когда на Чикагской выставке был продемонстрирован жилой дом Вини-лайт-хаус из панелей типа сэндвич, сооружения из полимерных материалов стали неперенными экспонатами всех всемирных выставок. А выставка в Японском городе Осака в 1972 г. стала своеобразным парадом архитектуры из пластмасс.

Этапом в освоении полимерных материалов в несущих и ограждающих конструкциях зданий можно считать «Дом будущего», построенный в США в 1955...1957 гг., и «Дом-улитку», сооруженный по проекту французских архитекторов в 1956 г. Эти постройки продемонстрировали широкие технические и формообразующие возможности новых материалов и прежде всего конструкционных стеклопластиков, отличающихся высокой прочностью, малой плотностью, возможностью создавать пластические формы.

В 50...60-е годы XX в. ведется экспериментальное проектирование и

строительство домов с широким применением пластмасс и в нашей стране. К этому времени в строительную практику прочно входят отделочные, гидро- и теплоизоляционные пластмассы.

В последующие годы в ряде стран с успехом проектируются и изготавливаются дома контейнерного и передвижного типа, в которых широко используются многие полимерные и композиционные материалы и алюминиевые сплавы. Компактность и легкость таких конструкций позволяют осуществить их доставку в районы Крайнего Севера, использовать для экстренного расселения в районах стихийных бедствий и др. Под руководством Ф. Отто в 1971 г. разработан проект пневматического покрытия арктического города из светопрозрачной двухслойной синтетической ткани и сетки из полиэфирных тросов. Этот проект не был осуществлен, но его воплощение вполне реально.

Самый длинный пластиковый мост с армированными пролетами находится в гольф-клубе Эберфелди (Великобритания), длина главного пролета моста составляет 63 м, а общая длина – 113 м.

Современные пластмассы представляют собой многокомпонентные системы, основой которых является **связующее**. Связующее состоит из искусственных высокомолекулярных соединений – полимеров (смол). В состав пластмасс также входят **наполнители** (*органические* – древесная мука, шпон, стружка, опилки, бумага; *неорганические* – кварцевая мука, каолин, тальк; *волоконистые* – асбест, стекловолокно, стеклоткань), которые способствуют уменьшению расхода связующего, снижению стоимости самих пластмасс, предотвращению усадки при отвердевании, повышению механической прочности. Однако, некоторые пластмассы (например, полиэтилен, оргстекло, полистирол) состоят только из синтетической смолы без наполнителя.

В пластмассы также вводят **пластификаторы** (трибутилфосфат, трикрезилфосфат и др.), снижающие хрупкость, увеличивающие гибкость, эластичность и относительное удлинение; **стабилизаторы**, способствующие сохранению физико-механических свойств пластмасс во времени и снижающие скорость деструктивных процессов; **антистатики** (сажа, графит, порошки металлов), которые уменьшают электризацию полимерных материалов в процессе их переработки и эксплуатации; **пигменты** (органические – нигрозин; минеральные – охра, сурик, ультрамарин, белила), применяемые для окрашивания пластмасс; **отвердители**, ускоряющие процессы отвердевания полимеров и образования пространственной трехмерной структуры; **порообразователи**, служащие для получения газонаполненных пластмасс; **антипирены**, повышающие стойкость против возгорания.

Наиболее широко полимерные материалы используются для высококачественных отделочных работ (декоративные пленки, линолеум, бумажнослоистый пластик и др.), теплоизоляции (пено-, поро- и сотопласты), гидроизоляции и герметизации (пленки, прокладки, мастики), для санитарно-технического оборудования (трубы, раковины, ванны и др.), в малых архитектурных формах (поручни, плинтуса и др.).

Материалы для несущих и ограждающих конструкций получили большое распространение в архитектурно-строительной практике благодаря прочности, стойкости к атмосферным воздействиям и агрессивным средам, огнестойкости.

Полимербетоны – композиционные материалы, в которых заполнителем является кварцевый песок, щебень из базальта и гранита, бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит, а роль связующего выполняют различные полимеры (полиэфирные, эпоксидные, фурановые и др.). Для уменьшения хрупкости полимербетона применяют волокнистые наполнители: асбест, стекловолокно.

Полимербетоны обладают химической стойкостью, высокими прочностными показателями. Их применяют для химически стойких конструкций, износостойких покрытий, а также для ремонта железобетонных конструкций, так как полимербетон обладает хорошей адгезией.

Бетонополимеры – затвердевшие бетоны, пропитанные полимером. В результате прочность бетонополимера на сжатие увеличивается в 2...10 раз, на растяжение – в 3...10 раз по сравнению с исходным бетоном.

Стеклопластики – композиционные материалы, изготавливаемые из стеклянных волокон или тканей, связанных полимером (эпоксидные, фенольные, полиэфирные и другие смолы).

Выпускают следующие разновидности стеклопластиков: на основе ориентированных волокон (СВАМ), на основе нитей (АГ-4С, АГ-4В), на основе рубленых волокон (полиэфирный стеклопластик МРТУ-21) и на основе тканей или матов (стеклотекстолиты, КАСТ).

Эти материалы обладают большой прочностью, легкостью, низкой теплопроводностью, химической стойкостью и используются для строительных конструкций, емкостей и труб, соприкасающихся с агрессивной средой.

Сравнительные характеристики стеклопластиков по сравнению с другими конструкционными материалами представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Сравнительные характеристики стеклопластиков с другими материалами

Физико-механические характеристики	Стеклопластик	Стекло	Природный камень (гранит)	Сталь	Тяжелый бетон	Древесина (сосна)
Средняя плотность, г/см ³	1,6...2,0	2,2	2,5...2,7	7,8	1,8...2,5	0,5
Предел прочности при сжатии, МПа	410...1180	35	80...280	410...430	40...60	40...80
Предел прочности при изгибе, МПа	690...1240	25...50	4...15	400	3...6	80
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,3...0,35	0,45	3,49	46	1,2...1,9	0,04...0,1

Бумажнослоистые пластики – изготавливают из нескольких слоев специальной бумаги, пропитанных полимером. Пластик выпускают в виде листов длиной 1...3 м, шириной 0,6...1,0 м, толщиной 1...5 мм с разнообразными рисунками. Изделия хорошо пилятся, сверлятся и фрезеруются.

Оргстекло (полиметилметакрилат) почти полностью прозрачно (90 %), пропускает ультрафиолетовое излучение (75 %, обычное силикатное стекло – только 0,6 %), по сравнению с обычным стеклом обладает меньшей хрупкостью, лучшей обрабатываемостью. Изготавливается в виде прозрачных листов длиной до 1,5 м, шириной от 400 до 600 мм при толщине 0,8...24 мм. Применяется оргстекло в светопрозрачных покрытиях и стенах теплиц, карнизов, оранжерей, в световых фонарях и др.

В последнее время на основе полимерных материалов изготавливают целые строительные конструкции и оболочки (рис. 2.61).

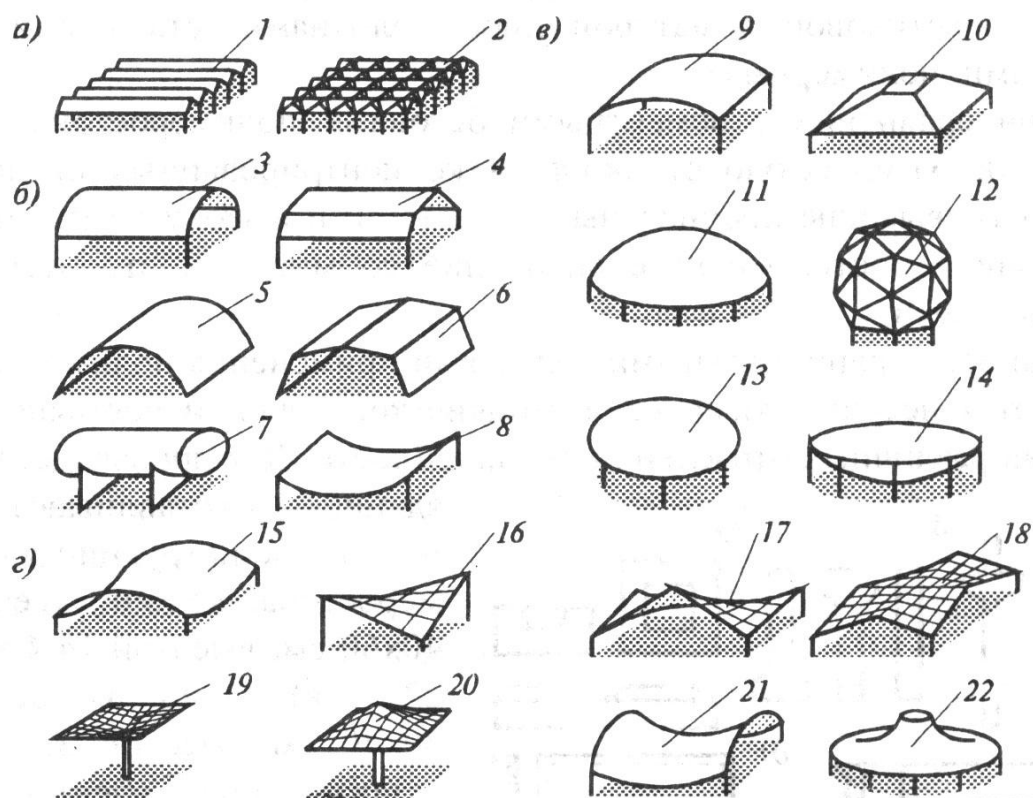


Рис. 2.61. Типы оболочек из пластмасс:

- 1, 2 – с одно- и двухосным расположением элементов; 3, 5 – цилиндрические; 4, 6 – призматические; 7 – замкнутая; 8 – висячая; 9, 10 – эллиптическая и пирамидальная; 11, 12 – сферическая и многогранная; 13 – замкнутая эллиптическая; 14 – висячая эллиптическая; 15, 16 – гиперболические; 17, 18 – шатровые гиперболические; 19, 20 – воронкообразная и зонтичная гиперболические; 21, 22 – седловидная и с центральной опорой

Благодаря скорости сборки и разборки, большой вместительности зарекомендовали себя надувные полимерные конструкции. Так в 2004 г. в Лондоне был использован надувной сберегающий шатер для защиты реставрируемого корабля (рис. 2.62).

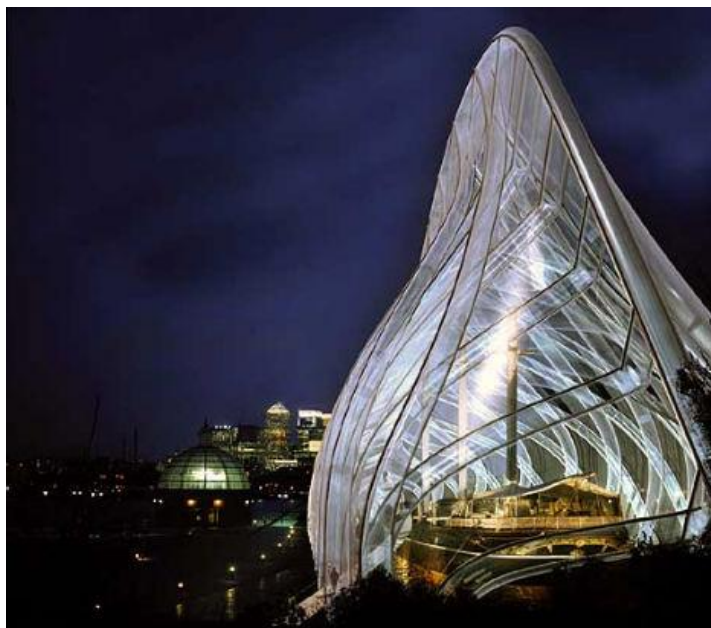


Рис. 2.61. Надувной сберегающий шатер. Лондон, Англия, 2004 г.

В Южной Корее изготовлен надувной павильон (рис. 2.62), похожий на червяка, который применяется для проведения пресс конференций во время крупных спортивных мероприятий.



Рис. 2.62. Надувной павильон. Южная Корея, XXI в.

Широко применяются полимерные составы для изготовления **полов**.

Линолеум выпускают безосновный и на теплоизоляционной основе (тканевой, войлочной, вспененной). Линолеум изготавливают с гладкой и рельефной поверхностью, различных цветовых оттенков. Он обладает стойкостью к истиранию, декоративностью, биостойкостью и служит 20...25 лет.

Сверхтвердые древесностружечные плитки применяют для устройства водостойких полов. Однако при сборке пола получают швы.

Бесшовные полы устраивают, применяя состав на основе водоразбавляемой поливинилацетатной эмульсии. Эмульсию получают в мешалке, смешивая полимер, воду, наполнитель (молотый песок, зола) и пигмент. Готовую смесь в 2...3 слоя наносят распылителем на подготовленное основание.

Полимербетонные наливные полы получают смешением связующего (полимер + пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и др.) с порошкообразным наполнителем и заполнителем (песок, щебень или гравий). Наливные полы обладают химической стойкостью и способны выдерживать тяжелые нагрузки.

Санитарно-технические и погонажные изделия очень быстро и надолго вошли в строительную практику.

Пластиковые трубы получают из поливинилхлорида, полиэтилена и полипропилена экструзивным способом, прессованием, сваркой или склеиванием листовых заготовок. Такие трубы в 3...6 раз легче стальных и чугунных, обладают высокой коррозионной стойкостью, легко пилятся, сверлятся. Их используют при сооружении канализационных и водопроводных сетей, вентиляционных каналов.

Стеклопластиковые трубы изготавливают из полиэфирных полимеров, стекложгута, стеклоткани центробежным методом. Стеклопластиковые трубы значительно прочнее других полимерных труб, они выдерживают температуру до 150 °С.

Санитарно-технические изделия в виде ванн, моек, раковин, сифонов, смывных бочков, смесителей и др. изготавливают из полиметилметакрилата, полипропилена, стеклопластиков. Эти изделия дешевле фаянсовых или чугунных, отличаются малой массой, высокой коррозионной стойкостью.

Погонажные изделия (плинтуса, поручни лестничных перил, наличники, уголки) изготавливают на основе поливинилхлорида, полиэтилена, полистирола, органического стекла. Такие изделия имеют гладкую поверхность, окрашиваются в различные цвета.

Полимерные клеи и мастики также получили широкое распространение в архитектурно-строительной отрасли.

Клеи изготавливают из различных полимерных смол, каучуков и производных целлюлозы. Для регулирования свойств в клеи вводят растворители, наполнители, пластификаторы, отвердители. Полимерные клеи обладают хорошей адгезией и водостойкостью. С их помощью можно склеивать древесину, пластмассу, металлы, керамику, стекло, природные и искусственные камни. Широко применяются полимерные клеи для ремонта железобетонных конст-

рукций.

Мастики – высоковязкие полимерные композиции, способные склеивать различные материалы, покрывать поверхность конструкции довольно толстым слоем для предохранения их от коррозии, заполнять щели, пустоты, отверстия для получения гладкой поверхности или обеспечения герметичности.

2.10. Конструкционные материалы для дорожных покрытий. Клинкерный кирпич, дорожный бетон, асфальтобетон

Строить дороги люди стали с самых древних времен. Их использовали для обмена товарами, торговли, транспортирования различных грузов, передвижения военных частей. Первые мощеные дороги стали возводить еще в 3800 г. до н.э. Для их изготовления применялся, в основном, природный камень. Позже с развитием производства строительных материалов для мощения дорог стали применяться клинкерный кирпич, дорожный бетон и асфальтобетон.

Первая в мире мощеная проезжая дорога была возведена в Риме в 312 г. до н.э. Она была построена по приказу цензора Рима Аппия Клавдия Цека и носит название – **Аппиева дорога** (рис. 2.62). Протяженность Аппиевой дороги составила 195 км. Она связывала Рим с Капуей, главным городом Кампании. Для ее строительства убирали верхний слой почвы, пока не добирались до твердого грунта, на который в несколько слоев насыпали щебень и гальку. Сверху укладывали булыжники из тщательно обработанного базальта, которые скрепляли раствором.



Рис. 2.62. Аппиева дорога, Древний Рим

Уже к 300 г. н.э. дорожная сеть, созданная римлянами, насчитывала свыше 370 дорог. Общая их протяженность составляла примерно 85 тыс. км. Они простирались от Шотландии до Индии, пересекали горы, болота и даже пустыню Сахара.

Клинкерный (дорожный) кирпич получают обжигом глин до полного спекания, поэтому он отличается высокими показателями прочности (марки 400, 700 и 1000) и морозостойкости (50...100 циклов). Размеры кирпича 220×110×65 мм. Применяют клинкер для покрытия дорог, мостов, набережных.

Для мощения тротуаров выпускают также фигурный кирпич. В 1893 г. в городе Иллинойсе первая дорога была уложена из клинкерного кирпича (рис. 2.63). В 1923 г. в США было произведено более 460 млн штук такого кирпича [13].

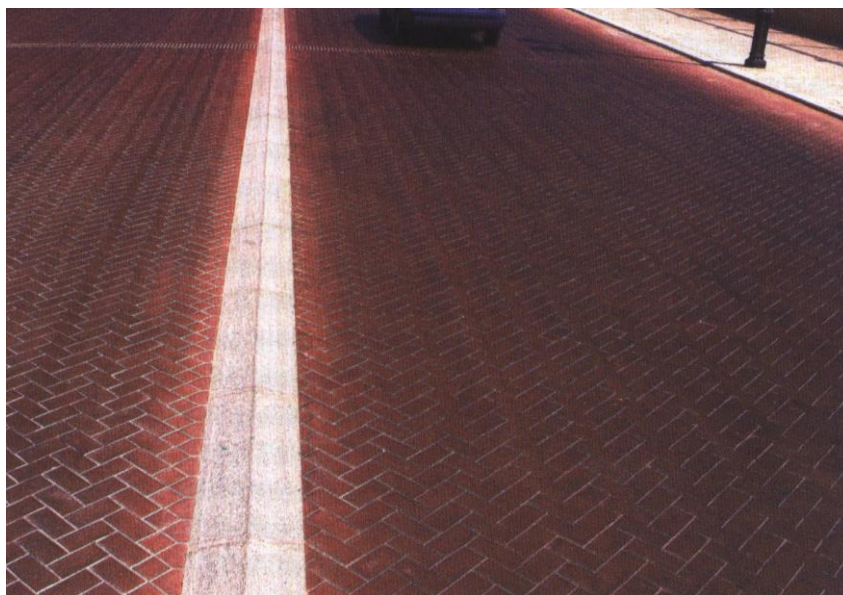


Рис. 2.63. Дорога, вымощенная клинкерным кирпичом, Иллинойс, США

Дорожный бетон является разновидностью специальных видов тяжелых бетонов и применяется для устройства покрытий и оснований при строительстве автомобильных дорог и аэродромов. Так как дорожный бетон эксплуатируется в условиях динамических нагрузок, различных климатических факторов, действия растворов и щелочей, то он должен обладать следующими свойствами: высокой прочностью при сжатии и изгибе, высокой плотностью, морозостойкостью и водостойкостью, повышенной износостойкостью, минимальной усадкой в процессе твердения, достаточной химической и коррозионной стойкостью.

Как правило, для дорожного бетона используют обычный портландцемент, пластифицированный, гидрофобный портландцемент, дорожный цемент. Для увеличения морозостойкости в бетонную смесь вводят воздухововлекающие и газообразующие добавки.

Применение сборного железобетона в дорожном строительстве позволяет преодолеть главный недостаток – сезонность, также появляется возможность создания запаса изделий по всей трассе строительства, полной механизации, снижается трудоемкость работ, обеспечивается неограниченная дальность перевозки изделий. В качестве сборных конструкций применяют балки, мелкие блоки, плиты [14].

Наиболее широко в современном дорожном строительстве применяют **асфальтовые растворы и бетоны**. Их получают в результате горячего смешивания рационально подобранной смеси, состоящей из битума (дегтя), минерального по-

рошка (известняк, доломит и др.), крупного и мелкого заполнителя (щебень или гравий и песок). Материал, получаемый смешением битума с минеральным порошком, называют *асфальтовым вяжущим*, а смесь асфальтового вяжущего с песком – *асфальтовым раствором*, или *песчаным асфальтобетоном*.

Битумы и дегти относятся к органическим вяжущим веществам. Они имеют темно-коричневый или черный цвет, поэтому их часто называют «черными вяжущими». Применялись битумы еще в глубокой древности в качестве вяжущего и водоизолирующего слоя. Существуют природные битумы, образовавшиеся из нефти в верхних слоях земной коры. Залежи чистого природного битума встречаются в виде озер крайне редко, чаще они пронизывают горные породы. Искусственные битумы получают из нефти путем ее переработки.

В отличие от дорожного цементобетона свойства асфальтобетона в значительной мере изменяются от температуры. Например, если предел прочности при сжатии асфальтобетона при 20 °С – 2,2...2,4 МПа, то при 50 °С – только 0,8...1,2 МПа. Однако асфальтовые бетоны лучше, чем цементные, противостоят коррозии, обладают достаточно хорошей износостойкостью и водостойкостью.

Асфальтобетонные смеси укладывают в горячем или холодном состоянии. Наиболее распространены горячие асфальтобетонные смеси, имеющие температуру при укладке не ниже 120 °С. Холодные асфальтобетонные смеси изготавливают на жидких битумах, они укладываются при температуре окружающей среды не ниже 5 °С. В отличие от горячего асфальтобетона холодный можно укладывать с сырую и холодную погоду, его можно также длительное время хранить на складах. В последнее время получили распространение «черный» щебень и асфальтобетоны на основе битумных эмульсий и паст [14].

Аттестационные вопросы

1. Перечислите основные свойства древесины и область ее применения в архитектурно-строительной практике.
2. Назовите современные направления в использовании природного камня в строительстве и архитектуре.
3. Использование керамических материалов и изделий в архитектурно-строительной практике.
4. Использование строительного стекла в качестве конструкционно-отделочного материала.
5. Перечислите свойства металлов и представьте их классификацию.
6. Каковы основные этапы развития и применения бетона и железобетона в архитектурно-строительной практике.
7. Применение силикатных материалов в строительстве.
8. Внедрение пластмасс в архитектурно-строительную практику.
9. Перечислите и дайте характеристику конструкционных материалов, используемых для дорожных покрытий.

РАЗДЕЛ 3

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Эти материалы в зданиях и сооружениях выполняют определенные функции, обеспечивая создание внутри помещений комфортных условий труда и отдыха. К функциональным строительным материалам относятся теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные и кровельные. В предыдущем разделе мы частично касались этих материалов, так как одновременно с выполнением определенных функций они могут нести и нагрузки, и являться отделочным слоем в конструкциях, то есть являться конструкционными или конструкционно-отделочными.

3.1. Общие сведения, классификация, разновидности, применение и основные свойства теплоизоляционных материалов

3.1.1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах

Основными критериями принятой мировым сообществом в последнее десятилетие стратегии «устойчивого развития» мировой цивилизации является энерго- и ресурсосбережение и охрана окружающей среды.

На фоне грядущего исчерпания запасов природных топливных ресурсов и постоянного роста цен на них, проблема энергосбережения является особенно актуальной, тем более, что с ней связаны решения в определенной мере проблемы ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

Одним из важнейших путей экономии топливно-энергетических ресурсов является минимизация тепловых потерь посредством обеспечения надлежащей теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, сооружений, технологического оборудования, теплопроводов. Известно, что каждый уложенный в дело 1 м^3 теплоизоляции обеспечивает в среднем экономию 1,45 т условного топлива в год, а эффективность затрат на тепловую изоляцию в 4...5 раз выше, чем эффективность капиталовложений в разработку новых месторождений топливно-энергетических ресурсов [15].

На отопление существующих зданий ежегодно расходуется 240 млн т условного топлива в год, что составляет около 1/5 всех потребляемых энергоресурсов России, или 34 % от произведенной в стране тепловой энергии. Большой расход энергоресурсов объясняется теплопотерями через ограждающие конструкции, кровлю, оконные и дверные проемы и вентиляцию (рис. 3.1).

Хотя некоторые теплоизоляционные материалы начали применять еще в древние времена (например, древесина), большая часть их разработана и получила применение в строительстве только в последнее время.



Рис. 3.1. Распределение потерь тепла жилого строения [15]

Теплоизоляционными называют материалы, имеющие теплопроводность не более $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, среднюю плотность не выше $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ и высокую пористость, составляющую до 90...95 % от их объема.

Теплоизоляционные материалы предназначены для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного, энергетического оборудования, трубопроводов, тепловых и холодильных установок. Применение этих материалов дает возможность резко снизить массу строительных конструкций, затраты на сооружение зданий, рационально использовать энергетические ресурсы, снизить расходы на отопление. Так, например, тепловые агрегаты при их изоляции сокращают потери на 20...30 %. Изоляция холодильных установок еще более значима, так как стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз дороже соответствующей единицы теплоты. Особенно важна проблема теплосбережения в северных районах нашей страны.

При строительстве Транссибирской магистрали (1907 г.), на Амурской железной дороге был проложен туннель в вечномёрзлом грунте с применением теплоизолирующего слоя между отделкой туннеля и горной породой.

В табл. 3.1 представлены теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, выполненных из различных материалов.

Таблица 3.1

Сравнительные характеристики стен из различных штучных материалов и требуемая толщина стены для обеспечения термического сопротивления, равного $3,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Наименование материала кладки стен	Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Морозостойкость, циклы	Прочность при сжатии, МПа	Эксплуатационная влажность материала в стенах, %	Расчетная теплопроводность, кладки, $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$	Требуемая толщина однослойной стены, м
Керамический кирпич	1800	25	12,5	2	0,81	2,55
Силикатный кирпич	1800	25	15,0	4	0,87	2,74
Пустотелый керамический камень	1000	25	10,0	2	0,52	1,64
Силикатный пустотелый кирпич	1500	25	10,0	4	0,76	2,40
Керамзитобетонные стеновые камни	1000	25	5,0	10	0,42	1,30
Блоки из неавтоклавного пенобетона на растворе	500	25	2,0	12	0,2	0,63
Блоки из автоклавного ячеистого бетона на клею	400 500	25 25	2,0 2,5	5 5	0,13 0,16	0,4 0,5

3.1.2. Классификация теплоизоляционных строительных материалов

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируют по следующим признакам: виду исходного сырья, форме, структуре, средней плотности, теплопроводности, жесткости и возгораемости.

1. По виду исходного сырья теплоизоляционные материалы и изделия бывают:

- неорганические (минеральная вата и изделия из нее, пеностекло, ячеистые бетоны, теплоизоляционная керамика, вспученный перлит и вермикулит, асбестосодержащие материалы);
- органические (материалы на основе древесины, торфа, камыша, соломы; газонаполненные пластмассы).

Материалы, изготавливаемые из смеси органического и неорганического сырья (например, фибролит, получаемый из древесной шерсти и цемента; изделия из минеральной ваты на синтетическом связующем и др.) не выделяют в особую группу, а относят либо к неорганическим, либо к органическим в зависимости от преобладания той или иной части в таком материале.

2. По форме и внешнему виду:

- штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, скорлупы);
- рулонные (маты, полосы, матрацы);

- шнуровые (шнуры, жгуты);
- рыхлые и сыпучие (вата минеральная, стеклянная, вспученный перлит и вермикулит).

3. По структуре:

- волокнистые (минераловатные, асбесто- и древесноволокнистые изделия);
- ячеистые (ячеистое стекло, ячеистый бетон, пенопласты, керамзитобетон);
- зернистые (перлит, вермикулит).

4. По средней плотности в сухом состоянии теплоизоляционные материалы подразделяются на группы и марки:

- особо легкие (ОЛ), имеющие марки 15, 25, 35, 50, 75 и 100 кг/м³ (ячеистые пластмассы, минеральная вата, пеностекло);
- легкие (Л) – 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350 кг/м³ (пеностекло, легкие бетоны, торфоплиты);
- тяжелые (Т) – 400, 450, 500 и 600 кг/м³ (газосиликат, ячеистая керамика, пеностекло).

Материалы с промежуточным значением средней плотности относят к ближайшей большей марке.

5. По теплопроводности:

- малотеплопроводные, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 0,058$ Вт/(м·°С) (минеральная вата, ячеистые пластмассы);
- среднетеплопроводные, $\lambda = 0,058 \dots 0,116$ Вт/(м·°С) (изделия из минеральной ваты, ячеистые бетоны, ячеистая керамика);
- повышенной теплопроводности. $\lambda = 0,116 \dots 0,18$ Вт/(м·°С) (керамзитобетон, битумоперлит, торфоплиты, ячеистые бетоны).

6. По жесткости теплоизоляционные изделия подразделяют на виды, исходя из относительной деформации сжатия под удельной нагрузкой (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Классификация изделий по жесткости

Вид изделия	Относительное сжатие, %, при удельной нагрузке, МПа		
	0,02	0,04	0,1
Мягкие	Более 30	-	-
Полужесткие	От 6 до 30	-	-
Жесткие	До 6	-	-
Повышенной жесткости	-	До 10	-
Твердые	-	-	До 10

7. По возгораемости:

- негораемые (ячеистые бетоны, пеностекло);
- трудногораемые (цементный фибролит);
- сгораемые (древесноволокнистые, древесно-стружечные плиты, ячеистые пластмассы).

3.1.3. Основные свойства теплоизоляционных строительных материалов

Основными техническими свойствами теплоизоляционных материалов являются: теплопроводность, пористость, средняя плотность, прочность, сжимаемость, влажность, огнестойкость (предельная температура применения).

Теплопроводность – важнейшая характеристика теплоизоляционных материалов. Процесс переноса теплоты через строительные материалы под действием градиентов температуры называется *теплопроводностью*, которая характеризуется *коэффициентом теплопроводности* λ , Вт/(м·°С).

Известно, что теплопроводность материала состоит из теплопроводности скелета материала $\lambda_{ск}$, теплопроводности воздушной среды $\lambda_{в}$ и влаги λ_{w} , находящейся в поровом пространстве.

Теплопроводность скелета материала зависит от следующих факторов: химического состава, физического состояния и строения, которые определяются фазовым состоянием вещества; степенью кристаллизации и размерами кристаллов; объемом пористости материала и характеристиками пористой структуры; наличия примесей и др.

Химический состав веществ оказывает существенное влияние на их теплопроводность. Вещества, простые по химическому составу и строению, имеют большую теплопроводность, чем сложные. Например, MgO имеет большую теплопроводность, чем SiO₂ и Al₂O₃. Еще меньшей теплопроводностью обладают CaO·SiO₂, 2CaO·SiO₂, 3Al₂O₃·2SiO₂. Примеси, как правило, уменьшают теплопроводность вещества, даже если сами они более теплопроводны, чем основное вещество [15].

Существенно понизить теплопроводность скелета можно путем использования материала аморфного строения, так как оно значительно хуже проводит тепловой поток, чем материал кристаллического строения.

Минимальную теплопроводность имеет сухой воздух, заключенный в мелких замкнутых порах, в которых практически не возможен конвективный теплообмен. В этом случае теплопроводность воздуха минимальна и составляет 0,023 Вт/(м·°С). Следовательно, оптимальная структура теплоизоляционного материала и изделия должна иметь скелет аморфного строения, предельно насыщенный замкнутыми порами или тонкими воздушными слоями.

Для теплопроводности огромное значение имеет влажность материала, так как теплопроводность воды $\lambda_{воды} = 0,58$ Вт/(м·°С), что в 25 раз выше теплопроводности воздуха.

В случае замерзания воды в порах теплопроводность льда составит 2,32 Вт/(м·°С), что на два порядка выше значения теплопроводности сухого воздуха и в 4 раза больше теплопроводности воды.

Теплопроводность влажного материала λ_w можно вычислить по следующей формуле:

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta \cdot W_0, \quad (3.1)$$

где λ_c – теплопроводность сухого материала;

W_0 – объемная влажность материала;

δ – приращение теплопроводности на 1 % влажности, которое составляет для неорганических материалов при положительной температуре – 0,002 Вт/(м·°С), при отрицательной – 0,004 Вт/(м·°С); для органических соответственно 0,003 и 0,004 Вт/(м·°С).

Теплопроводность при повышенной температуре λ_t (теплоизоляция тепловых агрегатов и трубопроводов) можно вычислить, зная теплопроводность при 0 °С (λ_0) и температурную поправку β на 1 °С повышения температуры

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta \cdot t). \quad (3.2)$$

Пористость – одна из важнейших характеристик теплоизоляционных материалов, позволяющих оценивать процентное содержание газовой (воздушной) фазы в объеме материала. Пористость разделяют на общую, открытую и закрытую. Для зернистых материалов введено понятие межзерновой пустотности.

В табл. 3.3 приведены значения пористости для теплоизоляционных материалов различной структуры.

Таблица 3.3

Значения пористости теплоизоляционных материалов

Структура	Материалы	Пористость, %		
		Общая	Открытая	закрытая
Волокнистая	Минераловатные	85...92	85...92	0
Ячеистая	Ячеистый бетон	85...90	40...50	40...45
	Пеностекло	85...90	2...5	83...85
	Пенопласты	92...99	1...55	45...98
Зернистая	Перлитовые	85...88	60...65	22...25

Открытая пористость ухудшает эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являясь причиной проникновения влаги и газов в глубь изделия, что способствует резкому повышению коэффициента теплопроводности. Для материалов с волокнистой и зернистой структурой значения общей пористости не являются величинами постоянными, так как даже при небольших нагрузках они способны уплотняться.

Закрытая пористость обеспечивает повышенную эксплуатационную стойкость строительной теплоизоляции.

Форма пор оказывает влияние на прочность теплоизоляционного материала. Наилучшие показатели по прочности имеют ячеистые и зернистые материалы со сферическими порами и зёрнами.

Средняя плотность – физическая величина, по которой можно приближенно оценивать теплопроводность материала. Для определения коэффициента

теплопроводности часто пользуются формулами В.П. Некрасова, Б.Н. Кауфмана, О.Б. Власова, связывающими теплопроводность с относительной плотностью материала:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d_m^2} - 0,16, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}; \quad (3.3)$$

$$\lambda = 0,11d^{1,1} \cdot 1,68^d + 0,022, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}; \quad (3.4)$$

$$\lambda = 0,2d + 0,05d^2, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}; \quad (3.5)$$

где d_m – относительная плотность, равная отношению средней плотности материала к плотности воды (безразмерная величина).

Для расчета коэффициента теплопроводности можно также использовать следующую формулу:

$$\lambda = \lambda_v + 2,44 \cdot 10^{-4} \cdot \rho_m, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}; \quad (3.6)$$

где λ_v – теплопроводность воздуха, равная 0,023 Вт/(м·°С);

ρ_m – средняя плотность материала, кг/м³.

Прочность теплоизоляционных материалов не велика и зависит от следующих факторов: вида пористой структуры, формы и пространственного расположения каркасообразующих элементов структуры и др.

Прочностные показатели наиболее распространенных теплоизоляционных материалов приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Прочностные показатели теплоизоляционных материалов

Материалы	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа,	
		при сжатии	при изгибе
Ячеистый бетон	350	0,6	-
Пеностекло	200	1,0	0,7
Минераловатные плиты	200	-	0,1
Асбестосодержащие	350	-	0,17...0,3
Перлитобитумные	300	-	0,15
Перлитоцементные	300	0,8	0,25
Керамические	400	0,8	-
Древесноволокнистые плиты	300	-	0,12
Фибролит	400	-	0,7
Пенопласты	25	0,07	0,1

Сжимаемость характеризует уплотняемость материала, %, под действием сжимающих сил. Этот показатель используют для определения жесткости теплоизоляционных материалов (см. табл. 3.2).

Влажность. Наличие влаги в теплоизоляционных материалах всегда ухудшает их функциональные и строительно-эксплуатационные свойства. У влажных материалов резко повышается теплопроводность, а также снижаются физико-механические показатели. Увлажнение материалов может происходить при контакте с водой (водопоглощение) или влажным воздухом (сорбция). Величина влажности материала зависит от его природы, характера пористой структуры, смачиваемости твердой фазы.

Предельная температура применения – это температура, при которой материал выполняет свое функциональное назначение.

Так, в стеклообразных материалах (минеральной, стеклянной вате, ячеистом стекле и др.) в условиях длительного воздействия повышенных температур возможны образования и рост кристаллов, что приводит к резкому возрастанию внутренних напряжений в стекле вплоть до его разрушения. В полимерных и полимерсодержащих материалах происходит температурная деструкция высокомолекулярных соединений (обрыв цепей, образование поперечных связей), в результате чего прочность и эластичность полимерного связующего резко ухудшаются. В материалах на гидравлических вяжущих, а также в асбесто-содержащих материалах при длительном воздействии повышенных температур происходит дегидратация минерального вяжущего и асбеста, что приводит к сбросу прочности и повышению хрупкости изделий [15].

Приведем предельную температуру применения ($^{\circ}\text{C}$) для некоторых теплоизоляционных материалов:

- керамические волокна – до 1300;
- вспученный вермикулит – до 1100;
- перлитобетон – до 1000;
- диатомитовая теплоизоляция – до 900;
- базальтовая вата – до 900;
- минеральная вата – до 700;
- пеностекло – до 700, в зависимости от состава;
- стеклянная вата – до 400;
- минераловатные изделия – до 400, в зависимости от вида и содержания связующего;
- торфоплиты – до 100;
- газонаполненные пластмассы – до 60...180.

Огнестойкость – свойство материала противостоять, не деформируясь и не расплавляясь, длительному воздействию огня. Этот показатель является важным признаком для определения предельной температуры применения теплоизоляционного материала.

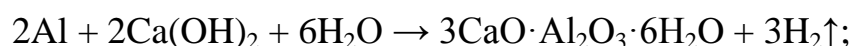
3.1.4. Способы создания высокой пористости теплоизоляционных материалов

Важнейшим показателем свойств теплоизоляционных материалов является высокая пористость. В практике используют несколько способов создания высокопористого строения материалов.

Вспучивание – способ поризации, основанный на выделении в массе газа (газообразование) или введении в нее газовой фазы (пенообразование). Сущность *газообразования* состоит в выделении газообразных продуктов во всем объеме поризуемого материала. Газообразователи могут специально вводиться в поризуемую массу (алюминиевая пудра, карбонаты, порофоры и др.), а также являться частью вспучиваемого материала (гидратная вода).

По химизму процесса газообразование подразделяют на два способа:

- первый основан на выделении газа при взаимодействии газообразователя с компонентами вспучиваемой массы:



- второй основан на выделении газа из газообразователя без его взаимодействия с поризуемой массой:



Этим способом получают высокопористые эффективные материалы: ячеистое стекло, вспученный перлит, стеклопор, керамзит, ячеистые бетоны, газонаполненные пластмассы.

Пенообразование (воздухововлечение) основано на введении воздуха в жидкотекучие массы. По способу создания пеномассы различают три способа: 1) пенообразование, предусматривающее отдельное приготовление пены и массы, а затем их смешение; 2) аэрирование – вовлечение газа (воздуха) непосредственно в поризуемую массу в процессе ее приготовления; 3) сухая минерализация пены, основанная на приготовлении пены и смешивании ее с минеральным порошком.

По такой технологии производят изделия из пенобетона, пеногипса и др.

Удаление порообразователя – основано на испарении или выжигании порообразователя при температурном воздействии. Различают способ *высокого водозатворения* и *выгорающих добавок*. Способ *высокого водозатворения* состоит в применении большого количества воды (до 300...400 %) при получении формовочных масс, которое испаряется при последующей сушке и обжиге, способствуя образованию воздушных пор. Таким способом получают теплоизоляционные асбестосодержащие изделия, древесноволокнистые и торфяные плиты.

Способ выгорающих добавок основан на введении в формовочную массу

и последующем выжигании органических добавок (углесодержащих техногенных отходов, древесных опилок и др.). Этот метод применяется для получения высокопористых керамических и огнеупорных материалов.

Неплотная упаковка – реализуется при получении высокопористых материалов из волокнистых и зернистых систем. При использовании волокнистых материалов прочность изделий, необходимая для транспортировки и монтажа, обеспечивается за счет сволачиваемости, то есть перепутывании волокон (шерсть животных, минеральная вата) и связывания длиноволокнистых материалов (солома, камыш). При создании неплотной упаковки из зернистых материалов стремятся уменьшить размер зерна и привести их гранулометрию к монофракционному составу.

Контактное омоноличивание основано на склеивании зернистых и волокнистых материалов тонкими прослойками связующего вещества (полимера, цемента, растворимого стекла). Примерами материалов, полученных этим способом, являются изделия из минеральной ваты, стеклопор и др.

Объемное омоноличивание – заполнение связующим всех пустот между пористыми зернами материала (керамзитовым гравием и песком, вспученным перлитом и вермикулитом). При этом с целью увеличения общей пористости системы стремятся применять полифракционные зерна и поризованное связующее вещество (в виде пеномассы). Таким способом получают керамзитобетон, перлитобетон.

Создание комбинированных структур применяют для улучшения свойств теплоизоляционных материалов: увеличения общей пористости, повышения прочностных показателей. Этим способом возможно получить волокнисто-ячеистую, зернисто-ячеистую и др. виды структур.

3.1.5. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

На неорганические теплоизоляционные материалы приходится более 80 % общего объема выпуска. Это объясняется распространенностью сырья, возможностью широкого регулирования строительно-эксплуатационных свойств неорганических материалов, применимостью их разновидностей практически в любых условиях эксплуатации.

3.1.5.1. Минераловатное волокно и изделия на его основе

Искусственное минеральное волокно широко применяют для производства теплоизоляционных изделий. Общий объем материалов и изделий на основе искусственных минеральных волокон составляет более 60 % от выпуска теплоизоляционных материалов всех видов.

Минеральная вата – рыхлый волокнистый материал, состоящий из тонких стекловидных волокон диаметром 5...15 мкм, получаемых из расплава легкоплавких горных пород (габбро, диабазов, базальтов, мергелей, доломитов и др.), ме-

таллургических и топливных шлаков и их смеси. Расплав обычно получают в шахтных печах (вагранках) или ваннных печах. Волокна образуются при воздействии подаваемого под давлением пара или воздуха на непрерывно вытекающую из печи струю расплава, либо путем подачи расплава на валки или фильтры, или диск центрифуги. Полученное минеральное волокно собирается в камере волокно-осаждения, куда вводят органические и минеральные связующие вещества.

Используются также **стеклянная вата** и **керамическая вата**, получаемая из алюмосиликатных расплавов с содержанием Al_2O_3 не менее 45 % (песок, глинозем, борная кислота, сода, поташ, известняк, мел, доломит и др.).

Из минеральной и стеклянной ваты изготавливают теплоизоляционные изделия довольно широкой номенклатуры, среди которых выделяются изделия фирм URSA (Россия), SAINT GOBAIN ISOVER (Франция), ROCKWOOL (Дания) и PAROC (Финляндия).

Базальтовое (каменное) огнеупорное волокно является разновидностью минерального волокна. Оно изготавливается расплавом горной породы (базальта). Выдерживает температуру до $1000\text{ }^{\circ}C$ (стекловолокно – только 650 и $550\text{ }^{\circ}C$). При средней плотности 130 кг/м^3 и температуре $0\text{ }^{\circ}C$ вата имеет теплопроводность $0,035\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}C)$. Базальтовая вата применяется в виде огнестойких матов, лент и плит, поставляемых в рулонах, обладает стойкостью к коррозии, выдерживает большие нагрузки, не горюча, не оказывает вредного воздействия на окружающую среду.

Шнуровые материалы изготавливают без применения связующих веществ путем набивки минеральной или стеклянной ваты в оплетку, выполненную из металлической проволоки, стеклянных, хлопковых, капроновых или лавсановых нитей. В зависимости от плотности ваты шнур имеет марки 100, 150, 200, 250, 300 и 350. Длина шнура в бухте должна быть не менее 15 м при диаметре 30...50 мм и не менее 10 м при диаметре 60...90 мм. Теплопроводность шнура из минеральной ваты при температуре $20 \pm 5\text{ }^{\circ}C$ равна $0,07\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}C)$, стеклянной и керамической ваты – $0,064\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}C)$.

Шнур применяется для изоляции трубопроводов, имеющих значительное количество изгибов. Предельная температура применения шнура в зависимости от теплоизоляционного материала следующая: для минеральной ваты – $600\text{ }^{\circ}C$, для стекловаты – $400\text{ }^{\circ}C$, для керамической ваты – $1100\text{ }^{\circ}C$.

Прошивные маты – гибкие изделия, изготавливаемые путем обкладки минераловатного ковра гибкими материалами (металлической сеткой, водонепроницаемой бумагой, стеклотканью, асбестовой тканью) и прошивки изделий стеклянными или хлопковыми нитями. Маты могут прошиваться и без обкладок. Гибкие изделия, состоящие из слоя волокнистого материала со связующим веществом, называются **войлоком**.

Минераловатные маты в рулонах выпускают следующих видов: с синтетическим связующим ($\rho_m = 35...75\text{ кг/м}^3$); прошивные с металлическими, тканевыми, бумажными обкладками, с обкладкой из стеклохолста

($\rho_m = 100 \dots 200 \text{ кг/м}^3$); из штапельного стекловолокна ($\rho_m = 25 \dots 50 \text{ кг/м}^3$); из непрерывного стекловолокна ($\rho_m = 80 \dots 120 \text{ кг/м}^3$); в виде холста из базальтового волокна ($\rho_m = 15 \dots 20 \text{ кг/м}^3$).

Минераловатные полужесткие и мягкие плиты изготавливают с синтетическим, битумным и крахмальным связующим. Изделия с синтетическим связующим имеют меньшую плотность, более прочны и привлекательны на вид по сравнению с изделиями на битумном связующем. Средняя плотность плит – $35 \dots 250 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,041 \dots 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Минераловатные жесткие плиты выпускают с синтетическим, битумным и неорганическим связующим (цементом, глиной, жидким стеклом и др.). Для повышения прочности и снижения количества связующего в состав изделий вводят коротковолокнистый асбест. Плиты толщиной $40 \dots 100 \text{ мм}$ выпускают средней плотностью $100 \dots 400 \text{ кг/м}^3$ и теплопроводностью $0,051 \dots 0,135 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Минераловатные твердые плиты, имеющие повышенную жесткость, изготавливают на синтетическом связующем (фенолоспирте, растворе или дисперсии карбамидного полимера и др.). Плиты из массы жидкотекучей консистенции формуют в вакуум-прессах и подвергают тепловой обработке при $150 \dots 180 \text{ °C}$. Плиты имеют толщину $30 \dots 70 \text{ мм}$, среднюю плотность $180 \dots 200 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность $0,047 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

Минераловатные изделия с гофрированной структурой, содержащие до 30 % ориентированных в вертикальном направлении волокон, имеют плотность $140 \dots 200 \text{ кг/м}^3$. По сравнению с плитами с горизонтальной ориентацией волокон гофрированные плиты отличаются меньшей деформативностью и повышенной прочностью.

Фасонные изделия из минеральной ваты (цилиндры, полуцилиндры, скорлупы, сегменты) изготавливают на синтетическом связующем способами набивки и горячего прессования в матрицах.

3.1.5.2. Материалы и изделия из поризованных искусственных стекол

Ячеистое стекло (пеностекло) – высокопористый теплоизоляционный материал ячеистой структуры. Получают пеностекло из стекольного боя, либо используют те же сырьевые материалы, что и для производства других видов стекла: кварцевый песок, известняк, соду и сульфат натрия. Могут использоваться так же горные породы: трахиты, сиениты, нефелины, обсидианы.

При спекании порошка стекольного боя с газообразователями – коксом и известняком – выделяется углекислый газ, образующий поры. Газообразующими добавками могут служить также мел или карбиды кальция и кремния. При выходе из печи от непрерывнодвигающегося бруса отрезаются блоки определенной длины, направляемые в печь отжига. Благодаря этому предотвращается возникновение внутренних напряжений, вызывающих растрескивание. Ячеистое стекло имеет в материале стенок крупных пор мельчайшие микропоры,

обуславливающие малую теплопроводность ($\lambda = 0,05 \dots 0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$) при достаточно высокой прочности, водостойкости и морозостойкости. Пеностекло – негораемый материал с высокой температуростойкостью – 400 °C ; хорошо обрабатывается. Выпускается в виде плит, блоков или в виде гранул. Применяют для утепления ограждающих конструкций и кровель зданий, теплоизоляции промышленного оборудования и тепловых сетей, в конструкциях холодильников.

Стеклопор получают путем смешивания жидкого стекла с минеральными добавками (мелом, молотым песком, тальком, золой ТЭС и др.), грануляции полученной шихты и ее вспучивания при температуре $320 \dots 360 \text{ °C}$. Стеклопор выпускают трех марок: «СЛ» со средней плотностью $\rho_m = 15 \dots 40 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,028 \dots 0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$; «Л» с $\rho_m = 40 \dots 80 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,032 \dots 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ и «Т» с $\rho_m = 80 \dots 120 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,038 \dots 0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$.

В сочетании с различными связующими стеклопор используют для изготовления различных изделий, а также штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Характеристика изделий на основе стеклопора

Вид изделия	Вид связующего	Расход связующего на 1 м^3 , кг	Средняя плотность изделий, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа
Стеклогипс	Гипс	55...80	130...250	0,1...0,3
Стеклосиликат	Жидкое стекло	50...80	80...200	0,15...0,4
Стеклобитум	Расплавленный битум	50...75	120...200	0,15...0,3
Стеклоцемент	Цементное молоко	55...70	120...200	0,15...0,3
Стеклополимер	Термопласты	30...40	70...110	0,15...0,7

Наиболее эффективно применение стеклопора в наполненных пенопластах, так как введение его в пенопласт позволяет снизить расход полимера и значительно повысить огнестойкость теплоизоляционных изделий.

3.1.5.3. Теплоизоляционные материалы и изделия из горных пород

Вспученный перлит представляет собой сыпучий теплоизоляционный материал в виде пористых зерен, полученный путем измельчения и обжига водосодержащих горных пород вулканического происхождения (вулканических стекол). В зависимости от размера зерен его подразделяют на песок (зерна размером до 5 мм) и щебень (5...20 мм). Он характеризуется высокопористой структурой; общая пористость, включая межзерновые пустоты, составляет 90...98 %, при объеме замкнутых пор не более 25 %. Внутризерновые поры, как правило, имеют сферическую и щелевидную форму, их размер колеблется от 0,5 до 10 мкм.

Вспученный перлитовый песок имеет марки по плотности от 75 до 500 и теплопроводность – от 0,047 до 0,093 $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. Перлитовый песок, используе-

мый для теплоизоляции, имеет насыпную плотность от 80 до 120 кг/м³; более тяжелый ($\rho_n = 150...300$ кг/м³) применяется в качестве мелкого заполнителя в легких бетонах.

Высокие теплоизоляционные свойства вспученного перлита обеспечивают возможность получения на его основе различных изделий: плит, скорлуп, сегментов, кирпича (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Характеристика теплоизоляционных перлитовых изделий

Вид изделий	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Прочность, МПа		Температура применения, °С
			при сжатии	при изгибе	
Битумоперлит	200...300	0,07...0,087	0,2...0,3	0,15...0,2	От – 60 до + 100
Пластоперлит	120...300	0,052...0,08	0,3...1,3	0,15...0,9	До 200
Цементоперлит	225...350	0,065...0,081	-	0,2...0,3	До 600
Стеклоперлит	180...300	0,064...0,093	0,3...1,2	0,2...0,7	600...700
Силикатоперлит	350...600	0,081...0,105	0,9...2,4	-	750...800
Керамоперлит	250...400	0,076...0,105	0,3...1,0	-	875
Керамоперлитофосфат	200...500	0,07...0,087	0,3...0,5	-	1150

Вспученный перлит в изделиях выполняет роль высокопористого заполнителя, потому его количественное содержание в формовочных смесях определяет пористость изделий, их среднюю плотность и теплопроводность. Вид связующего также оказывает влияние на основные свойства изделий, но главным образом определяет их температуру применения.

В зависимости от применяемого вяжущего изделия из вспученного перлита подразделяют на два типа: *безобжиговые* (битумоперлит, пластоперлит, цементоперлит, силикатоперлит, стеклоперлит и др.) и *обжиговые* (керамоперлит, керамоперлитофосфат, термоперлит).

Применяют перлитовые изделия для хладоизоляции (до – 200 °С), а также для тепловой изоляции при средних (до 600 °С) и высоких (до 1150 °С) температурах.

Вспученный вермикулит – сыпучий зернистый материал чешуйчатого строения, получаемый из гидрослюд (магнезиальных, алюминиевых, литиевых) путем вспучивания при нагревании в результате испарения межпакетной влаги.

Обладает высокой огнестойкостью, малой плотностью, звукопоглощающими и фильтрующими способностями, химико-биологической инертностью. Теплопроводность вермикулита зависит от насыпной плотности, размера зерен и находится в пределах 0,056...0,07 Вт/(м·°С).

Основные месторождения вермикулита в РФ – Мурманская область, Урал [15].

Из вспученного вермикулита изготавливают различные изделия, применяя в качестве связующего битум, жидкое стекло, портландцемент, диатомит и их комбинации. Свойства наиболее распространенных изделий приведены в табл. 3.7.

Основные свойства изделий из вспученного вермикулита

Вид изделий	Средняя плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Прочность, МПа		Температура применения, °С
			при сжатии	при изгибе	
Битувермикулит: в изделиях в монолитной изоляции	250...310	0,08	-	0,2...0,25	- 50 до + 60
	500...600	0,09...0,11	0,4...0,6	0,2...0,25	- 50 до + 60
Керамвермикулитовые	300...400	0,07...0,09	0,5...1,0	0,2...0,5	До 1100
Вермикулитовые изделия на жидком стекле	250...300	0,07...0,09	0,4...0,6	0,2	До 500
Асбестовермикулитовые	250...350	0,07...0,09	-	0,18...0,26	-
Цементно-вермикулитовые	400...500	0,08...0,10	0,5...1,0	-	1100
Струнит	100...150	0,05...0,06	-	-	До 50

Струнит – плотно упакованный в полиэтиленовую пленку и прошитый вспученный вермикулит. В результате получается изделие в виде мата.

Материалы на основе вспученного вермикулита применяются для изоляции горячих поверхностей в виде штучных изделий и торкрет-масс, в качестве термовкладышей в ограждающих конструкциях зданий, для получения конструкционно-теплоизоляционных бетонов.

Диатомитовые изделия. Диатомит – рыхлая, землистая пористая и легкая осадочная горная порода, образованная из обломков панцирей диатомитовых водорослей. Диатомит состоит, в основном, из аморфного кремнезема. Его плотность – 400...600 кг/м³, водопоглощение по массе более 100 %, огнеупорность – 1570...1650 °С.

На основе диатомита изготавливают изделия путем введения выгорающих добавок (кирпичи, полуцилиндры, сегменты средней плотностью 500...600 кг/м³), путем введения пенообразующих веществ (кирпичи со средней плотностью 350...400 кг/м³) и путем добавления вспученного перлита (кирпичи со средней плотностью 300...400 кг/м³). Изделия на основе диатомита применяют для тепловой изоляции сооружений, промышленного оборудования и трубопроводов при температурах изолируемых поверхностей до 900 °С.

Теплоизоляционные легкие бетоны готовят из пористого заполнителя – вспученного перлита, легкого керамзита или вермикулита и минерального (реже органического) вяжущего.

3.1.5.4. Ячеистые бетоны

Ячеистые бетоны – теплоизоляционные высокопористые материалы на основе минеральных вяжущих веществ и кремнеземистого компонента. В качестве вяжущего в основном используют цемент, реже гипс (безавтоклавная обработка при нормальном давлении и температуре 90 °С), а также известь (автоклавная обработка при давлении 0,8...1,6 МПа и температуре 180...200 °С). В качестве кремнеземистого компонента применяют кварцевый песок, золу-унос, кислые металлургические шлаки, отходы глиноземистого производства.

По способу порообразования ячеистые бетоны могут быть получены *газообразованием* (газобетон, газосиликат), *пенообразованием* (пенобетон, пеносиликат) и *аэрированием* (аэрированный ячеистый бетон).

Теплоизоляционные ячеистые бетоны получают средней плотностью 100...500 кг/м³. Эти бетоны имеют низкую теплопроводность, достаточную марку по прочности, низкое водопоглощение, морозостойкость, обладают хорошей гвоздимостью, повышенной огнестойкостью.

Теплоизоляционные ячеистые бетоны предназначены для утепления покрытий и перекрытий, создания теплоизоляционного слоя в многослойных стеновых конструкциях зданий.

3.1.5.5. Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия

Асбест – минерал волокнистого строения, способный при механическом воздействии разделяться на тончайшие трубки (фибры), имеющие внутренний диаметр 30...60 Å и внешний 300...400 Å (Å = 10⁻¹⁰ м).

По химическому составу асбест представляет собой водные силикаты магния, железа, кальция и натрия (3MgO·2SiO₂·2H₂O – хризотил-асбест). Волокна асбеста имеют прочность при растяжении 22...36 МПа, что значительно превышает прочность многих натуральных и искусственных волокон органического и неорганического происхождения, в том числе и стальных. Асбест негорюч, однако при высоких температурах в нем происходят процессы, которые резко ухудшают его свойства.

Введение асбестового волокна в формовочные смеси при изготовлении теплоизоляционных материалов способствует снижению средней плотности, повышению прочности, а также предотвращению трещинообразования изделий в процессе изготовления и эксплуатации.

Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы выпускают в виде изделий (плит, скорлуп, сегментов) и сухих смесей, предназначенных для устройства мастичной изоляции. Применяются эти материалы в основном для тепловой изоляции трубопроводов, котельных и др.

Асбестоизвестково-кремнеземистые изделия (известково-кремнеземистые изделия ИКИ) изготавливаются формованием и последующей автоклавной обработкой водной суспензии, состоящей из асбеста, извести и

кремнеземистого компонента (песка, трепела или диатомита).

ИКИ применяют для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600 °С.

Асбестомagneзиальные материалы (ньювель) представляют собой смесь асбеста и основной магнезиальной соли (основного гидрокарбоната магния состава $MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 4H_2O$). Основной гидрокарбонат магния имеет много воздушных пор, которые находятся между его мельчайшими кристаллами. Его получают из магнезита и доломита. Ньювель – высококачественный теплоизоляционный материал, однако вследствие сложности технологического процесса, он оказался менее конкурентоспособным, чем другие теплоизоляционные материалы.

Асбестодоломитовые материалы (совелит) производят из доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) и асбеста (в количестве 15 %). Совелит в виде изделий и порошка применяют для изоляции промышленного оборудования при температурах до 500 °С.

Монтажные асбестовые материалы выпускают в виде листов и рулонов из асбестового волокна; иногда вводят наполнитель и небольшое количество склеивающих веществ (крахмала, казеина и др.), получая асбестовую бумагу, картон, шнур. Иногда применяют алюминиевую фольгу в качестве отражателей в воздушных прослойках слоистых ограждающих конструкций зданий и для теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до 300 °С.

Асбестосодержащие массы для мастичной теплоизоляции изготавливают из смеси волокнистых материалов (асбеста, минерального волокна) с неорганическими вяжущими, затворяемыми водой. Их применяют для изоляции промышленного оборудования и трубопроводов с учетом температуры у границ теплоизоляционного слоя.

Минераловатную смесь готовят из минеральной ваты, асбеста, тонкодисперсной глины и портландцемента. Средняя плотность изоляции в сухом состоянии - 400 кг/м³, теплопроводность - не более 0,28 Вт/(м·°С).

Асбестодиатомитовый порошок – представляет собой смесь асбеста (15 %), молотого диатомита и трепела (85 %) иногда с добавками других веществ (отходов асбоцементных заводов, слюды). Плотность теплоизоляции – 400...600 кг/м³, теплопроводность – 0,093...0,21 Вт/(м·°С).

Совелитовый порошок - это смесь легкого основного углекислого кальция с асбестом, применяемая при температурах до 500 °С. Готовая совелитовая теплоизоляция имеет среднюю плотность 450 кг/м³ и теплопроводность не более 0,098 Вт/(м·°С).

Асбестомagneзиальный порошок (ньювель) готовят в виде смеси легкого основного углекислого магния $MgCO_3$ с асбестом и применяют при температурах до 500 °С.

3.1.5.6. Керамические теплоизоляционные изделия

Этот вид теплоизоляционных материалов применяют для устройства тепловой изоляции промышленных печей и теплопроводов.

Керамические теплоизоляционные изделия изготовляют путем формования, сушки и обжига. Высокая пористость создается путем введения в формовочную массу пенообразователей, высокопористых наполнителей и выгорающих добавок. Закрепление полученной структуры достигается в процессе сушки и обжига. По сравнению с другими теплоизоляционными материалами они имеют высокую прочность и температуростойкость до 900...1600 °С. В качестве сырья используют диатомит, трепел ($m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), огнеупорную глину, перлит.

В табл. 3.8 приведены основные виды высокопористых керамических изделий, нашедших наиболее широкое применение в промышленной теплоизоляции.

Таблица 3.8

Основные виды керамических теплоизоляционных изделий

Вид изделий	Способ порообразования	Показатели основных свойств			
		средняя плотность, кг/м ³	прочность при сжатии, МПа	Теплопроводность при 350 °С, Вт/(м·°С).	температура применения, °С
Диатомитовые (трепельные)	Выгорание добавок (опилок)	500...600	0,6...0,7	0,116...0,119	850...900
Шамотные (алюмосиликатные)		1000	2,0...2,1	0,49...0,5	1200...1250
Корундовые		1200...1300	3,0...3,5	1,2...1,3*	1400...1500
Шамотные (алюмосиликатные)	Выгорание добавок (пенополистирола) способ самоуплотняющихся масс	400...800	1,0...2,0	0,25...0,45	1150...1200
Корундовые		700...1000	3,5...4,0	0,51...0,8*	1500...1600
Диатомитовые (трепельные)	Пенообразование	350...450	0,6...0,8	0,09...0,11	850...900
Шамотные (алюмосиликатные)		400...800	0,9...2,5	0,2...0,5	1150...1200
Корундовые		800...1000	0,3...0,35	0,56...0,95*	1500...1600

Примечание. Теплопроводность при средней температуре 600 °С.

3.1.6. Органические теплоизоляционные материалы

Для производства органических теплоизоляционных материалов используется различное органическое сырье, в зависимости от которого получают материалы волокнистой или ячеистой структуры.

3.1.6.1. Теплоизоляционные материалы на основе древесины

Древесноволокнистые плиты (ДВП) производят из неделовой древесины, отходов лесопиления и деревообработки, а также из бумажной макулатуры, соломы, стеблей кукурузы. Производство заключается в измельчении массы, формовании из нее изделий и их тепловой обработке.

В зависимости от средней плотности ДВП разделяют на виды: мягкие (М) со средней плотностью не более 350 кг/м^3 ; полутвердые (ПТ) – не менее 400 кг/м^3 ; твердые (Т) – не менее 850 кг/м^3 и сверхтвердые (СТ) – не менее 950 кг/м^3 . Теплопроводность плит $0,053 \dots 0,093 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, предельная температура применения – 100°C . Недостатками плит являются высокое водопоглощение (до 18 %) и гигроскопичность (до 15 %).

Древесно-стружечные плиты (ДСП) изготавливают путем горячего прессования массы, содержащей около 90 % органического волокнистого сырья (чаще всего применяют специально приготовленную древесную шерсть) и 7...9 % синтетических смол (фенолоформальдегидных и др.). Для улучшения свойств плит в сырьевую массу добавляют гидрофобизирующие вещества, антисептики и антипирены. Характеристики ДСП представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Основные характеристики древесно-стружечных плит

Показатели	Значения
Средняя плотность, кг/м^3	250...400
Теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$	0,045...0,090
Предел прочности при изгибе, МПа	До 12
Гигроскопичность, %	До 12
Размеры, мм:	
длина	2500...3600
ширина	1200...1800
толщина	13...25

Эковата (целлюлозная вата) – один из перспективнейших современных теплоизоляционных материалов, полученный из вторичного сырья и бытовых отходов (макулатуры: бумаги и картона). Эковата является идеальным заменителем традиционных утеплителей: минеральной ваты, стекловаты и т.д. Среднее значение теплопроводности составляет $0,041 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, насыпная плотность $35 \dots 65 \text{ кг/м}^3$. Эковата трудно сгораема, что обусловлено добавками антипиренов (буры, борной кислоты), обладает биостойкостью, звукопоглощающими свойствами.

Применяется в строительстве жилых и промышленных, торговых и сельскохозяйственных зданий, складов, ангаров и др. Наносится методом напыления с использованием компрессорной установки.

Фибролит – плитный материал из древесной шерсти и неорганического

вяжущего вещества. Древесную шерсть (стружку длиной 200...500, шириной 2...5 и толщиной 0,3...0,5 мм) получают на специальных станках, используя короткие бревна ели, липы, осины или сосны.

Вязущим чаще всего служит портландцемент и раствор минерализатора – хлористого кальция. Формы с массой последовательно проходят камеру начеса, прессовочный вал, пост разделки на плиты, камеру твердения и сушки. Влажность цементно-фибrolитовых плит ограничивается. Плиты выпускают средней плотностью 300...500 кг/м³, теплопроводностью 0,08...0,15 Вт/(м·°С), с пределом прочности при изгибе 0,4...1,2 МПа. Толщина плит – 25, 50, 75, 100, 150 мм.

Плиты применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций, для устройства перегородок, каркасных стен и перекрытий в сухих условиях. Фибролит хорошо обрабатывается - его можно пилить, сверлить, в него можно вбивать гвозди.

Арболитовые изделия изготавливают из портландцемента и органического коротковолокнистого сырья (древесных опилок, дробленой станочной стружки или щепы, сечки соломы или камыша, костры и др.), обработанного раствором минерализатора. Химическими добавками служат: хлористый кальций, растворимое стекло, серноокислый глинозем. Применяют теплоизоляционный арболит плотностью до 500 кг/м³ и конструкционно-теплоизоляционный плотностью до 700 кг/м³. Прочность арболита при сжатии – 0,5...3,5 МПа, при изгибе – 0,4...1,0 МПа; теплопроводность - 0,08...0,12 Вт/(м·°С).

Пробковые материалы изготавливают на основе коры пробкового дуба. Выпускаются в виде плит, панелей, щитов, декоративных покрытий. Наиболее известные марки производителей изделий из пробки: DECKWALL, CORKROLL, IPOCORK, SOUNDCORC. Материалы из пробки обладают достаточно высокой прочностью, легкостью ($\rho_m = 100...200$ кг/м³), не поддаются гниению, воздействию щелочей и бытовых химических продуктов, нападению грызунов, не обладают электропроводностью, не накапливают статического электричества.

Изделия применяют для теплоизоляции полов, фасадов, крыш, звукоизоляции перекрытий и стен, саун, бань.

3.1.6.2. Теплоизоляционные материалы на основе местного сырья

Для производства теплоизоляционных материалов применяют следующие виды местного сырья: торф, камыш, льняную костру, стебли хлопчатника, соломому и т.п.

Торфяные теплоизоляционные изделия изготавливают в виде плит, блоков, скорлуп и сегментов на основе слаборазложившегося торфа, содержащего не менее 80 % мха-сфагнума, имеющего волокнистое строение. В процессе тепловой обработки волокна склеиваются между собой смолистыми веществами, выделяющимися из самого торфа. Средняя плотность изделий на основе торфа 150...430 кг/м³, общая пористость 84...90 %, теплопроводность

0,04...0,08 Вт/м·°С.

В зависимости от назначения изделия могут быть водостойкими, трудно-сгораемыми, биостойкими или комплексными за счет введения соответствующих добавок.

Применяются торфяные материалы для тепловой изоляции конструкций промышленных зданий, холодильных установок, промышленного оборудования и трубопроводов с температурой не более 100 °С.

Камышитовые теплоизоляционные изделия (камышит) изготавливают из стеблей камыша (тростника) путем прессования и скрепления стальной оцинкованной проволокой. Для предотвращения гниения и порчи грызунами камышитовые изделия пропитывают раствором железного купороса. Из камышита изготавливают плиты длиной 2000...3000, шириной 800...1000 и толщиной 50...100 мм, средней плотности 175...250 кг/м³. Предел прочности при изгибе плит – до 0,5 МПа, теплопроводность – 0,058...0,093 Вт/(м·°С).

Камышит применяют для заполнения стен каркасных зданий, устройства перегородок, утепления перекрытий и покрытий в малоэтажном строительстве.

Льнокостричные плиты получают из льняной костры путем ее размола в водной среде, благодаря чему она превращается в волокнистую массу. Для улучшения свойств изделий в формовочную массу вводят 5...7 % грубого льняного волокна и проклеивают гидрофобными добавками.

Изделия, полученные из льняной костры, обладают низкой средней плотностью (200...220 кг/м³), низкой теплопроводностью (0,05 Вт/(м·°С)). Предел прочности при изгибе равен 0,4 МПа. Главный недостаток – большое водопоглощение, достигающее 20 %.

Плиты применяются для тепловой изоляции ограждающих конструкций деревянных домов, покрытий промышленных зданий.

Войлок – группа органических теплоизоляционных материалов волокнистого строения под общим названием. Для получения войлока используют синтетические волокна, волокна животного (шерсть) или растительного происхождения.

Наиболее эффективными, с точки зрения теплоизоляционных качеств, являются отходы синтепона (специального утеплителя одежды), шевелин (льняная пакля), строительный войлок (полотнища из скатанной шерсти животных или маты из полиэтиленовой пленки, набитые отходами синтетического меха, нитяных отходов) или войлок из синтетических волокон. Средняя плотность таких материалов – 10...80 кг/м³, теплопроводность – 0,03...0,07 Вт/(м·°С).

Эти материалы горючи и применяются, главным образом, в деревянном домостроении в сельскохозяйственных постройках для утепления наружных дверей, оконных коробок. Они недороги, при хорошей паро-гидроизоляции достаточно долговечны [15].

3.1.6.3. Полимерные теплоизоляционные материалы

Газонаполненные пластмассы представляют собой двухфазные системы, состоящие из полимерной матрицы и газовой фазы.

По характеру пористости полимерные теплоизоляционные материалы разделяются на следующие:

- ячеистые или пенные пластмассы (*пенопласты*), имеющие преимущественно замкнутую пористость ячеистого строения;
- пористые пластмассы (*поропласты*), пористая структура которых сложена в виде сообщающихся ячеек или плоскостей;
- *сотопласты* с порами геометрически правильной формы (сотами).

В ячеистых пластмассах поры занимают 90...98 % объема материала, а на стенки приходится всего лишь 2...10 %, поэтому ячеистые пластмассы очень легки и обладают малой теплопроводностью (0,026...0,058 Вт/(м·°С)). В то же время они водостойки, не гнивают; жесткие пено- и поропласты достаточно прочны, гибки и эластичны. Особенностью теплоизоляционных пластмасс является ограниченная теплостойкость (от -80 до +130 °С). Большинство из них горючи, поэтому необходимо предусматривать конструктивные меры защиты пористых пластмасс от непосредственного действия огня.

По способу получения газонаполненные пластмассы подразделяют на две большие группы: прессовые, изготавливаемые в условиях обжатия (давления), и беспрессовые, получаемые без воздействия внешнего давления [15].

Теплоизоляционный слой пенопласта толщиной 5...6 см, имеющий массу около 2...3 кг/м³, эквивалентен слою 14...16 см из минеральной ваты или ячеистого бетона. Поэтому масса 1 м² трехслойной панели, утепленной ячеистой пластмассой, снижается на 20...50 кг.

Производителями газонаполненных пластмасс являются фирмы KNAUF, URSA (Россия), ROOFMATE (США) и др. В табл. 3.10 приведены свойства пенопластов из наиболее широко распространенных полимеров.

Таблица 3.10

Характеристики пенопластов

Полимер	Плотность полимера, г/см ³	Средняя плотность пенопласта, кг/м ³	Средний диаметр пор, мм	Толщина межпоровых перегородок, мкм
Полистирол	1,05	16...250	0,92...0,2	0,5...18
Полиэтилен	1,01	35...200	-	-
Поливинилхлорид	1,38	50...250	0,1...0,3	5,0...250
Полиуретан	1,20	50...200	0,1...2,5	5,0...120
Фенолформальдегидная смола	1,2...1,3	20...200	0,2...5,0	1,5...300
Карбамидоформальдегидная смола	1,2...1,3	5...20	-	-

Ячеистые пластмассы в виде плит и скорлуп применяют для утепления стен и покрытий, теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до 60 °С.

Пористые пластмассы можно пилить, резать обычными способами, а также проволокой, нагреваемой электрическим током. Они хорошо склеиваются с бетоном, асбоцементом, металлом, древесиной. Это значительно упрощает изготовление крупных панелей ограждающих конструкций.

Пенополистирол – легкий пластик, изготавливаемый из полистирола и пенообразователя, с добавкой антипирена или без нее.

Производство пенополистирола осуществляется тремя методами: беспрессовым, прессовым и экструзионным. Пенополистирол имеет среднюю плотность до 25 кг/м³, стоек к истиранию, обладает низким водопоглощением (доли %), трудно воспламеняется. Недостатком материала является большая усадка.

Применяется пенополистирол в трехслойных стеновых панелях совместно с жесткими минераловатными плитами, при теплоизоляции стен и кровель. Такие стеновые панели, называемые сэндвич, получили очень широкое распространение, особенно в строительстве промышленных зданий и сооружений. Основные типы сэндвич-панелей и их характеристики представлены в табл. 3.11 и 3.12.

Таблица 3.11

Размер и типы сэндвич-панелей

Марки панелей	Ширина, мм	Длина, мм	Толщина, мм	Типы замков соединения
ПТСМ, ПТСП	1190	От 1800 до 12000	50, 80, 100, 120, 150, 170, 200, 250	Z-Lock, Secret-Fix
ПТКМ, ПТКП	1140	От 1800 до 12500	100, 150, 170, 200, 250	Econodeck, Concealed fixing

Примечания:

ПТСМ – панель трехслойная стеновая с минераловатным утеплителем,

ПТКМ – панель трехслойная кровельная с минераловатным утеплителем,

ПТСП – панель трехслойная стеновая с пенополистирольным утеплителем,

ПТКП – панель трехслойная кровельная с пенополистирольным утеплителем.

Наиболее известными производителями пенополистирола являются ПЕНОПЛЭКС, КНАУФ Пенопласт, ОАО «Мосстройпластмасс», ЗАО «Изоборд» (Россия), DOW Chemical (США), BASF (Германия), IZOCAM (Турция) и др.

Таблица 3.12

Технические характеристики современных стеновых сэндвич-панелей
с применением различных теплоизоляционных материалов

Наименование, фирма-изготовитель, марка	Масса 1 м ² панели, кг	Тип утеплителя	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
Стеновая панель THERMO-ISOL ISORA	9,1	Пенополистирол, $\rho_m = 20 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,033 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$	0,56	12000	1200	53
	9,6		0,41			80
	10,0		0,32			100
	10,6		0,26			130
	11,0		0,22			150
	11,5		0,19			175
	12,0		0,17			200
	12,5		0,15			225
13,0	0,14	250				
Стеновая панель MORUS HE-3 HUURRE	11	Пенополиуретан, $\rho_m = 37 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,025 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$	0,25	12500	1150	70
	12		0,19			100
	13		0,16			125
	14		0,13			150
Стеновая панель UREPOL МАКРО-ПАНЕЛЬ	11	Пенополиуретан, $\rho_m = 37 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,025 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$	0,49	12000	900	50
	11,9		0,32			70
	12,4		0,28			80
	13,3		0,23			100
	14,3		0,18			125
	15,4		0,16			150
Огнестойкая панель PARTEK PAROC	14	Минераловатная твердая плита, $\rho_m = 37 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$	0,72	12000	—	53
	16		0,47			80
	17		0,38			100
	21		0,26			151
	24		0,20			202
Стеновая панель BORGА ISO-PANEL	13	Пенополиуретан, $\rho_m = 37 \text{ кг/м}^3$, $\lambda = 0,025 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$	0,28	15000	900	80
	14		0,23			100

Широкое применение в строительстве получил экструдированный пенополистирол ПЕНОПЛЭКС, характеристики которого приведены в табл. 3.13. Этот материал широко применяется для теплоизоляции ограждающих конструкций, для защиты от морозного пучения железных и автомобильных дорог, в производстве холодильных камер, рефрижераторов и других холодильных установок, а также производства сэндвич-панелей.

Характеристики теплоизоляционного материала ПЕНОПЛЭКС

Физико-механические свойства	Виды ПЕНОПЛЭКСА		
	Тип 35	СТАНДАРТ	ПЕНОПЛЭКС 45
Средняя плотность, кг/м ³	33,0...38,0	28,0...38,0	38,1...45,0
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа, не менее	0,25	0,25	0,50
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	0,4...0,7	0,4...0,7	0,4...0,7
Водопоглощение за 24 ч (30 суток), % по объему, не более	0,2 (0,4)	0,4	0,2 (0,4)
Коэффициент теплопроводности при (25+5) °С, Вт/м·°С	0,028	0,030	0,030
Стандартные размеры, мм:			
длина	1200		2400
ширина	20, 30, 40, 50, 60, 80, 100		40, 50, 60, 80, 100
Долговечность, лет	Более 50		

Пенополиуретан получают в результате химических реакций, протекающих при смешении исходных компонентов (полиэфира, диизоцианата, воды, катализаторов, эмульгаторов, вспенивающих агентов и стабилизаторов пены). Изготавливают жесткий и эластичный полиуретан. Средняя плотность 25...45 кг/м³, прочность при 10 % сжатии – 0,3...0,7 МПа.

Жесткий полиуретан используется в широком интервале температур, отличается легкостью и экономичностью обработки, высокой механической прочностью, устойчивостью к износу и химической и биологической стойкостью. Характеризуется самой низкой теплопроводностью по сравнению с другими изоляционными материалами, теплопроводность при температуре 10 °С ниже 0,03 Вт/(м·°С). Пенополиуретан может быть использован при температуре от -50 °С до +110 °С. Стойкость к действию грибков и микроорганизмов делает его негниющим и неразлагающимся материалом.

Жесткий пенополиуретан применяют в виде плит и скорлуп. Эластичный пенополиуретан служит для герметизации стыков панелей. Разработаны рецептуры заливочных композиций, которые могут вспениваться даже на холоде. Материал «самозатухающий» по огнестойкости.

Пенополиуретан и пенополистирол выпускают как высокоэффективные теплоизоляционные материалы, а в сочетании с упаковкой в усадочную пленку под давлением или другими приемами – как *новые гидротеплоизоляционные материалы*.

Пенополивинилхлорид – термопластичный полимер, который содержит до 56 % связанного хлора, что обеспечивает его пониженную горючесть по сравнению с полистиролом. Выпускают жесткий и эластичный.

Жесткий пенополивинилхлорид – теплоизоляционный материал, незначитель-

но изменяющий свои свойства при изменении температуры от + 60 °С до -60 °С.

Пенопласты на основе **феноло-формальдегидных полимеров** выпускают на основе чистого полимера (ФФ) с введением в него стеклянного волокна (ФС) или каучука (ФК), а также каучука и газообразователя в виде алюминиевой пудры (ФК-А). Пенопласты получают беспрессовым методом из готовой смеси компонентов путем вспенивания смеси при нагреве и последующего охлаждения. Они способны выдерживать действие высоких температур (200...250 °С), устойчивы к влиянию вибрации.

Вспененный полиэтилен широко применяется в строительстве как тепло- и звукоизоляционный материал. Полиэтилен не поддерживает горения и не распространяет пламени, также не подвержен гниению, не выделяет токсичных веществ. Температура применения теплоизоляционных материалов на основе полиэтилена – от -60 до +80 °С. На основе вспененного полиэтилена изготавливают теплоизоляционные ленты и жгуты для уплотнения стыков между сборными элементами ограждающих конструкций, рулоны с покрытием алюминиевой фольгой для тепло- и пароизоляции потолочных перекрытий, стеновых панелей, чердачных и подвальных помещений.

Сотопласты – это материалы с геометрически правильной структурой порового пространства. Их изготавливают путем склейки гофрированных листов бумаги, стеклянной или хлопчатобумажной ткани, пропитанных полимером (карбамидный, фенолформальдегидный, эпоксидный). Они служат эффективным утеплителем в трехслойных панелях. Теплоизоляционные свойства сотопласта повышаются при заполнении ячеек крошкой из мипоры.

Мипору изготавливают путем вспенивания мочевино-формальдегидной смолы, отверждения отлитых из пеномассы блоков и их последующей сушки. Мипора – наиболее легкий (10...20 кг/м³) и наименее теплопроводный из всех теплоизоляционных материалов $\lambda = 0,026...0,03$ Вт/(м·°С).

Применяется в качестве тепло- и звукоизоляции в зданиях с кирпичными полыми стенами, в кровельных и стеновых панелях с деревянным и металлическим каркасом, в железобетонных перекрытиях.

Вспененный каучук – гибкий, долговечный материал черного цвета с закрытой пористостью, выпускаемый в виде трубок под диаметр трубопроводов 6...140 мм или листов шириной 1 м и толщиной от 6 до 32 мм. Температура применения материала от -40 до +175 °С, стоек к УФ-излучению, воздействию масел и маслопродуктов, при горении характеризуется малым количеством дымовыделения. Для монтажа используют различные клеи, в некоторых случаях на изделиях предусмотрено самоклеящееся покрытие (полосы, кромки трубок), на трубы монтируется путем простого натяжения.

Изделия на основе вспененного синтетического каучука широко используются для теплоизоляции трубопроводов и резервуаров, задвижек и фасонных деталей при повышенных температурах: в центральных тепловых пунктах, трубопроводах с перегретым паром, установках солнечной энергии.

3.2. Общие сведения, классификация, разновидности, применение и основные свойства акустических материалов

3.2.1. Общие сведения

Шум – звуки, вызванные случайными причинами, не несущие полезной информации и мешающие тому или иному жизненному процессу. Шум в помещениях относится к категории санитарно-гигиенических вредностей, так как раздражает нервную систему человека и понижает его работоспособность. Вредное воздействие шумов уменьшают путем разработки рациональных конструкторских и планировочных решений зданий, а это возможно лишь с применением акустических материалов.

Физической характеристикой уровня звука является его сила, измеряемая в децибелах, дБ, представляющих собой количество энергии, пронесимое звуковой волной через площадь 1 см^2 перпендикулярно направлению распространения звука за 1 с. Физиологической характеристикой звука служит уровень его громкости (интенсивности), измеряемый в фонах. Один фон – это уровень громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частотой 1000 Гц равен 1 дБ.

Человеческое ухо воспринимает звуковые колебания частотой 16...20000 Гц, особо чувствительными являются частоты 1500...3000 Гц. Инфразвуки имеют частоту до 16 Гц, ультразвуки – более 20 000 Гц, а гиперзвуки – $10^9 \dots 10^{13}$ Гц. Уровни громкости звука представлены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Уровни громкости звука

Характер звука	Уровень громкости (интенсивности) звука, дБ (фон)
Порог слышимости	0
Шелест листьев при слабом ветре	15
Тишина в аудитории (библиотеке)	20
Шепот на расстоянии 1 м	30
Разговор вполголоса	50
Шум трамвая на узкой улице	90
Звук автомобильного сигнала на расстоянии 5...7 м	100
Работа отбойного молотка на расстоянии 1 м	110
Начало болевых ощущений в ушах	130
Шум реактивного двигателя на расстоянии 100 м	150

Различают шумы *воздушные* и *ударные*. *Воздушный шум* возникает в воздушной среде, воздействует на ограждающие конструкции, приводит их в колебательное движение и тем самым передает звук в соседние помещения с частичным отражением и поглощением. *Ударный шум* возникает и распространяется в ограждающих конструкциях при ударных, вибрационных и других воз-

действиях непосредственно на конструкцию.

Акустические материалы – материалы, способные поглощать звуковую энергию, а также снижать уровень силы и громкости проходящих через них звуков, возникающих как в воздухе, так и в ограждении.

Эффективными акустическими материалами являются изделия, изготовленные из пористых материалов или многослойные конструкции с воздушными прослойками. Так как воздух способен гасить звуковые колебания и прерывать перемещение звука, поэтому акустические материалы стремятся изготавливать высокопористыми (пористость 40...90 %), как и теплоизоляционные. Однако в отличие от теплоизоляционных материалов, имеющих замкнутые воздушные поры, акустические материалы должны иметь сквозные поры.

3.2.2. Классификация акустических материалов и изделий

1. *По назначению* акустические материалы разделяют:
 - на звукопоглощающие;
 - на звукоизоляционные.
2. *По виду используемого сырья:*
 - органические (на основе поропластов, древесного волокна);
 - неорганические (на основе ячеистой керамики, ячеистого стекла, легких природных или искусственных заполнителей);
 - смешанные, материалы с минеральным заполнителем и органическим связующим (изделия из минеральной ваты, стекловолокна, перлита и др.) и материалы на основе органических заполнителей и минерального вяжущего (древесно-цементные композиции).
3. *По структуре:*
 - пористо-волокнистые (изделия на основе минерального и органического волокна);
 - пористо-ячеистые (пено- и газобетоны, поропласты, изделия на основе керамзита, перлита);
 - пористо-губчатые (пенопласты, резина).
4. *По конструктивному признаку:*
 - для сплошной изоляции (перфорированные экраны, резонансные конструкции и др.);
 - для локальной изоляции (отдельные щиты, штучные поглотители, рассеивающие изделия и др.).
5. *По возгораемости:*
 - негорючие;
 - трудногорючие;
 - горючие;
 - трудновоспламеняющиеся.
6. *По форме и внешнему виду:*
 - штучные (блоки, плиты);

- рулонные (маты, полосы, холсты);
- рыхлые и сыпучие (керамзит, перлит, вата минеральная и стеклянная и др.).

3.2.3. Звукопоглощающие материалы и изделия

Звукопоглощающие материалы способны поглощать энергию падающих на них звуковых волн и служат для защиты от воздушного шума. Они, как правило, используются для конструкций в помещениях производственных и общественных зданий.

Гашение звука звукопоглощающими материалами происходит следующим образом. Звуковые волны проникают в поры материала, возбуждают в них колебания воздуха, на что расходуется значительная часть звуковой энергии. За счет высокой степени сжатия воздуха, его трения о стенки пор возникает разогрев материала. Это ведет к преобразованию кинематической энергии звуковых волн в тепловую, которая рассеивается в окружающей среде. Дополнительному снижению звуковой энергии способствует деформация гибкого скелета звукопоглощающего материала.

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения α , равный отношению количества поглощенной энергии звуковых колебаний $E_{\text{ПОГЛ}}$ к общему количеству падающей энергии $E_{\text{ПАД}}$:

$$\alpha = \frac{E_{\text{ПОГЛ}}}{E_{\text{ПАД}}} \quad (3.7)$$

По величине коэффициента звукопоглощения материалы делятся на классы: первый класс - α свыше 0,8; второй класс $\alpha = 0,4 \dots 0,8$; третий класс - $\alpha 0,2 \dots 0,4$. Материалы первого класса характеризуются высокой, преимущественно открытой, пористостью и малой средней плотностью (не более $300 \dots 500 \text{ кг/м}^3$). Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов представлены в табл. 3.15.

Таблица 3.15

Коэффициент звукопоглощения некоторых материалов

Наименование	Коэффициент звукопоглощения при 1000 Гц
Открытое окно (для сравнения)	0
Минеральные плиты «Акмигран»	0,7...0,9
Фибролит	0,45...0,50
Древесноволокнистые плиты	0,40...0,80
Перфорированные листы	0,4...0,9
Пеностекло с сообщающимися порами	0,3...0,5
Деревянная стена	0,06...0,1
Кирпичная стена	0,032
Бетонная стена	0,015

Для усиления поглощения звуковой энергии звукопоглощающие материалы часто дополнительно перфорируют. Перфорация облегчает доступ звуковых волн к материалу и в зависимости от размера и формы отверстий, их наклона и глубины, а также процента перфорации (отношения площади, занимаемой отверстиями, к общей площади изделия), увеличивает коэффициент звукопоглощения на 10...20 % и более. Для этой же цели фактуру поверхности изделий делают трещиноватой, бороздчатой или рельефной (рис. 3.2) и окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, дающими пористое покрытие.

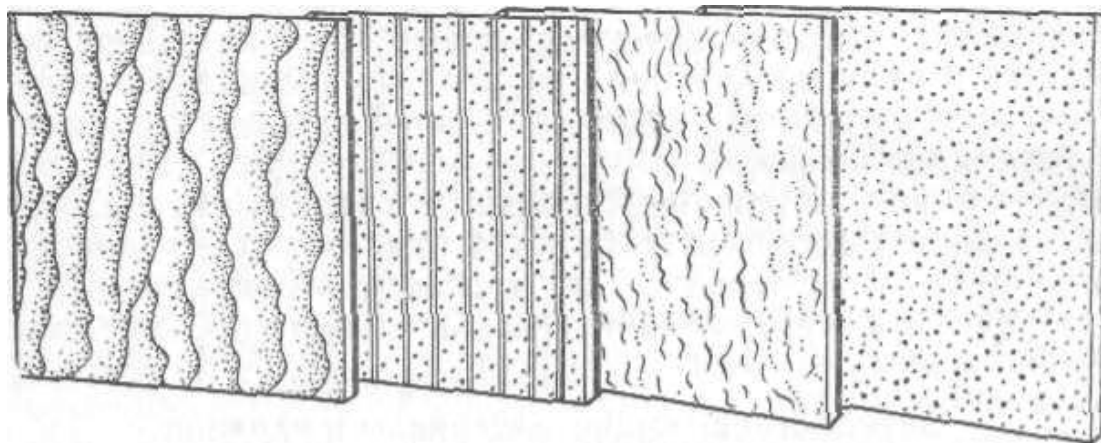


Рис. 3.2. Виды отделки поверхности звукопоглощающих плит

Создание рельефной фактуры и окраска поверхности повышают эффективность звукопоглощения и придают хороший декоративный вид изделию. Такие материалы в архитектурно-строительной практике называют декоративно-акустическими.

Звукопоглощающие плиты целесообразно располагать в конструкции с различным воздушным зазором, что также увеличивает звукопоглощение конструкции.

Звукопоглощающие материалы применяют в виде: однослойного однородного пористого материала с офактуренной поверхностью, двух- и многослойных пористых материалов с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных однослойных и многослойных изделий разнообразных размеров и формы.

Однослойные пористые звукопоглощающие материалы и изделия

Эти материалы и изделия могут иметь волокнистую, конгломератную и ячеистую структуру.

Из звукопоглощающих материалов с волокнистой структурой наибольшее значение имеют минераловатные и древесноволокнистые плиты.

Минераловатные плиты изготавливают из минерального, в том числе

стеклянного или асбестового волокна на синтетическом или битумном связующем. Эти плиты отличаются от теплоизоляционных плит более жестким скелетом, сквозной пористостью и внешней отделкой. Эффективными отделочными звукопоглощающими материалами на основе минеральных волокон являются плиты «акмигран» и «акминит». Для производства «акмигран» применяют минеральную или стеклянную гранулированную вату и связующее, состоящее из крахмала, карбоксилцеллюлозы и бентонита. Из приготовленной смеси связующего и гранул ваты формируют плиты толщиной 20 мм, которые после сушки подвергают отделке (их калибруют, шлифуют и окрашивают). Лицевая поверхность плит имеет «трещиноватую» фактуру. Плиты «акминит» имеют несколько измененный состав (в частности, вместо бентонита используют каолин), а формируют их путем отливки в формах. Коэффициент звукопоглощения обоих видов плит составляет 0,8...0,9. Плиты предназначены для акустической отделки потолков и верхней части стен общественных и административных зданий с относительной влажностью воздуха не более 75 %.

Для звукопоглощающих облицовок используют пористые (мягкие) **древесноволокнистые плиты** со средней плотностью 200...300 кг/м³. Плиты перфорируют обычно на 2/3 толщины круглыми отверстиями или пазами и окрашивают клеевой краской.

К материалам с конгломератной структурой относят **акустические бетоны и растворы** в виде плит, блоков, изготавливаемые на пористых заполнителях (вспученные перлит и вермикулит, керамзит, природной или шлаковой пемзы) и белом, цветном или обычном портландцементках.

Среди материалов с ячеистой структурой наибольшее распространение получили плиты и блоки из **ячеистых бетонов, пеностекла и поропласты** (ячеистые пластмассы с сообщающимися между собой порами).

Звукопоглощающие изделия из пористых материалов с перфорированным покрытием

Основным элементом изделий является пористый материал средней плотности не более 100...140 кг/м³ в виде минераловатных плит, рулонов, акустических бетонных плит или полиуретанового поропласта. С внешней стороны пористый материал закрывают перфорированным экраном, который изготавливают из слоистого пластика, дюралюминия, оцинкованной листовой стали, асбестоцементных листов, гипсовых акустических плит и др. Такие конструкции применяют для акустической отделки потолков и стен в общественных и культурно-бытовых зданиях.

Наибольший эффект звукопоглощения достигается при расположении звукопоглотителя непосредственной близости от источника звука. В этом случае часть звуковой энергии гасится до того, как она проникает в помещение. Поэтому в общественных и особенно в промышленных зданиях большое практическое значение имеют штучные звукопоглотители в виде отдельных щитов,

кубов, призм, конусов, шаров, подвешиваемых к потолкам шумных помещений или устанавливаемых на полу вблизи источника звука (станка, механизма и т.д.). Стенки штучных поглотителей имеют перфорацию, а полости между ними заполнены или облицованы изнутри пористыми материалами.

Основные виды звукопоглощающих материалов представлены в табл. 3.16.

Таблица 3.16

Эксплуатационно-технические свойства основных видов
звукопоглощающих материалов

Материал, изделие	Состав сырьевой смеси	Размеры, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент звукопоглощения при частоте 1000 Гц	Область применения
Плиты звукопоглощающие минераловатные на крахмальной связке: «Акмигран» «Акминит» МВП	Минеральная вата, крахмал, каолин, борная кислота, парафин	300×300×20 300×300×20 300×300×20	350...450 350...450 350...450	0,6...0,8 0,6...0,8 0,5...0,65	Устройство подвесных потолков в зданиях культурно-бытового, административного и промышленного назначения при относительной влажности воздуха не более 75 %
Плиты минераловатные самонесущие		1000× × 900 (600, 500)×50	175	1	В ограждающих конструкциях стен, акустическое оформление потолков, чердачных помещений
Плиты звукопоглощающие декоративные	Минеральная вата, синтетические связки	450 (480)× × 450 (480)×20	250	0,75	То же
Плиты минераловатные ВФ-75 на синтетическом связующем	То же	500×500×20	180	0,9	То же
Плиты асбестоцементные акустические перфорированные	Цемент, асбестовое волокно, вода	1186×746×37	180...200	0,921	То же
Плиты гипсовые литые (декоративно-акустические двухслойные)	Литая гипсовая плита в сочетании с звукопоглотителем. Гипсокартон в сочетании с плитой «Акмигран»	600 (500) × × 600 (500) ×30	350...400	0.6...0,7	Декоративно-акустическое оформление стен, потолков
Плиты «Силакпор» (из ячеистого бетона) с фактурным рисунком	На известково-песчаном вяжущем; на известково-цементном вяжущем	400 (450) × × 400 (450) × × 35 (45)	350...400	0,75	Внутреннее акустическое оформление потолков, стен общественных и производственных помещений (кинотеатров, вычислительных центров и др.)

Материал, изделие	Состав сырьевой смеси	Размеры, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Коэффициент звукопоглощения при частоте 1000 Гц	Область применения
Плиты фибролитовые на портландцементе	ПЦ, древесная стружка, хлористый кальций, гидрофобизирующая добавка	2400...3000 × × 600...1200 × × 30	300...450	0,4...0,65	Звукоизоляция стен, потолков
Двухслойная древесноволокнистая плита	Склеивание перфорированной твердой ДВП с изоляционной мягкой ДВП	1800...2700 × × 500...1800 × × 30	300...400	0,4...0,65	Декоративно-акустическое оформление стен, потолков, перегородок, облицовка помещений общественных зданий
Полиуретановый поропласт: полужесткий мягкий	Вспененный полиуретан	- × - × 50 - × - × 50	70 35	0,52 0,96	Изоляция перекрытий, стен

3.2.4. Звукоизоляционные материалы и изделия

Звукоизоляционные материалы предназначены в основном для ослабления и защиты от ударного шума в многослойных конструкциях перекрытий и перегородок.

Звукоизоляционные материалы, применяемые в виде слоев из плит или матов, полосовых или штучных прокладок, часто называют прокладочными.

Звукоизоляционная способность материалов объясняется низкой скоростью распространения звука в них в связи с отражением воздушных звуковых волн от поверхности материала и гашением ударного шума за счет деформации элементов конструкции звукоизоляционного материала. Например, скорость распространения звуковых волн в стали составляет 5050 м/с, в железобетоне – 4100 м/с, в древесине – 1500 м/с, в воде – 1430 м/с, в воздушной среде – 343 м/с, а в поризованной резине – всего 30 м/с.

Одной из основных характеристик звукоизоляционных материалов в конструкциях является динамический модуль упругости E_d , который в несколько раз выше статического модуля упругости и отличается от него еще тем, что в нем учитываются затухания ударных звуковых колебаний за счет трения. Чем ниже динамический модуль упругости, тем больше ударных звуковых колебаний поглощает материал. С уменьшением средней плотности данного материала его динамический модуль упругости также понижается. По этой причине звукоизоляционные прокладочные материалы изготавливают высокопористыми (40...90 % сквозных пор).

В большинстве случаев звукоизоляционные прокладочные материалы работают под действием сжимающих сил (в перекрытиях, стыках несущих

конструкций, в конструкциях амортизаторов под машины и оборудование). В результате этого материал сжимается, что сопровождается возрастанием модуля упругости. Поэтому его величину следует определять после стабилизации сжатия, а сжимаемость учитывать при назначении толщины прокладок.

По величине динамического модуля упругости, определяемой под удельной нагрузкой 0,002 МПа (2 КПа), звукоизоляционные материалы подразделяют на три группы: **А** – материалы с динамическим модулем упругости $E_d < 1,0$ МПа; **Б** – $E_d = 1,0 \dots 5$ МПа и **В** – $E_d = 5 \dots 15$ МПа.

Звукоизоляционные материалы по средней плотности делят на марки от 15 до 200 кг/м³.

Указанным требованиям удовлетворяют звукоизоляционные материалы и изделия, имеющие пористо-волокнистую или пористо-губчатую структуру.

Эффективными звукоизоляционными изделиями с **волокнистой структурой** являются маты и плиты полужесткие минераловатные и стекловатные на синтетическом связующем, маты и рулоны прошивные стекловатные, древесноволокнистые и асбестоцементные изоляционные плиты.

Прокладочные материалы с **губчатой (ячеистой) структурой** изготавливают из пористой резины и эластичных полимеров (поропласты из полиуретановых, поливинилхлоридных и других полимеров).

Одни из этих материалов применяют для сплошных звукоизоляционных прокладок под полы, укладываемых по всей площади перекрытий (рис. 3.3, а), другие – для полосовых и штучных прокладок, разделяющих несущую часть перекрытия от конструкции пола (рис. 3.3, б).

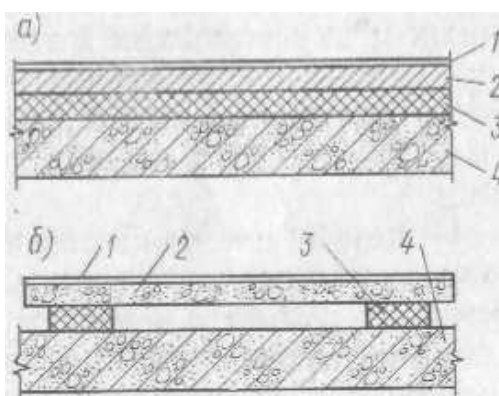


Рис. 3.3. Схема применения звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях:

- а) в виде сплошного слоя; б) в виде полосовых и штучных прокладок;
1 – покрытие пола; 2 – конструкция пола; 3 – звукоизоляционный материал;
4 – несущая часть перекрытия

Звукоизоляционные материалы используют также в стенах и перегородках в виде сплошной ненагруженной прокладки и в стыках конструкций.

В междуэтажных перекрытиях, состоящих из несущей плиты и мягкого покрытия пола, роль звукоизолирующего материала от воздушных шумов вы-

полняет масса самой плиты, а звукоизоляция от ударного шума обеспечивается мягким покрытием пола. Для таких покрытий используют линолеум на войлочной или пористой поливинилхлоридной основе, релин на губчатой основе и другие типы мягких покрытий из ворсовой или гладкой синтетической ткани на губчатой основе. Такие покрытия одновременно выполняют и теплоизоляционные функции.

Для гашения вибрационных колебаний и шумов при работе технологического, санитарно-технического оборудования, используют вибропоглощающие и виброизоляционные прокладки, изолирующие оборудование от конструкций зданий. В качестве вибропоглощающих материалов применяют жесткие и мягкие пластмассы, некоторые сорта резины и различные мастики на основе битума, которые наносят на тонкие металлические поверхности.

Основные виды звукоизоляционных материалов приведены в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Свойства некоторых звукоизоляционных материалов

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости Е _д , МПа, и относительное сжатие К при нагрузке 2 КПа		Область применения
		Е _д	К	
Плиты древесноволокнистые	150...250	1	0,1	Применяют в перекрытиях в виде сплошных ненагруженных или нагруженных прокладок, полосовых нагруженных и штучных нагруженных прокладок; в стенах и перегородках в виде сплошной ненагруженной прокладки; в стыковых конструкциях
Плиты минераловатные ВФ-75 на синтетическом связующем:				
марка 80	70...80	0,36	0,50	
марка 100	90...100	0,40	0,40	
Шлак крупностью до 15 мм	500...800	8	0,8	
Песок прокаленный	1300...1500	12	0,03	
Маты минераловатные прошивные	100...200	-	-	
Плиты минераловатные на синтетическом связующем, толщиной 20 мм:				
мягкие	50...75	0,18	0,2	
полужесткие	100...125	0,15	0,1	
Плиты стекловатные на синтетическом связующем, толщиной 20 мм	50	0,07	0,2	
Плиты из пористой резины, толщиной 20 мм	500...700	2,5...3	0,065	
Прокладки из поризованной синтетической резины размером 20000×100×7,5 мм	33	-	-	
Эластичные рулонные поропласты толщиной 10...15 мм	35...60	0,3...0,8	-	
Цементный фибролит	300	-	-	
Полиэстерные маты размером 25000×100×6...45 мм	35	-	-	
Синтепон 25000×100×6...45 мм	22	-	-	
Рулоны прессованной пробки размером 10000×100×2 мм	150	-	-	
Маты пенополиуретановые размером 15000×100×2...4 мм	35	-	-	

3.3. Применение и основные свойства гидро-, пароизоляционных и герметизирующих материалов

3.3.1. Общие сведения

Для защиты зданий и сооружений от воздействия воды и агрессивных сред применяют различные гидроизоляционные материалы, которые повышают водонепроницаемость, водостойкость и улучшают гидро- и теплофизические свойства строительных конструкций. Гидроизоляционные материалы в отдельных случаях подвергаются значительному напору воды, порой химически активной, поэтому они должны обладать повышенной прочностью, эластичностью, малой усадкой, химической стойкостью.

В зависимости от количества проникшей влаги внутрь помещений различают следующие категории сухости (табл. 3.18 [8]).

Таблица 3.18

Категории сухости помещений

Категория сухости	Описание	Допустимая степень сырости ограждающих конструкций
I	Сухая поверхность	Отдельные сырые пятна общей площадью не более 1% поверхности
II	Сухая поверхность с отдельными влажными участками (без выделения капельной влаги)	Общая площадь влажных участков не более 20 % поверхности
III	Выделение капельной влаги на стенах, на полу, но не на потолке	Общая площадь увлажненных участков не более 20 % поверхности

Применение гидроизоляционных материалов известно с древних времен. 4,5...5 тыс. лет назад природный битум использовали при строительстве египетских и вавилонских сооружений: храмов, ритуальных бассейнов, гробниц и т.п. За 600 лет до н.э. битум был применен в Вавилоне при постройке каналов для пропуска вод реки Евфрат, изоляции туннелей, а также при возведении мостовых асфальтовых дорог.

Природный битум и в наше время наравне с нефтяным битумом и каменноугольным дегтем являются одними из основных материалов для гидроизоляционных и других видов работ. Более качественными гидроизоляционные материалы выпускаются на основе полимеров, а также битумных композиций модифицированных полимерами, резинобитумных и минеральных вяжущих (на основе различных цементов и силикатов). Эти материалы обладают повышенной прочностью, теплостойкостью, гибкостью, растяжимостью, пониженной хрупкостью. Среди полимеров, находят применение полиэтилен, хлорсульфированный полиэтилен, полиизобутилен, полистирол, синтетические каучуки и латексы (дивинил стирольные, хлоропреновые, карбоксилатные и др.).

Область применения гидроизоляционных материалов достаточно обширна и включает: защиту от действия грунтовых вод котлованов, фундаментов,

тоннелей, коллекторов; изоляцию бассейнов, водохранилищ; защиту проезжей части мостов и их опор; защиту междуэтажных перекрытий и санузлов; устройство кровель; заделку и герметизацию стыков между панелями; заделку температурных швов и др.

3.3.2. Классификация гидроизоляционных материалов

В настоящее время имеется большое разнообразие гидроизоляционных антифильтрационных материалов, которые применяют в ремонтно-строительных и восстановительных работах при реконструкции и санации зданий. Их классифицируют по признакам, представленным ниже.

1. По функциональному назначению в конструкции:

- грунтовочные;
- подмазочные;
- шпаклевочные;
- изоляционные;
- покровные.

2. По физическому состоянию и внешнему виду:

- жидкие (после нанесения на поверхность, в результате улетучивания растворителя или окисления и полимеризации, образуют прочные водонепроницаемые пленки);

- пластично-вязкие (пасты, мастики);
- упруговязкие (пленочные, рулонные, штучные);
- твердые (рулонные, штучные).

3. По основному сырью:

- органические (битумные, дегтевые, полимерные, битумно-полимерные);
- неорганические (на основе различных цементов и силикатов);
- смешанные.

4. По виду вяжущего:

- асфальтовые;
- минеральные;
- полимерные;
- металлические.

5. По производственному назначению:

- окрасочные;
- обмазочные (штукатурные);
- оклеечные;
- пропиточные;
- инъекционные;
- уплотняющие;
- монтажные;
- насыпные.

6. По характеру воздействия влаги гидроизоляция бывает:

- безнапорная (при временном воздействии влаги, сезонных паводках);
- противонапорная (при гидростатическом подпоре грунтовых вод);
- противокапиллярная (при капиллярном подъеме грунтовых вод);
- санирующая (для защиты от влаги, солей и микроорганизмов, но для пропуса воздуха и пара).

7. По наличию основы:

- материалы на основе (рубероид, толь, пергамин, стеклорубероид и др.);
- бесосновные (изол, бризол).

3.3.3. Выбор гидроизоляционных материалов и их сроки службы

Материалы для устройства гидроизоляции выбирают по наиболее важным для эксплуатации характеристикам с учетом особенностей производства строительно-монтажных работ и возможностей ухода за гидроизоляцией в процессе эксплуатации. При выборе вида гидроизоляционной защиты для конкретных помещений следует пользоваться данными табл. 3.19 [10].

Таблица 3.19

Виды гидроизоляции строительных сооружений и конструкций

Вид сооружений или конструкций	Вид гидроизоляции							
	Поверхностная			Объемная				
	окрасочная	штукатурная	оклеечная	литая	пропиточная	инъекционная	засыпочная	монтируемая
Конструкции, погружаемые в грунт (сваи, опускные колодцы, кессоны и др.)	+	+	-	-	+	+	-	+
Фундаменты и подвалы, сооружаемые открытым способом	+	+	+	+	+	-	+	+
Мокрые помещения (санузлы, ванные, кухни, бани, прачечные и т.п.)	+	+	+	-	-	-	-	+
Междуэтажные перекрытия зданий, сборные железобетонные конструкции	+	+	+	+	+	-	+	+
Конструкции с повышенной эксплуатационной температурой (теплотрассы, вентиляционные тоннели и т.п.)	+	+	+	-	+	-	+	-
Гибкие элементы сооружений (сопряжения, деформационные швы)	-	-	+	-	-	-	-	+
Водопроводящие и водонаполненные сооружения (водоводы, тоннели, лотки, резервуары и т.п.)	+	+	+	+	+	-	-	-
Ограничение утечек воды при ремонте подземных конструкций	-	-	-	+	-	+	-	-

Поверхностная гидроизоляция представляет собой покрытие, которое выполняется на наружной или внутренней поверхности изолируемой конструкции. *Объемная гидроизоляция* – это изоляция, при которой сам материал конструкции уже обладает гидроизоляционными свойствами (полимербетоны, цементные бетоны повышенной плотности, конструкции, пропитанные жидкими гидроизоляционными материалами и др.).

Срок службы гидроизоляционных материалов и их надежность зависят от многих факторов и в первую очередь от качества самих материалов, от качества произведенных строительно-монтажных работ, от климатических условий и условий эксплуатации, от трещиностойкости конструкции, гибкости и эластичности самого материала, особенно при отрицательных температурах.

Ориентировочные сроки службы основных гидроизоляционных материалов представлены в табл. 3.20.

Таблица 3.20

Ориентировочные сроки службы основных гидроизоляционных покрытий

Гидроизоляция	Толщина, мм	Срок службы, год		
		в атмосфере	в грунте	под водой
Битумная	4	3...4	5...7	3...4
Битумно-латексная	6	5...6	8...10	-
Асфальтобетонная (литая)	15...20	5...6	20...25	5...7
Эпоксидная	0,8...1	10...13	13...15	8...10
Эпоксидно-дегтевая	2...3	12...14	16...20	10...12
Полимерцементная	2...3	12...14	14...15	10...14
Рубероидная	7...9	8...10	14...16	-
Изольная, бризольная	8...10	8...10	10...12	10...12
Полиэтиленовая	1...1,2	-	18...26	17...20
Фольгоизольная	0,2	6...7	-	-
Асбестоцементная	4...10	8...10	-	-
Плотный бетон	65...80	18...20	-	-
Бетонополимер	30...40	20...40	-	-
Полимербетон	30...40	18...25	-	-

3.3.4. Гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей с модификацией полимерами

Рулонные материалы

Рулонные материалы выпускают основные и безосновные. *Основные* материалы изготовляют путем обработки основы (кровельного картона, асбестовой бумаги, стеклоткани и др.) битумами, дегтями и их смесями. *Безосновные* получают в виде полотнищ определенной толщины, применяя прокатку смесей, составленных из органического вяжущего (чаще битума), наполнителя (минерального порошка или измельченной резины) и добавок (антисептика, пластификатора).

Рубероид изготовляют пропиткой кровельного картона легкоплавким би-

тумом с последующим покрытием с одной или с обеих сторон тугоплавким нефтяным битумом с наполнителем и посыпкой. Кровельный картон получают из тряпья, бумажной макулатуры и древесной целлюлозы. Крупнозернистая цветная посыпка не только повышает атмосферостойкость рубероида, но и придает ему привлекательный вид и препятствует слипанию.

В зависимости от марки картона, назначения и вида посыпки рубероид подразделяют на марки, указанные в табл. 3.21.

Таблица 3.21

Марки рубероида

Марка рубероида	Марка картона	Вид посыпки	Основное назначение
РКК-400	400	Крупнозернистая с лицевой стороны и пылевидная или мелкозернистая с нижней стороны полотна	Для верхнего слоя кровельного ковра
РКК-350	350		То же
РКЦ-400	400	Крупнозернистая цветная с лицевой стороны и пылевидная или мелкозернистая с нижней стороны полотна	То же
РКП-350	350	Пылевидная или мелкозернистая обеих сторон полотна	Для верхнего слоя кровельного ковра с защитным слоем и нижних слоев кровельного ковра; для рулонной гидроизоляции строительных конструкций
			Для нижних слоев кровельного ковра
РПП-300	300		То же
РПЭ-300	300		То же

Рубероид в зависимости от марки должен соответствовать требованиям, указанным в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Основные характеристики рубероида

Наименование показателя	Норма для рубероида марок				
	РКК-400 РКЦ-400	РКК-350	РКП-350	РПП-300	РПЭ-300
Разрывная сила при растяжении, Н (кгс), не менее	333 (34)	313 (32)	274 (28)	216 (22)	225 (23)
Масса покровного состава, г/м ² , не менее	800	800	800	800	800
Водопоглощение в течение 24 ч, %, не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Потеря посыпки, г/образец, не более	3,0*/2,0**	3,0	-	-	-

Примечания: * для марки РКК-40,
** для марки РКЦ-400.

Главный недостаток рубероида – гниение, поэтому в настоящее время освоено производство антисептированного рубероида.

Наплавляемый рубероид – кровельный материал, наклейка которого осуществляется (без применения кровельной мастики) расплавлением утолщенного нижнего слоя пламенем горелки. В результате производительность труда повышается на 50 %, удешевляются кровельные работы (рис. 3.4).

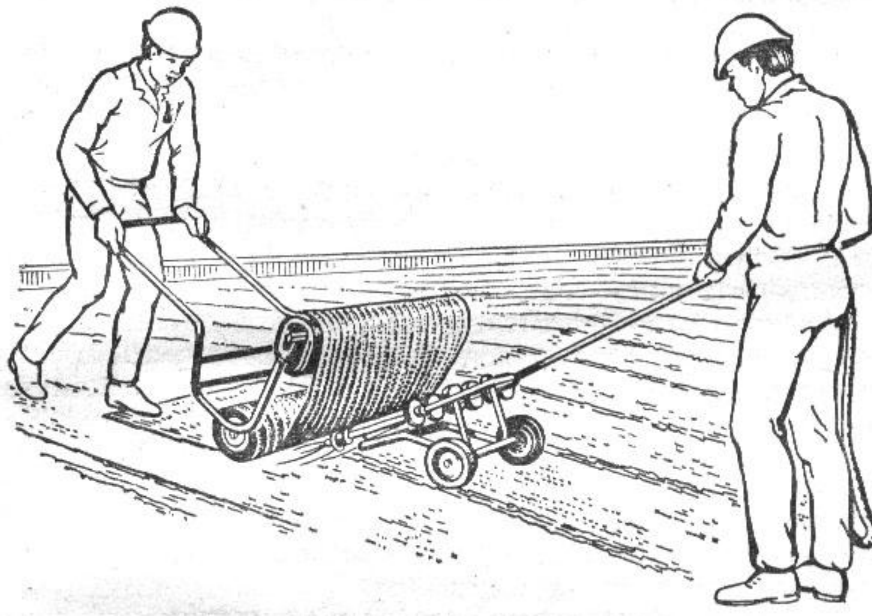


Рис. 3.4. Устройство изоляции из наплавленного рубероида с помощью огневых форсунок

Среди современных наплавляемых материалов широкое применение для гидроизоляции зданий, сооружений, мостов, эстакад, тоннелей получили линокром, бикропласт, бикрост, техноэласт и др.

Пергамин – рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона расплавленным нефтяным битумом. Служит подкладочным материалом под рубероид и используется для изоляции.

Толь – рулонный материал, изготавливаемый пропиткой и покрытием кровельного картона дегтями с посыпкой песком или минеральной крошкой. Толь с крупнозернистой посыпкой применяют для верхнего слоя плоских кровель, а толь с песочной посыпкой – для кровель временных сооружений, гидроизоляции фундаментов и других частей сооружений.

Толь-кожу и **толь гидроизоляционный** выпускают без покровного слоя и посыпки. Применяют в качестве подкладочного материала под толь при устройстве многослойных кровель, а также для паро- и гидроизоляции.

Гидроизол – рулонный гидроизоляционный материал, полученный путем

пропитки асбестового картона нефтяным битумом. Предназначен для устройства гидроизоляционного слоя в подземных и гидротехнических сооружениях, а также для защитного противокоррозионного покрытия.

Стеклорубероид и **стекловолок** – рулонные материалы, получаемые путем двустороннего нанесения битумного (битуморезинового или битумополимерного) вяжущего на стекловолоконный холст или на стекловолок и покрытия с одной или двух сторон сплошным слоем посыпки. Применяют стеклорубероид для верхнего и нижних слоев кровельного ковра и для оклеечной гидроизоляции.

На основе стекло- и синтетического волокна выпускается довольно много материалов с разными фирменными названиями (Рубемаст, Стеклобит, Стекломаст, Эластобит, Элабит, Изоэласт, Филизол, Изопласт, Ирмаст, Битулин, Бикроэласт и др.).

Асфальтовые армированные маты получают путем покрытия предварительно пропитанной стеклоткани с обеих сторон гидроизоляционной битумной мастикой, используют для оклеечной гидроизоляции и уплотнения деформационных швов.

Фольгоизол – рулонный двухслойный материал, состоящий из тонкой рифленой или гладкой алюминиевой фольги, покрытой с нижней стороны защитным битумно-резиновым или битумно-полимерным составом. Различают фольгоизол гидроизоляционный (ФГ) и кровельный (ФК). Фольгоизол имеет теплостойкость 100...110 °С. Он предназначен для устройства кровель и паро-гидроизоляции зданий и сооружений, герметизации стыков.

Фольгорубероид представляет собой рубероид, на котором крупнозернистая посыпка лицевой стороны заменена рифленой мягкой алюминиевой фольгой толщиной 80...200 мкм. Применяется в качестве защитного покрытия, тепловой изоляции трубопроводов, расположенных на открытом воздухе при температуре от -40 °С до +70 °С.

Металлоизол – гидроизоляционный материал из алюминиевой фольги, покрытой с обеих сторон битумной мастикой. Этот материал имеет высокую прочность на разрыв и долговечность. Применяют металлоизол для гидроизоляции подземных и гидротехнических сооружений.

Бризол изготавливают, прокатывая массу, полученную смешиванием битума, дробленой резины (от изношенных автопокрышек), асбестового волокна и пластификатора. Бризол стоек к действию серной кислоты при концентрации до 40 % и соляной кислоты при концентрации до 20 %, а также температуры до 60 °С. Его применяют для защиты от коррозии подземных металлических конструкций и трубопроводов.

Изол – бесосновный рулонный гидроизоляционный и кровельный материал, изготавливаемый прокаткой резинобитумной композиции, полученной термомеханической обработкой девулканизированной резины, нефтяного битума, минерального наполнителя, антисептика и пластификатора. Изол долговечнее рубероида, эластичен, биостоек, незначительно поглощает влагу. Применяют

изол для гидроизоляции гидротехнических сооружений, бассейнов, резервуаров, подвалов, антикоррозионной защиты трубопроводов, для покрытия двух- и трехслойных пологих и плоских кровель.

Штучные изделия

Мягкая черепица – современный материал для кровли здания, получаемый на основе стекловолокна и битумно-полимерного связующего.

Достоинством этого материала является высокая архитектурная выразительность, легкость монтажа, даже на кровлях сложной конфигурации, высокие звукоизоляционные свойства, длительный срок службы.

Разновидностью мягкой черепицы является плитка «Шинглс» (название происходит от англ. shingle или польского gont – плоская кровельная плитка, драпка), представляющая собой листы из целлюлозного или асбестового картона, пропитанного битумом и покрытого цветной минеральной крошкой. Размер плиток имитирует 3...4 штуки черепицы.

Известными фирмами производителями мягкой черепицы являются SHINGLAS (Россия, США), КАТЕПАЛ, ИКОПАЛ (Финляндия), ОНДУЛИН (Франция) и др.

Рубероидный (толевый) срыв – бракованные участки полотнища рубероида (толи), из которых вырезают плитки размером 75×60 см, 60×50 см.

Армированные плиты изготавливают прессованием горячей асфальтовой смеси с армированием стеклотканью или металлической сеткой.

Неармированные плиты изготавливают из тех же смесей, но без армирования. Плиты применяют для устройства гидроизоляции и заполнения деформационных швов.

Мастики

Мастики представляют собой пластичные смеси, получаемые смешиванием органических вяжущих (нефтяного битума или дегтя) с минеральным (иногда органическими) наполнителем и добавками (пластифицирующими, уплотняющими, антисептирующими и др.). Для получения мастик применяют *пылевидные* (измельченный известняк, доломит, мел, цемент, зола твердых видов топлива) и *волокнистые* наполнители (асбест, минеральная вата и др.).

Мастики классифицируются:

1. *По виду связующего:*

- битумные;
- битумно-резиновые;
- битумно-полимерные.

2. *По способу применения:*

- горячие, с предварительным подогревом до 130...160 °С;
- холодные, используемые без подогрева при температуре воздуха не ниже 5 °С и с подогревом до 60...70 °С.

3. По назначению:

- приклеивающие (для склеивания рулонных материалов и для оклеенной гидроизоляции);
- кровельно-изоляционные;
- гидроизоляционные асфальтовые (для литой и штукатурной изоляции швов гидротехнических сооружений);
- антикоррозионные (служат для защиты конструкций и трубопроводов от агрессивных воздействий).

Эмульсии, пасты, лаки

Битумные и дегтевые эмульсии представляют собой дисперсные системы, в которых вода является средой и в ней диспергированы битум или деготь в виде частиц размером около 1 мкм. Устойчивость эмульсии обеспечивается путем введения эмульгаторов – поверхностно-активных веществ, уменьшающих поверхностное натяжение на поверхности раздела битум (деготь)-вода. Эмульгаторами служат мыла (нафтяных, смоляных органических кислот), сульфатно-дрожжевая бражка. К твердым эмульгаторам относятся тонкие порошки глины, известняк, цемента, каменного угля, сажи.

Эмульсии применяют для грунтовки основания под гидроизоляцию, приклеивания рулонных и штучных битумных и дегтевых материалов, для устройства гидро- и пароизоляционных покрытий и в качестве вяжущего вещества при изготовлении асфальтовых (дегтевых) растворов и бетонов.

Пасты являются высококонцентрированными эмульсиями с твердыми эмульгаторами.

Лаки представляют растворы битумов и органических масел в органических растворителях. При добавлении алюминиевой пудры получают теплоустойчивую краску, применяемую для окраски санитарно-технического оборудования.

3.3.5. Гидроизоляционные материалы на основе полимеров

Окрасочные материалы

Окрасочная гидроизоляция выполняется составами на основе синтетических смол (эпоксидных), в которых вводят пластификаторы, растворители, наполнители, отвердители, путем нанесения пленкообразующих жидких и пастообразных материалов малярными кистями, шпателями. Сведения об окрасочных полимерцементных материалах приведены в табл. 3.23, а о биостойких битумно-полимерных в табл. 3.24.

Таблица 3.23

Окрасочные полимерцементные гидроизоляционные покрытия

Показатели	Цементно-латексное (каучуко-цементное)	Цементно-поливинилацетатное	Цементно-эпоксидно-амидное	Цементно-фуриловое
Рекомендуемая толщина, мм	2	4	4	4...5
Водопоглощение, %	1...8	7,5	1,1	0,1
Предел прочности при сжатии, МПа	17,3	5,8	58...60	35...40
Адгезия к бетону, МПа	2,1	1,3	2,9	2,5
Теплостойкость, °С	70	60	80...85	80...90
Температура хрупкости, °С	-20	-20	-20	-
Химическая стойкость	0,8	0,8	0,9	0,85

Таблица 3.24

Технические характеристики биостойких окрасочных битумных и полимерно-битумных покрытий

Показатель	Битумная	Битумно-латексная	Битумно-наиритовая	Битумно-эпоксидная	Битумнополистирольная
Рекомендуемая толщина, мм	4	5	3	1,3...1,5	1,5...2
Водопоглощаемость, %	4,5	3,5	1,6	3...3,2	1,6...1,8
Коэффициент паропрооницаемости, $1 \cdot 10^{-12}$ кг/(м·с·Па)	0,24	0,037	0,187	0,008	0,12
Коэффициент диффузии, $1 \cdot 10^{-9}$ см ² /с	0,1	1	0,1	1	1
Предел прочности, МПа: при растяжении при сжатии при сдвиге	- 0,49 0,1	0,1 до 0,5 0,2	0,4 до 0,5 0,2	- 0,5 0,1	- 0,5 0,1
Адгезия, МПа: к бетону к металлу	0,8 0,6	0,3 0,2	0,2 0,2	0,9...1 0,7	2,6 1,9
Теплостойкость, °С	70...90	70	800	80...95	115
Температура хрупкости, °С	0,3...3	-10	-22	-5	-6
Химическая стойкость в 3%-м растворе сульфата натрия	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9

Пленочные материалы

Гидроизоляционные пленочные материалы изготавливают экструзией, механическим или пневматическим вытягиванием из поливинилхлорида, полиэтилена, пропилена, ацетилцеллюлозы, синтетического каучука и других полимеров. Пленочные материалы изготавливают толщиной от 0,2 до 2 мм и выпускают в виде рулонов. Они обладают стойкостью против действия природных вод, нейтральных солевых, щелочных и кислотных растворов.

Поливинилхлоридные пленки имеют относительное удлинение при разрыве 100...300 %, водопоглощение 0,1...0,2 %. Однако они быстро стареют, поэтому их применяют в закрытых конструкциях, куда не попадают солнечные лучи.

Полиэтиленовые пленки получают из полиэтилена высокого давления. С целью замедления старения и предохранения от грызунов при изготовлении добавляют каменноугольный пек, для защиты от воздействия световых лучей вводят сажу. Повышение механической прочности пленки осуществляется армированием стеклотканью, синтетическими волокнами и соединением с бумажной или тканевой подосновой.

Полипропиленовые пленки имеют более высокие физико-механические свойства. Предел прочности при растяжении – 25...30 МПа. Относительное удлинение при разрыве – 500...700 %, водопоглощение – 1,5 %, эластичность сохраняется при температуре до -20°C .

Листовые и рулонные материалы

Волнистые и плоские кровельные листы изготавливают из стеклопластиков на полиэфирных полимерах. Толщина листов – 0,8...1,5 мм, предел прочности при растяжении – 220...230 МПа, а при изгибе – 350...400 МПа. Кровля из стеклопластика легка, прочна, декоративна, светопрозрачна и атмосферостойка, однако горюча. Эти материалы применяют для устройства светопрозрачных кровель в производственных помещениях, оранжереях, торговых и выставочных павильонах и других сооружениях.

Рулонные материалы из пластмасс имеют толщину 1,2...2,5 мм. Их основой служит крафт-бумага или кровельный картон (как при изготовлении рубероида), а также хлопчатобумажная или стеклянная ткань.

Бутирол изготавливается из смесей на основе синтетических каучуков, термоэлопласта, пластификатора, вулканизирующих агентов и наполнителей. Для наклеивания используют мастики.

Бутит – рулонный полимерный гидроизоляционный материал на основе бутилкаучука, армированного рубленым стекложгутом. Предназначен для устройства кровель с уклоном 2,5...25 %, при температуре наружного воздуха не ниже -20°C .

3.3.6. Герметизирующие материалы

Герметизирующие материалы (герметики) применяют для уплотнения швов между элементами сборных конструкций (панелями и блоками наружных стен и т.п.), устранения отверстий в температурных и деформационных швах, изоляции отверстий в стенках для пропуска коммуникаций. Герметизирующие материалы должны быть эластичными, для того чтобы воспринимать температурные и усадочные деформации конструкции, а также не допускать проникновения влаги через швы.

Герметизирующие материалы классифицируются:

1. *По назначению:*

- водозащитные;
- воздухозащитные;
- водо- и воздухозащитные.

2. *По упругим свойствам:*

- пластичные;
- пластоэластичные;
- эластичные.

Эластичные прокладки выпускают в виде пористых или плотных жгутов на основе резины, полиуретана, синтетических каучуков.

Пороизол – эластичные пористые жгуты черного цвета различного сечения (круглого диаметром 10...60 мм, прямоугольного размером 30×40 и 40×40 мм, овального), изготовленные из крошки отработанной резины, смягчителей, порообразователей и антисептика. Пороизол применяют для герметизации вертикальных и горизонтальных швов панелей наружных стен, а также для герметизации зазоров между оконными коробками и примыкающих к ним панелей наружных стен.

Гернит – пористая эластичная прокладка в виде жгута с водонепроницаемой пленкой на поверхности. Его изготавливают на основе негорючего полихлоропренового каучука, хорошо сопротивляющегося атмосферным воздействиям. Прокладки из гернита выпускают длиной 3 м и диаметром 20, 40 и 60 мм. Гернит более долговечен, чем пороизол, к тому же он обладает и большим относительным удлинением.

Герметизирующие мастики хорошо прилипают к бетону и сохраняют адгезию при положительных и отрицательных температурах. Их наносят в пластичном состоянии специальным инструментом, который имеет сменные наконечники.

В настоящее время в архитектурно-строительной практике широко используются *тиоколевые* (смесь, состоящая из тиоколевой пасты, вулканизирующей добавки, ускорителя вулканизации и разжижителя, которая отвердевает непосредственно в шве), *нетвердеющие* (изготавливают из полиизобутилена, смягчителя и тонкодисперсного минерального наполнителя – мела, известняка

и др.) мастики и *мастики изол* (смесь, составленная из резиновой крошки, битума, кумароновой смолы, волокнистого наполнителя – асбеста и антисептика).

Характеристики современных герметизирующих материалов представлены в табл. 3.25.

Таблица 3.25

Материалы для герметизации стыков панелей

Наименование материала и технические условия	Свойства			
	Средняя плотность, кг/м ³	Адгезионные свойства, кгс/см ²	Водопоглощение за сутки, %	Температура эксплуатации, °С
Эластичные прокладки				
Гернит, ПРП	400...700	Отсутствуют	3,0	От –40 до +70
Поризол, ВИЛАТЕРМ-С	250...400	То же	1,0	От –40 до +80
Герметизирующие мастики				
Тиоколовые				
У-300М цвет черный	1200	1,5	0,01...0,5	От – 40 до +70
АМ-1 цвет светло-серый	1100	2...4	0,01	От – 40 до +70
УТ-31 цвет черный	1200	1,5	0,5...1,0	От – 60 до +80
Нетвердеющие (полиизобутиленовые)				
УМС-50	1100...1500	>0,5	0,5	От – 50 до +50
МПС	1300	Хорошие	0	От –30 до +70
Монтажные пены				
Вспененная синтетическая смола				
Пенополиуретан, Рипор-6Т НД	30...50	1,5...2	<0,01	От –50 до +50
Самоклеящаяся воздухозащитная лента				
Герлен-Д	-	>1	<0,01	От –40 до +60

В настоящее время получил распространение новый вид герметиков – **монтажные пены**. Это олигомеры, упакованные в баллончики, насыщенные газом и отверждаемые на воздухе. Монтажные пены позволяют обеспечить не только гидроизоляцию, но и теплоизоляцию шва [7, 8, 10].

3.4. Общие сведения, классификация и разновидности кровельных материалов

3.4.1. Общие сведения

Кровельные материалы представляют собой разновидность гидроизоляционных, но используются они в самой ответственной части здания – кровле. От их долговечности во многом зависит и срок службы сооружения. Хорошее состояние и долговечность зданий, а также расход на их содержание зависят от

качества кровли.

Кровля подвержена суточным и сезонным колебаниям температуры, солнечной радиации, попеременному увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию. Разрушают кровлю некоторые виды газов, пылеватые частицы. Чтобы увеличить срок службы кровель, их порой покрывают защитными полимерными, битумно-полимерными, красочными составами.

Для нормальной эксплуатации сооружений и обеспечения их долговечности необходимо правильно выбрать вид кровли, ее уклон в зависимости от района строительства, качественных показателей кровельного материала; обеспечить технологию устройства кровли и соблюдение правил ее эксплуатации.

В силу многообразия внешних факторов, оказывающих воздействие на кровельные материалы, требования к качественным показателям таких материалов достаточно широки. Кровельные строительные материалы должны обладать водонепроницаемостью и удовлетворять другим эксплуатационно-техническим требованиям, таким как прочность, водостойкость, водопоглощение, морозостойкость, атмосферостойкость, деформативность (растяжимость, пластичность, гибкость), теплостойкость, огнестойкость, химическая стойкость, декоративность, удобство при монтаже и ремонте [16].

3.4.2. Классификация кровельных материалов

1. По виду исходного сырья:

- органические (солома, дранка, деревянный гонт, битумные, битумно-полимерные и полимерные материалы, лакокрасочные покрытия);
- неорганические (черепица, асбестоцементные листы; специальные виды стекла);
- металлические (изделия на основе стали, меди, цинка, металлическая черепица).

2. По наличию основы:

- основные (рубероид);
- безосновные (изол).

3. По виду защитного слоя:

- с посыпкой (крупнозернистой, мелкозернистой, чешуйчатой, пылевидной);
- с различными покрытиями (фольгой, щелоче-, кислото- и износостойкими).

4. По форме и внешнему виду:

- рулонные (рубероид, пергамин, толь, гидроизол и др.);
- штучные или листовые (асбестоцементные листы, черепица, кровельная листовая сталь, плитка «Шинглс», металлочерепица, «Ондулин»);
- пленочные (резиновые и полимерные мембраны);
- мастичные (битумные, дегтевые и полимерные мастики);

- фасонные (коньковые и доборные элементы, элементы сливов и стоков из металла, металла с полимерным покрытием, керамики, пластиков).

3.4.3. Виды кровельных материалов

Рулонные материалы

Кровлю устраивают в виде так называемого кровельного ковра, состоящего из нескольких слоев рулонных кровельных материалов, склеенных между собой мастикой. В низ ковра укладывают подкладочные материалы (беспокровные), а верхний слой устраивают из покровных материалов, имеющих различную (крупнозернистую, мелкозернистую, чешуйчатую, пылевидную) посыпку. К кровельным рулонным материалам относятся рубероид, наплавленный рубероид, пергамин, толь, толь-кожа, толь гидроизоляционный, гидроизол, стеклорубероид, фольгоизол, изол и др.

При устройстве кровель из рулонных материалов для их приклеивания и склеивания используют различные мастики, эмульсии и пасты.

Рубероид, пергамин и толь, внедренные в строительную практику в тридцатые годы прошлого века, к настоящему времени в качестве кровельных материалов применяются редко. Основными их недостатками являются тепловое старение битума и изменение свойств дегтя под действием УФ-излучения, необходимость применения открытого огня при укладке покрытия, низкая ремонтпригодность таких кровель.

Совершенствование свойств кровельных рулонных материалов идет по пути модификации битумного вяжущего полимерами или перехода полностью на полимерные составы; замену картона прочной и долговечной основой; использования новых видов бронирующих посыпок, применения композиционных (слоистых) материалов.

Номенклатура современных кровельных материалов [16]:

- Бризол, Бикапол, Бутерол, Гидробутил, Поликром и др. (безосновные);
- Рубемаст, Атаклон, Монобитэп, Рубэластобит и др. (на основе картона);
- Бикрост, Стеклобит, Стекломаст, Кровлестон, Бикроэласт, Линокром, Термофлекс, Люберит, Филизол, Элабит, Бутил и др. (на основе из стекловолокна и полиэфирного волокна);
- Фольгорубероид, Фольгоизол, Фольгобитэп и др. (на основе алюминиевой или медной фольги);
- Гидроизол и др. (на основе асбестовой бумаги).

Штучные и листовые материалы

Асбестоцементные волнистые листы (шифер) – композиционный материал на основе портландцемента, упрочненный асбестовым волокном. В балансе всех кровельных материалов составляют 40 %.

Отечественные заводы выпускают листы унифицированного, среднего, обыкновенного и усиленного профиля (табл. 3.26). Листы имеют шестиволновый профиль, высота волны 28, 32, 40, 45 и 50 мм.

Таблица 3.26

Технические характеристики волнистых асбоцементных листов

Марка	Характеристика	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Морозостойкость	Размеры, мм		
					длина	ширина	толщина
УВ-6	Унифицированный профиль	1700	18,1	25	1750	1125	6,0
					2000		
					2500		
УВ-7,5	Унифицированный профиль	1750	20,6	50	1750	1125	7,5
					2000		
					2500		
СВ	Средний профиль	1700	-	25	1750	980	5,8
					2000	1130	6,0
					2500	1130	
ВО	Обыкновенный профиль	1700	-	25	1200	686	5,5
ВУ	Усиленный профиль	1750	-	50	2800	1000	8,0

Для придания декоративности кровли асбестоцементные листы могут окрашиваться красками (железный сурик, зеленая краска на основе оксида хрома) и цветными эмалями. Покраска шиферной кровли снижает водопоглощение и повышает морозостойкость асбестоцемента, что увеличивает сроки службы покрытия в 1,3...1,5 раза.

Конструктивный армированный асбестоцементный настил применяется для перекрытия 9-метровых пролетов сельскохозяйственных и производственных зданий. Стальная арматура размещена в растянутой зоне в виде полос прямоугольного сечения или круглых стержней.

Плитки кровельные асбестоцементные плоские (этернит) предназначены для малоэтажных зданий и индивидуального строительства, а также для кровли сложной конфигурации. Наиболее применяемый размер 400×400 мм с двумя срезанными углами. Обрезанные углы у плиток позволяют образовывать плотное покрытие кровли при минимальном их расходе (10 шт. на 1 м²). Средняя плотность плиток – 1800 кг/м³, предел прочности плиток при изгибе – 24 МПа, морозостойкость – 50 циклов.

Шифер природный (от нем. schiefer – сланец) – плиточный материал, получаемый раскалыванием на плоские плашки природного сланца. Добыча сланца организована в Германии и Испании. Для сланцевых плиток характерны приглушенные тона: темно-серые, красно-коричневые и ступенчатая фактура

поверхности. Размеры плиток от 20×15 до 60×30 см при толщине 5 мм.

Природный шифер используется для жилых и общественных зданий, имитирующих историческую застройку; для реконструкции кровли.

Керамическая черепица – плоские или фигурные плитки из обожженной глины, является старейшим видом кровельных материалов. Имеет долговечность до 300 лет, обладает огнестойкостью, морозостойкостью, хорошей воздухо- и паропроницаемостью, устойчивостью к атмосферным воздействиям. Насчитывают приблизительно 14 видов керамической черепицы. Наиболее распространена черепица штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская и коньковая (рис. 3.5 и табл. 3.27).

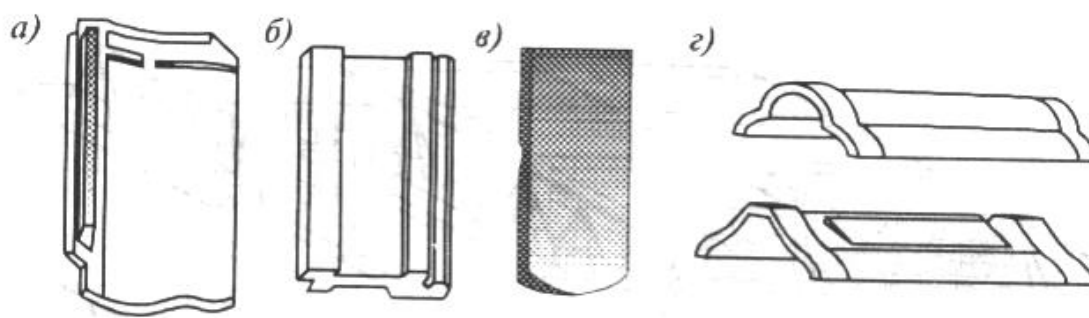


Рис. 3.5. Разновидности керамической черепицы:
а – пазовая штампованная; *б* – пазовая ленточная;
в – плоская ленточная; *г* – коньковая

Таблица 3.27

Характеристики типов черепицы

Тип черепицы	Размеры, мм	Масса обожженной черепицы, кг	Средняя плотность, кг/м ³	Количество черепицы, необходимой на 1 м ² кровли, шт.
Пазовая штампованная	310×190	2,7	1800	15
	333×190			
	347×208			
Пазовая ленточная	333×200	2,3	1800	16
	400×200			
	400×165			
	400×100			
Плоская ленточная	365×155	0,7	1800	55
	160×155			
Коньковая	365×200	2,8	1800	-
	333×200			

Недостатками черепицы являются значительная масса кровли (65 кг/м² покрытия), что требует особой прочности конструкции стропил, и высокая трудоемкость кровельных работ.

В настоящее время наряду с керамической черепицей широко использу-

ется черепица из других материалов.

Цементно-песчаная черепица (бетонная черепица) представляет собой материал на основе вяжущего гидравлического твердения. Массовое производство такой черепицы началось в 50 гг. XX в. Стандартный размер такой черепицы 330×420 мм. Черепицу крепят к несущим брускам гвоздями или скрепами и два раза покрывают специальной акриловой краской, которая препятствует образованию на ней мха.

Металлочерепица (на территории России начала производиться более полувека назад) представляет собой крупноразмерный (10...15 м²) оцинкованный стальной или алюминиевый лист, штампованный в виде участка кровли заданного профиля. Лист покрывают антикоррозийным и грунтовочным составами с обеих сторон. Лицевую сторону обрабатывают окрасочным составом на основе полимерного связующего, минерального пигмента и наполнителя, имитирующего как окраску, так и фактуру черепицы. Интервал рабочих температур: от -40 до +120 °С. К недостаткам металлочерепицы можно отнести повышенную шумность во время дождя.

Наиболее известны среди отечественных производителей металлочерепицы фирмы ГРАНАТ, МЕТАЛЛ ПРОФИЛЬ, РАННИЛА ТАНДОМ и др. На российском рынке металлочерепицу поставляют фирмы РАННИЛА ПРОФИЛЬ, SAAB, RAYYILA STEELOY (Финляндия), GASELL PROFIL AB, КАМИ AB, MERA SYSTEM PLAT AB, ROOF EXPERT AB (Швеция), а также фирмы из Польши, Норвегии, Голландии, Турции.

Сравнительная характеристика основных типов черепицы приведена в табл. 3.28.

Таблица 3.28

Технические характеристики современных типов черепицы

Наименование черепицы	Морозостойкость, циклы	Водопоглощение по массе, %	Горючесть	Срок службы, не менее, лет
Керамическая пазовая	25	5,0	Негорючая	100
Цементно-песчаная	50	5,0	Негорючая	60
Полимерно-песчаная	25	2,0	Трудногорючая	50
Стеклопанельная	-	~ 0	Негорючая	100
Алюминиевая	-	~ 0	Негорючая	100
Металлопластиковая	-	~ 0	Негорючая	30
Из органического стекла	-	~ 0	Сгораемая	10

Мягкая черепица (рубероидный гонт, битумная черепица, «Шинглс», рубероидный срыв) выполняется во множестве модификаций, имеет внешний вид натурального сланца (шифера), гонта или дранки и изготавливается путем вырубки из рулонного материала плоских фрагментов. Основу черепицы составляют стеклянное волокно, целлюлозный или асбестовый картон, пропитан-

ные битумом или резинобитумом и покрытые минеральной крошкой.

Преимуществами этого покрытия являются изящный вид, простое и быстрое выполнение работ, небольшая масса, возможность варьирования цветом и формой.

Ведущими производителями мягкой черепицы являются финские фирмы КАТЕПАЛ и ИКОПАЛ, итальянская ТЕГОЛА, французская ОНДУЛИН, американская ИКО.

Металлические кровельные материалы известны с античных времен. Зажиточные горожане любили покрывать свои дома и храмы листами из цветных металлов: золота, цинка, свинца, меди или их сплавов. Кровельное железо современного типа получило широкое распространение в конце XIX века.

Кровельная сталь делится на тонколистовую, имеющую толщину 0,25...2,0 мм (выполненную из меди, свинца или алюминия) и оцинкованную (покрытую с обеих сторон слоем цинка толщиной не менее 0,02 мм). Размеры листов кровельной стали – 710...3000 × 510...1250 мм.

Оцинкованная кровельная сталь обладает положительными свойствами: высокая жесткость, малая масса, высокая прочность, долговечность и возможность обустройства крыш различных уклонов.

Наиболее массовым спросом сейчас пользуются гладкие, волнистые листы оцинкованного или цинкового металла толщиной 0,3...1,0 мм.

Одним из современных способов формирования кровельного металлического покрытия является фальцевание кровельного листа. *Фальцевая кровля* представляет собой сплошное покрытие на всю длину ската без поперечных швов, что гарантирует полное исключение протечек. На поверхности панелей отсутствуют элементы крепления, подвергающиеся наибольшим нагрузкам при резких климатических изменениях.

Металлические покрытия нового поколения являются многослойными, состоящими из слоя лака или другого полимерного антикоррозийного средства (полиэстер, акриловые смолы, пурал, полиуретан, пластизол) на внешней стороне. Пластиковые покрытия по металлу характеризуются повышенной устойчивостью к УФ-излучению, температуре, агрессивным средам, механическим повреждениям, а также улучшенными пластическими свойствами при различных температурах.

В Европе производство стали с полимерным покрытием сосредоточено в основном на линиях трех концернов: шведского SAAB, финского Rautaruuki и Corus, образованного слиянием английского British Steel, французского Mirriad и голландского Ijmuiden.

В настоящее время для покрытия зданий широко используются металлические панели с утеплителем из пенопласта, а также стальные двухслойные панели с утеплителем из пенополиуретана.

Материалы на основе стекла в последнее время получили широкое распространение в кровельных работах. Особое внимание уделяется различным видам энергоэффективного и безопасного остекления с использованием свето-

теплозащитных стекол, комбинированных стекол, закаленного или многослойного стекла и их комбинаций в стеклопакетах.

Изделия на основе стекла характеризуются длительным сроком службы и высокими эксплуатационными качествами: шумо- и звукоизоляционной способностью, защитой помещений от УФ-облучения. Стекло не искажает цветового восприятия окружающей среды. Для стекла, используемого на кровле, важную роль играет его способность воспринимать ударную нагрузку.

Стекло используется в теплицах, в качестве зенитных фонарей, стеклянных крыш зимних садов, крытых пешеходных переходов; для остекления спортивных сооружений, музеев, выставочных галерей, магазинов и др.

Последнее время получили широкое распространение противопожарные стекла (Fireguard). Они представляют собой конструкцию, состоящую из чередующихся слоев силикатного стекла и неорганического геля (2,5...4,0 мм). Гель содержит воду, которая при нагреве до температуры кипения начинает преобразовываться в пар. Пар выходит через обращенное к огню стекло, разрушенное до этого момента вследствие термического воздействия. Остатки обезвоженного геля вспучиваются при нагревании и образуют своеобразный щит – плотную тугоплавкую систему с достаточно высокой механической прочностью.

Противопожарное стекло Fireguard может быть изготовлено с использованием чистого либо тонированного стекла, солнцезащитного или декоративного, закаленного или ламинированного.

Листы из полимеров на основе поликарбоната, поливинилхлорида, полистирола, полиметилметакрилата (оргстекла) выпускаются как окрашенными, так и в светопрозрачном исполнении монолитной или сотовой структуры. Светопропускающая способность листовых пластиков должна быть не менее 80 %, некоторые из них задерживают УФ-излучение.

Сравнительные свойства прозрачного поливинилхлорида, полистирола и оргстекла представлены в табл. 3.29.

Таблица 3.29

Сравнительные характеристики прозрачных полимеров

Характеристики	Вид полимера		
	ПВХ	Полистирол	Оргстекло
Масса листа толщиной 3 мм, кг	4,08	3,15	3,57
Ударопрочность, кДж/м ²	17...20	11...12	10...17
Максимальная температура применения, °С	60	70	100

Наибольшее распространение в этой группе материалов получил сотовый поликарбонат. По сравнению со стеклом он имеет меньшую среднюю плотность и большую ударную прочность и гибкость. Листы толщиной 4...6 мм используются для подвесных потолков и перегородок, толщиной 8...10 мм – для навесов, козырьков и покрытий общественных зданий; панели толщиной 16...25 мм сопоставимы по термическому сопротивлению со стеклопакетами и

применяются в качестве теплого светопропускающего покрытия.

Мембраны

Для кровель с малым уклоном и прочным основанием в последнее время начинают применяться **мембранные покрытия**, которые относят к кровельным материалам нового поколения. Мембраны размерами до 15×60 м выполняются из эластичных полимерных материалов с высокой прочностью на растяжение и прокол, с температурой применения от –60 до +100 °С. Преимущества мембран в большей степени проявляются при необходимости быстрого обустройства кровельных покрытий на больших площадях. Полотнища подаются на крышу в сложенном виде, разворачивают, укладывают на основания и стыкуют самовулканизирующимися лентами. Сверху мембрану можно пригрузить и защитить засыпкой гравием или бетонными плитами.

Мембраны выдерживают ветровую нагрузку и вес человека, пропускают пар и не пропускают воду, предотвращают скопление конденсата, не поддаются гниению, стойки к УФ-облучению, долговечны.

Известны мембраны марок МОНАР-ФЛЕКС (MONARFLEX), МОНАРФОЛ, ПОЛИКРАФТ и др.

Мастичные покрытия

Мастичные покрытия по своей функциональной сути – это полимерные мембраны, формируемые непосредственно на поверхности крыши. Данные покрытия получают при нанесении, как правило, на бетонное основание жидковязких систем, которые, отверждаясь на воздухе, образуют сплошную эластичную пленку.

В качестве полимерной основы используют полисульфидные (тиоколевые), полиуретановые, кремнийорганические (силиконовые), бутилкаучуковые, этиленпропиленовые, акрилатные и другие полимеры.

По характеру перехода в рабочее состояние мастики подразделяют на *неотверждающиеся* (нетвердеющие), *отверждающиеся* в результате химических реакций и *высыхающие*, загустевание и псевдоотверждение которых происходит в результате испарения воды.

Мастики бывают одно- и двухкомпонентные. Однокомпонентные мастики (Битопласт, Аквамаст, Супермаст, Эламаст, Бактрис, Армабизел) поставляются в готовом к употреблению виде в герметичной упаковке, а отверждение состава происходит при нанесении на поверхность (разгерметизации). Срок хранения таких мастик не должен превышать 3 месяца.

Двухкомпонентные мастики (Гермобутил, Гермокров) поставляются в виде двух химически малоактивных составов, которые отдельно могут храниться 12 месяцев и более.

Мастичные системы, битумополимерные или полимерные, могут применяться при всех видах гидроизоляции сплошных кровель на жестком основа-

нии. Технология нанесения мастик механизированным или ручным способом позволяет надежно выполнять кровлю на поверхностях любых форм и уклонов. Преимущества мастичных покрытий проявляются в полной степени при обустройстве кровли с многочисленными примыканиями, вставками и узлами. В настоящее время мастики используют для гидроизоляции стыков и при ремонте все видов кровельных покрытий. Если ремонт производят без удаления старой кровли, то для этих работ хорошо зарекомендовали себя мастики «Битурел» и «Гермокров».

К недостаткам мастичных покрытий относят сложность получения мастичной пленки заданной толщины, особенно при значительных уклонах и неровных поверхностях, дополнительную нагрузку на экологию в случае присутствия в мастиках токсичных растворителей, низкую паропропускную способность покрытия, что чревато возникновением пузырей и снижением его долговечности.

Выбор кровельных материалов должен опираться на ряд критериев, включающих показатели эксплуатационных и эстетических свойства, огнестойкости и экономичности, соответствия материала конфигурации кровли, а также учитывающих пожелания заказчика и мнение архитектора. Долговечность кровельного покрытия определяется не только типом кровельного материала, но и корректностью его применения, то есть строгого выполнения рекомендаций по монтажу данного материала, соблюдения уклонов, условий вентиляции как подкровельного пространства, так и крыши в целом.

Аттестационные вопросы

1. Применение теплоизоляционных материалов в строительстве. Классификация теплоизоляционных материалов и изделий.
2. Перечислите разновидности неорганических теплоизоляционных материалов и изделий.
3. Перечислите разновидности органических теплоизоляционных материалов и изделий.
4. Применение акустических материалов в строительстве. Классификация акустических материалов и изделий
5. Звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы и изделия.
6. Использование гидро-, пароизоляционных и герметизирующих материалов в строительной практике. Классификация гидроизоляционных материалов.
7. Разновидности гидроизоляционных материалов и изделий. Герметизирующие материалы.
8. Применение кровельных материалов в строительстве. Классификация кровельных материалов.
9. Перечислите основные виды кровельных материалов. Кровельные мембраны, мастичные покрытия.

РАЗДЕЛ 4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Эти материалы предназначены для выполнения специальных задач в сооружениях различного назначения. Такие материалы работают при высоких температурах в печах и других агрегатах, эксплуатируются в условиях повышенной химической активности, где велико влияние различных агрессивных веществ, применяются в местах воздействия радиации и т.д. Как правило, помимо своего основного назначения эти материалы являются несущими элементами в сооружениях.

4.1. Общие сведения и разновидности жаростойких материалов

4.1.1. Общие сведения

Кардинальное ускорение темпов промышленного производства черной металлургии, топливной энергетики привело к развитию производства специальных строительных материалов, в том числе и жаростойких.

Под жаростойкостью понимают комплексное свойство строительных материалов, характеризующее способность противостоять воздействию высоких температур до 1000 °С без потери прочности в результате химического разрушения. Указанными выше свойствами обладают специальные жаростойкие металлы и сплавы, бетоны, керамические материалы и изделия.

4.1.2. Основные виды жаростойких материалов и изделий

Жаростойкие материалы и изделия на основе природных каменных материалов применяют в виде камней правильной формы и фасонных плит (гладких и рифленых), щебня и песка для бетонов и растворов, а также тонкомолотых порошков для мастик, замазок, шпатлевок и т.п.

Для материалов и изделий, работающих в условиях высоких температур, используют базальт, диабаз, андезит, туф и др.

Кирпич для дымовых труб изготавливают из глины и добавок. Марки кирпича по прочности – от М125 до М300. По форме кирпич бывает прямоугольный и клинообразный. Его длина 120 и 250 мм, ширина 120 или 250 мм, толщина 65 или 88 мм. Водопоглощение кирпича должно быть не более 6 %, а морозостойкость 25, 35 и 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Такой кирпич применяют для кладки дымовых труб и обмуровки промышленных труб в случае, если температура нагрева их дымовыми газами не превышает 700 °С.

Глиноземистый цемент (ГЦ) – жаростойкое быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция (80...85 %).

Сырьем для производства глиноземистого цемента служит известняк CaCO_3 и породы, содержащие глинозем $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, например, бокситы, алюминиевые шлаки и др.

Глиноземистый цемент изготавливают плавлением сырьевой смеси в электрических печах, вагранках при температуре выше 1500°C . Клинкер, получаемый после обжига, обладает большой твердостью. Поэтому глиноземистый цемент трудно размалывается, требует высокого расхода электроэнергии, что обуславливает его высокую стоимость.

Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах, не выше 25°C . Твердение сопровождается значительным выделением теплоты. Поэтому его нельзя применять в массивных конструкциях, подвергать тепловлажностной обработке, использовать в щелочных средах и смешивать с известью или ПЩ.

Глиноземистый цемент имеет марки 400, 500 и 600, которые определяются по результатам испытания образцов в 3-суточном возрасте.

Конструкции на глиноземистом цементе морозостойки, более стойки к коррозии, чем на портландцементе, обладают высокой жаростойкостью.

С учетом значительной стоимости глиноземистого цемента его выпускают в сравнительно небольших количествах (1 % от общего выпуска цемента). Применяют ГЦ при возведении бетонных конструкций, которые необходимо быстро ввести в эксплуатацию, для срочных аварийных и ремонтных работ, а также для тампонирувания нефтяных и газовых скважин, футеровки шахтных колодцев и тоннелей. ГЦ используют также для получения расширяющих цементов.

Жаростойкий бетон предназначается для промышленных агрегатов (облицовки котлов, футеровки печей) и строительных конструкций, подверженных нагреванию (например, дымовые трубы) [17, 18].

Известно, что при действии на цементный камень высокой температуры происходит дегидратация Ca(OH)_2 и разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Оксид кальция CaO при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетонных конструкций. Для придания бетону необходимой стойкости к действию высоких температур в его состав вводят тонкодисперсные добавки, содержащие активный кремнезем SiO_2 , который способен связывать окись кальция при температуре $700...900^\circ\text{C}$ благодаря реакциям в твердом состоянии.

В качестве тонкомолотой добавки применяют пемзу, золу ТЭС, шамот, доменный гранулированный шлак и др.

В жаростойких бетонах в качестве вяжущих используют портландцемент с активными минеральными добавками; шлакопортландцемент, который уже

содержит добавку доменного гранулированного шлака и может успешно применяться при температурах до 700 °С; жидкое стекло, которое целесообразно использовать в условиях кислой коррозии при температурах до 1000 °С. Эффективно использовать глиноземистый и высокоглиноземистый (с содержанием глинозема 65...80 %) цементы, поскольку при их твердении не образуется гидроксид кальция. Также применяют фосфатные и алюмофосфатные связующие: фосфорную кислоту H_3PO_4 , алюмофосфаты $Al(H_2PO_4)_3$ и магнийфосфаты $Mg(H_2PO_4)_2$. Они выдерживают нагревание до температуры 1700 °С, имеют небольшую огнеую усадку, термически стойки.

Заполнитель для жаростойкого бетона должен быть не только стойким при высоких температурах, но и обладать равномерным температурным расширением. Для этих целей применяют бескварцевые изверженные горные породы как плотного строения (сиенит, диорит, диабаз, габбро), так и пористого (пемза, вулканические туфы, пеплы) при температурах до 700 °С. Для бетона, эксплуатируемого при температурах 700...900 °С, целесообразно применять бой обычного керамического кирпича и доменные шлаки с модулем основности не более 1. При более высоких температурах заполнителем служат огнеупорные материалы: кусковой шамот, хромитовая руда, бой шамотных, хроммагнезиальных и других огнеупорных изделий. В табл. 4.1. представлены примерные составы жаростойких бетонов на портландцементе [17].

Таблица 4.1

Примерные составы жаростойких бетонов на портландцементе

Заполнитель		Ориентировочное количество материалов на 1 м ³ бетона, кг					Средняя плотность, кг/м ³
Щебень + песок	Тонкомо- лотая до- бавка	цемент	тонкомо- лотая до- бавка	песок	щебень	вода	
Андезитовый, базальтовый, диоритовый, диабазовый	-	350	-	950	950	150	2400
Отходы домен- ного шлака	-	350	-	1000	1000	150	2500
Андезитовый, базальтовый, диоритовый, диабазовый	Зола-уноса, пемза и др.	350	120	850	900	180	2400
Отходы домен- ного шлака	Зола-уноса, пемза и др.	350	120	900	1000	130	2500
Шамотный	Шамот	350	120	650	700	-	1900
Шамотный	Хромит	350	700	500	500	250	2200
Хромомагнези- товый	-	350	600	900	950	200	2800
Магнезитовый	-	300	600	750	850	200	2600
Хромитовый	-	300	600	900	1100	180	3000

Легкий жаростойкий бетон изготавливают с применением пористых заполнителей, выдерживающих действие высоких температур (700...1000 °С): керамзит, вермикулит, вспученный перлит, вулканический туф и др. Средняя плотность легкого жаростойкого бетона менее 2100 кг/м³.

Ячеистый жаростойкий бетон отличается средней плотностью (500...1200 кг/м³) и малой теплопроводностью.

Тяжелый, легкий и ячеистый жаростойкие бетоны широко применяют в различных отраслях промышленности: энергетической, черной и цветной металлургии, в химической, нефтеперерабатывающей, в производстве строительных материалов; для футеровки печей, котлов, устройства дымовых каналов, труб [17, 18].

4.2. Общие сведения, классификация, основные свойства, основы технологии и разновидности огнеупорных материалов

4.2.1. Общие сведения

От качества огнеупорных материалов во многом зависит уровень развития ряда производств и в первую очередь черной и цветной металлургии, электроэнергетики, а также химической, газовой, нефтеперерабатывающей промышленности. Технический прогресс тех или иных отраслей промышленности нередко связан с повышением температурных параметров отдельных производственных процессов. Это вызывает необходимость применения огнеупорных материалов высокого качества. При повышении стойкости огнеупоров, при увеличении продолжительности их службы сокращается общее время простоя тепловых агрегатов из-за ремонта огнеупорной футеровки и повышается их производительность.

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не размягчаясь и не деформируясь. Помимо действия высоких температур огнеупорные материалы контактируют с разного рода расплавами (стекольными, шлаковыми, расплавами металлов и т.п.) и подвергаются при этом как физической, так и химической коррозии. Поэтому они должны обладать высокой плотностью и прочностью, определенным химическим составом. Некоторые огнеупоры работают в условиях многократного попеременного нагревания и охлаждения, поэтому должны обладать высокой термической стойкостью.

4.2.2. Классификация огнеупорных материалов

1. По степени огнеупорности все строительные материалы делят на группы:

- легкоплавкие, с огнеупорностью ниже 1350 °С (керамический кир-

пич);

- тугоплавкие, выдерживающие действие температуры в пределах 1350...1580 °С;
- огнеупорные, выдерживающие температуру 1580...1770 °С (шамотный кирпич);
- высокоогнеупорные, 1770...2000 °С (высокоглиноземистый кирпич);
- высшей огнеупорности, выше 2000 °С (магнетитовые и графитовые материалы).

Последние три разновидности относятся именно к огнеупорам.

2. По форме и размерам:

- нормальный кирпич;
- прямой и «клиновыи» кирпич (продольный и поперечный клин);
- крупноблочные изделия;
- фасонные изделия (простой и сложной конфигурации).

К отдельной разновидности следует отнести огнеупорные бетоны, являющиеся безобжиговым огнеупором.

3. По способу изготовления огнеупорные изделия подразделяются:

- на пиленные из естественных горных пород;
- на литые из жидкого шликера или расплава;
- на полученные пластическим или полусухим формованием или трамбованием из порошкообразных непластичных масс.

4. По характеру термической обработки:

- безобжиговые (огнеупорный бетон);
- обожженные (керамические огнеупоры);
- отлитые из расплава.

5. По степени пористости огнеупорные изделия делятся:

- на особо плотные с пористостью менее 3 %;
- на высоко плотные с пористостью 3...10 %;
- на плотные с пористостью 10...20 %;
- на обычные с пористостью 20...30 %;
- на легковесные и термоизоляционные с пористостью 45...85 %.

6. В зависимости от свойств исходного сырья огнеупорные изделия делятся на 8 основных групп, которые в свою очередь подразделяются на 18 типов (табл. 4.2)

Таблица 4.2

Классификация огнеупоров по применяемому сырью

Группа огнеупоров	Тип
I. Кремнеземистые	Динасовые Кварцевые
II. Алюмосиликатные	Полукислые Шамотные Высокоглиноземистые

Группа огнеупоров	Тип
III. Магнезиальные	Магнезитовые, периклазовые Доломитовые Форстеритовые Шпинельные
IV. Хромистые	Хромистые Хромомагнезитовые
V. Углеродистые	Графитовые Коксовые
VI. Цирконистые	Цирконовые Циркониевые
VII. Окисные	Окисные специальные
VIII. Карбонидные, нитридные	Карборундовые Прочие

За последние годы появились огнеупоры на основе технически чистых окислов. К ним относятся, прежде всего, корундовые, муллитовые, периклазовые и шпинельные, а также циркониевые и цирконовые [19, 20].

4.2.3. Свойства огнеупорных материалов

Все свойства огнеупоров условно можно разделить на три группы: теплофизические и термические, физико-технические, физико-химические.

К теплофизическим и термическим свойствам относятся огнеупорность, деформация под нагрузкой при высоких температурах, температурный коэффициент линейного расширения, теплопроводность, теплоемкость, термическая стойкость.

К физико-техническим свойствам относятся предел прочности при сжатии, истинная, средняя плотность, пористость, газопроницаемость.

Среди физико-химических свойств основное внимание уделяется шлакоустойчивости, макро – микроструктуре, химическому и минералогическому составам.

4.2.4. Основы технологии огнеупоров

При всем многообразии огнеупорных материалов в их технологии можно выделить ряд основных технологических переделов, присущих любому огнеупорному производству. К таким переделам относятся подготовка сырьевых материалов, приготовление масс, формование, сушка и обжиг изделий. Для получения конечного продукта в технологический процесс часто вводят дополнительные операции, такие как механическая обработка, металлизация, глазурирование изделий и др.

Предварительная подготовка сырья для производства огнеупоров

включает в себя следующие операции: очистку от посторонних примесей, измельчение, приготовление смесей (шихт) со строго определенным соотношением отдельных, входящих в нее, компонентов.

При изготовлении огнеупоров применяются как пластичные материалы (глины), так и непластичные (шамот, корунд и др.), поэтому для их измельчения используют различные агрегаты. Обработку пластичных материалов ведут в зубчатых валках или глинорезках, а после сушки размалывают в дезинтеграторах. Первичное грубое дробление непластичных материалов осуществляют, как правило, в щековых или конусных дробилках. В зависимости от требований, предъявляемых к зерновому составу шихты, материал окончательно измельчают в шаровых мельницах, помольных бегунах, валковых мельницах.

В последнее время при производстве огнеупорных изделий практикуется частичный совместный помол шамота и глины в трубных мельницах. Для помола твердых материалов применяют вибрационные мельницы, что позволяет резко сократить время помола.

Для сохранения химической чистоты измельчаемого сырья мельницы футеруют из того же материала.

Как в шаровых, так и в вибрационных мельницах помол может осуществляться мокрым и сухим способами. При сухом способе при достижении определенной тонкости помола материал начинает комковаться и налипать на мелющие тела и стенки мельницы вследствие значительного увеличения удельной поверхности частиц и возрастания в связи с этим сил адгезии. При мокром способе помола этого не происходит.

Для интенсификации мокрого и сухого помола компонентов, а также для предотвращения агрегирования частиц при сухом способе помола в мельницу вводят поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Смешивание и приготовление масс из отдельных компонентов имеют важнейшее значение в производстве огнеупорных материалов. Задачей смешивания является получение однородной смеси из твердых сырьевых компонентов различного зернового состава и твердых или жидких добавок.

Качество перемешивания в большинстве случаев зависит от зернового состава, количества перемешиваемых составляющих и их соотношения, степени увлажнения массы и способности отдельных частиц к агрегированию.

Можно выделить три основные группы огнеупорных масс: полусухие, пластические и литые. Смешивание составляющих каждой из этих масс происходит в различных смесителях.

Для получения грубозернистых сухих и полусухих масс в основном используют мешалки непрерывного действия типа винтовых, лопастных (одно- и двух-вальных) или барабанных. Так как трудно добиться равномерного распределения сухих составляющих при смешивании большого количества одного компонента с малым количеством другого, то прибегают к так называемому многоступенчатому перемешиванию. Для этого компонент, содержащийся в малом количестве, перемешивают сначала с частью основного компонента, а затем полученную смесь пе-

ремешивают с оставшейся частью основного компонента.

Грубозернистые пластичные массы готовят в мешалках периодического действия: смесительных или центробежных бегунах, бегунковых мешалках, корытообразных мешалках с горизонтальным валом и Z-образными лопастями. Эти смесители оказывают более интенсивное механическое воздействие на массу, чем смесители непрерывного действия. При изготовлении тонкозернистых масс для пластического формования сначала готовят суспензии, имеющие влажность 50 % и выше. Избыток влаги потом удаляют с помощью фильтр-прессов и получают «коржи» влажностью 20...25 %, которые и направляются на ленточные прессы. Эта дополнительная операция, хотя несколько и усложняет технологический процесс, позволяет получить гомогенную смесь из тонкозернистых компонентов малой влажности.

Литые массы получают в пропеллерных или лопастных мешалках.

Во время перемешивания компонентов шихты происходит ряд физико-химических взаимодействий между твердыми компонентами и жидкой фазой, которые влияют на свойства масс при дальнейшей технологической обработке, а также на качество готовой продукции.

Формование изделий в большинстве случаев определяется способом приготовления масс. Также важнейшим фактором при выборе способа формования огнеупорного изделия является получение полуфабриката с заданными свойствами. Именно свойства полуфабриката и определяют дальнейшие режимы его переработки – сушку и обжиг, а также физико-механические и технические свойства готовых изделий. К этим свойствам полуфабриката относятся его средняя плотность, равномерность распределения частиц по объему, отсутствие дефектов в строении сырца (раковины, трещины и т.д.) и, наконец, прочность. Прочностные характеристики сырца, вообще-то, непосредственно не влияют на его поведение при удалении влаги и спекании, однако они являются определяющими в выборе способа транспортировки полуфабриката, способа садки изделий на сушильные вагонетки, режимов сушки сырца. Кроме того, при формовании изделий в них могут возникнуть значительные внутренние напряжения, которые в дальнейшем при сушке и обжиге могут вызвать появление дефектов в готовой продукции.

Основное назначение процесса формования – получение полуфабриката с заданными размерами, формой и начальной структурой.

Обжиговые огнеупорные изделия изготавливают методом прессования (сухое, полусухое), трамбования, вибрирования, пластического формования и литья.

Полусухое прессование получило широкое распространение в производстве огнеупорных тонкостенных изделий простой конфигурации из масс влажностью от 7 до 12 %. Именно такая влажность обеспечивает их достаточную пластичность и позволяет легко формоваться. Непластичные порошки (например, окись алюминия) прессуют обычно с добавкой органического пластификатора, играющего одновременно и роль временной связки. Давление прессования при этом должно быть значительно выше, чем для смесей первого типа, и

может достигать 200...500 МПа.

Одним из основных недостатков изделий, формуемых полусухим или сухим прессованием, является разная плотность по объему изделия. Для устранения этого недостатка взамен одностороннему направлению прессовых усилий, применяют двухстороннее и объемное прессование, а также одно- и многократное приложение нагрузки.

В последние годы в производстве ряда огнеупорных изделий (тиглей, стекловаренных горшков, труб и др.) нашел применение метод гидростатического прессования. Этот метод основан на равномерном обжиге порошка, помещенного в эластичную (резиновую) форму, жидкостью. В этом случае происходит объемное (со всех сторон) равномерное обжатие массы, и, следовательно, получается более равномерная плотность изделий.

Метод виброформования является особенно эффективным, особенно при производстве пористых огнеупоров газовым методом. Сущность этого метода заключается в следующем: частицы увлажненной смеси засыпаются в форму, где находятся в равновесном состоянии под действием сил тяжести, трения и сцепления. Под действием сил тяжести частицы стремятся лечь плотнее, но им мешают силы трения и сцепления. При действии вибрации последние уменьшаются, что приводит к возрастанию плотности массы.

При вибрировании сухих масс дополнительно создается давление специальными штампами. Это давление в десятки раз меньше, чем при полусухом прессовании. Важно, что при вибрационном уплотнении масс с дополнительным пригрузом отсутствует упругое расширение изделий, так как вибрирование при малом давлении вызывает лишь весьма малую упругую деформацию частиц. Вместе с тем не разрушаются контакты между частицами, а наоборот, происходит более прочное их заклинивание, чем объясняется высокая прочность вибрированного сырца.

Наиболее эффективно применение вибрирования при изготовлении крупных фасонных огнеупорных изделий, а также для формования полых изделий сложной конфигурации.

При *пластическом формовании* массу обрабатывают в ленточном прессе. Отформованная в виде бруса масса непрерывно выходит из мундштука, а затем разрезается на заготовки. Чтобы изделия имели правильную форму, точные размеры и гладкие грани в технологии большинства огнеупоров эти заготовки подвергают допрессовке при давлениях 1...4 МПа.

Пластический метод формования применим для масс, содержащих глины, так и для безглинистых масс. В последних случаях в качестве связки используют различные органические связующие. Массы на основе глинистого сырья должны иметь влажность 15...25 %.

Пластическое формование является самым простым и распространенным способом изготовления изделий в огнеупорной технологии.

Метод литья применяется для изготовления сложных по форме крупногабаритных тонкостенных изделий. В промышленности применяют два способа

литья: наливной и сливной (рис. 4.1). При наливном способе шликером заполняют гипсовую разборную форму с высокой водопоглощающей способностью. Вследствие этого поверхностный слой отливки, соприкасающийся с формой, обезвоживается и уплотняется. Ускорить уплотнение черепка можно при помощи отощения шликера, путем подогрева и вакуумирования его, введением различных добавок.

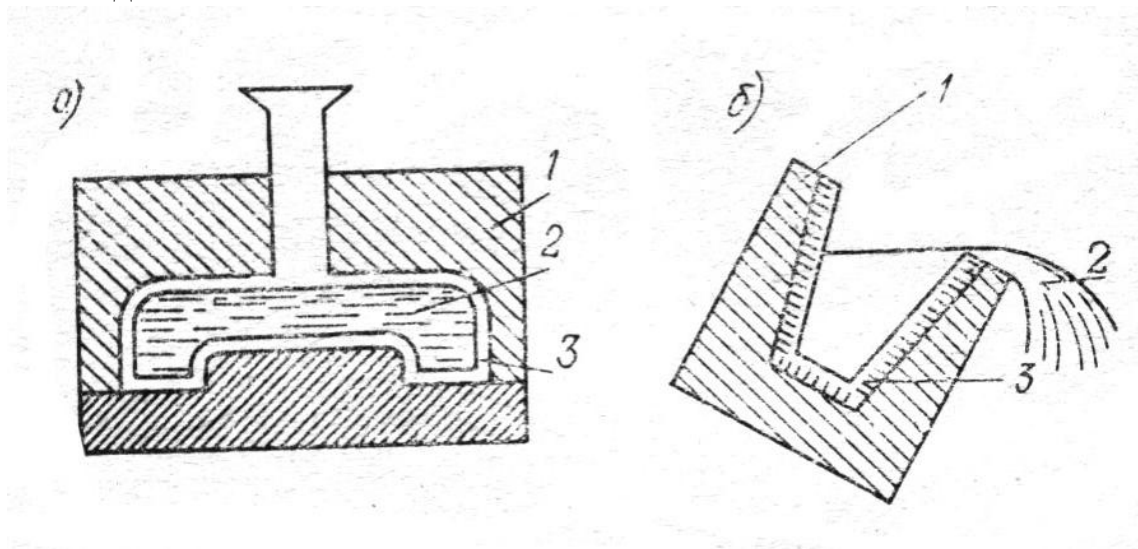


Рис. 4.1. Схемы способов литья:

а) наливной; б) сливной;

1 – гипсовая форма; 2 – шликер; 3 - плотный осадок

При сливном способе излишек шликера сливается из формы после того, как в результате отсоса влаги стенками формы образуется черепок, заданной толщины. Достоинством сливного способа является относительная простота технологии и конструкция форм, возможность механизации и автоматизации процесса. Недостаток этого способа – повышенный расход шликера, замедленный по сравнению с наливным способом процесс уплотнения черепка, неравномерность толщины изделия.

Вообще литье изделий в гипсовые формы имеет ряд недостатков: быстрый износ форм, их малая ударная прочность и быстрое старение.

В последние десятилетия разработан способ отливки заготовок в металлические формы. При этом применяется электрический метод обезвоживания шликера (электрофорез), основанный на способности твердых частиц массы (глины), имеющих отрицательный заряд, двигаться по направлению к положительно заряженной стенке формы при наложении электрического поля [17].

подавляющее большинство огнеупорных полуфабрикатов после формования подвергают **сушке** в сушильных установках. Для этой цели используют сушилки как периодического (камерные), так и непрерывного действия (туннельные).

Процесс сушки как элемент технологии производства огнеупоров должен удовлетворять требованию поточности, непрерывности работы, полной меха-

низации и высокой степени автоматизации.

В процессе сушки из полуфабриката удаляется свободная и физически-связанная влага. В результате этого полуфабрикат приобретает начальную прочность и структуру.

Длительность сушки зависит в первую очередь от влажности сырца, которая в свою очередь определяется методом формования. Например, для ультралегковесного пеношамота, начальная влажность которого составляет 50...60 %, срок сушки достигает 5...7 суток, а для обычного шамотного кирпича полу-сухого прессования – 8...12 часов. Срок сушки тонкостенных изделий меньше, чем толстостенных. Сроки сушки изделий из глиносодержащих смесей более длительные, чем изделий, не содержащих глины. Для большинства огнеупоров максимальная температура в процессе сушки не превышает 120...180 °С.

Обжиг является завершающей стадией в технологии большинства огнеупорных материалов. В процессе обжига изделие приобретает наиболее важные для его дальнейшей службы свойства: форму, размеры, плотность, прочность, стойкость к различным агрессивным средам, термическую стойкость.

При воздействии на полуфабрикат высоких температур в нем происходят сложные физико-химические превращения. Они связаны с распадом исходных окислов и минералов и образованием новых соединений.

Огнеупоры обжигают в камерных, туннельных и конвейерных печах. Для обжига мелкосерийной и дорогостоящей продукции иногда применяют горны и муфельные электропечи. Большинство огнеупорных изделий обжигают при температурах 1200...1500 °С. Высокоогнеупорные изделия и изделия высшей огнеупорности – при температурах 1900 °С и выше. Продолжительность обжига зависит от химического состава сырья, температуры обжига, геометрических размеров изделий и обычно составляет 35...40 часов.

Процесс обжига является наиболее дорогостоящим, поэтому повышение производительности обжигательных установок, сокращение времени обжига, снижение расхода топлива и уменьшение выхода брака и низкосортной продукции в значительной степени влияют на себестоимость продукции.

4.2.5. Основные виды огнеупорных материалов

4.2.5.1. Кремнеземистые огнеупорные изделия

К кремнеземистым огнеупорным материалам относятся динас и кварцевая керамика.

Динас – огнеупорный материал с содержанием SiO₂ не менее 93 %, изготовленный из кварцевого сырья на известковой или иной связке и обожженный при температуре, обеспечивающей полиморфное превращение кремнезема в тридимит и кристобалит (выше 870 °С).

Основным сырьем для изготовления динаса являются кварциты, которые по микроструктуре бывают цементные и кристаллические. Более пригодны кристаллические кварциты, так как они сохраняют достаточно плотную структуру и после обжига.

Динасовая масса, из которой формуют изделия, представляет собой смесь измельченного кварцита с минерализаторами и различными добавками. В качестве минерализатора чаще всего используют известь, которую вводят в массу в виде известкового молока. С известковым молоком вводится вся вода, необходимая для увлажнения шихты.

С целью повышения прочности свежетоформованного сырца в массу вводят клеящие органические добавки, выгорающие при обжиге и не оказывающие вредного влияния на свойства готовых изделий. В качестве такого клеящего вещества применяется чаще всего сульфитно-спиртовая барда (ССБ), являющаяся отходом целлюлозного производства. Формовочная влажность динасовой массы должна быть около 3...7 %.

Динасовые изделия формуют на фрикционных или гидравлических прессах. Полученный полуфабрикат сушат при температуре 120...150 °С в течение 6...40 ч, а затем обжигают при температурах 1300...1400 °С. Повышение температуры обжига выше 1430 °С нежелательно, так как при этом начинается интенсивное превращение кварца в кристобалит, вследствие чего изделия растрескиваются.

Динасовые изделия характеризуются высокой температурой начала деформации под нагрузкой – в этом их большое преимущество перед многими другими огнеупорами. Это явление объясняется малой скоростью увеличения количества расплава при нагревании и наличием в динасе сростков кристаллов тридимита.

В последнее время разработаны технологии получения некоторых разновидностей динаса: динасокарборунда, динасохромита, динасового легковеса.

К группе кремнеземистых изделий, помимо динаса, относится также **кварцевая керамика**. Изготавливается она из измельченного плавленого кварца и применяется для специальных целей, например, в стекловаренных печах. Кварцевая керамика применяется при температуре до 1200...1300 °С, допустимо кратковременное использование ее при температуре 1700 °С. Температурное ограничение применения этого материала обусловлено кристаллизацией кристобалита, резко снижающей термостойкость изделий.

Кварцевые огнеупоры являются одними из наиболее прочных изделий: предел прочности при сжатии составляет от 250 до 1000 МПа, а при изгибе – 20...80 МПа. Однако кварцевые огнеупоры плохо сопротивляются удару. Область применения и размеры наиболее употребляемых кремнеземистых огнеупоров приведены в табл. 4.3.

Форма и размеры кремнеземистых огнеупорных изделий

Изделия	Марка	Размеры, мм	Назначение
Динасовые			
Кирпич прямой	ЭД – 1	230×113×65×	Для кладки свода электро-сталеплавильных печей
	ЭД – 2	300×150×65	
Брусочек прямой	ЭД – 3	300×100×65	То же
Клин торцовый	ЭД – 5	300×150×65×55	Для кладки междуэлектродных арок
Кварцевые			
Арочный клиновой брус	СД – 6	600×240×120×100	Для свода стекловаренных печей
Стеновой брус	СД – 7	500×250×120	Для кладки стен стекловаренных печей
Брусья	-	300×250×100	Для кладки пода стекловаренных печей
		500×250×100	
		1000×250×100	

4.2.5.2. Алюмосиликатные огнеупорные изделия

В зависимости от содержания окиси алюминия алюмосиликатные огнеупоры подразделяются на полукислые с содержанием Al_2O_3 до 28 %, шамотные с содержанием Al_2O_3 от 28 до 45 % и высокоглиноземистые с содержанием Al_2O_3 свыше 45 %.

Сырьем для производства алюмосиликатных огнеупоров служат либо природные глины, иногда с введением добавок (полукислые и шамотные огнеупоры), либо естественное или искусственное сырье с большим содержанием Al_2O_3 (бокситы, электроплавленный корунд). Для изготовления высокоглиноземистых изделий высшей огнеупорности применяется технический глинозем, который содержит 99...99,5 % окиси алюминия. Технический глинозем получают химической обработкой бокситов с последующим прокаливанием при температуре 1000...1200 °С. Чистый корунд в природе встречается крайне редко, и поэтому в промышленности огнеупоров применяется электроплавленный корунд, выпускаемый также для нужд абразивной промышленности. Его огнеупорность около 2000 °С.

Полукислые огнеупорные изделия изготавливают из огнеупорных глин или каолинов, отощенных шамотом из полукислых глин и первичных каолинов, а также кварцевым песком, молотым кварцитом и кварцевым перлитом.

Полукислые изделия, изготовленные из первичных каолинов с природной примесью кварца, имеют огнеупорность не ниже 1710 °С, в этих изделиях содержится приблизительно 70...80 % SiO_2 и 15...20 % Al_2O_3 . Полукислые изделия, приготовленные из запесоченных глин, имеют огнеупорность 1610...1700 °С.

Шамотные огнеупоры изготавливаются путем обжига огнеупорных глин или каолинов с отощением их шамотом или непластичной глинистой породой. Шамот – обожженная до спекания тонкомолотая огнеупорная глина.

По количеству шамота в огнеупорной массе различают бесшамотные и малошамотные изделия при содержании шамота, не превышающем 20...30 %; шамотные – с содержанием шамота 40...65 % и многошамотные, если его более 80 %.

К шамотным огнеупорным изделиям относятся также шамотно-каолиновые изделия, изделия из низкообожженного шамота, а также безобжиговые и бесшамотные. Технология производства *шамотно-каолиновых изделий* мало чем отличается от технологии шамотных. Целесообразность использования каолина в качестве исходного сырья обуславливается повышением содержания Al_2O_3 в обожженном изделии до 42...45 % и уменьшением содержания плавней с 5...6 до 2,5...3 %. Огнеупорность таких изделий при этом увеличивается по сравнению с материалами, изготовленными на глинистом сырье, на 30...50 °С и составляет 1750...1780 °С.

Для получения *низкообожженного шамота* пластические глины обжигают при температуре 600...800 °С, не доводя сырье до спекания. В процессе такого обжига происходит дегидратация глины, она теряет свою пластичность и становится отощающим материалом. Такой низкообожженный шамот измельчают и вводят в массу так же, как и при производстве обычных шамотных изделий. Во время обжига изделий усадка шамота и связующей глины происходит практически одновременно. Благодаря этому уменьшается разрыв между шамотными зернами и частицами глины и изделия получают более плотными и прочными (предел прочности таких изделий на сжатие 40...60 МПа). Сопротивление истираемости и газопроницаемости у них значительно выше, чем у обычных шамотных изделий.

Недостатком изделий из низкообожженного шамота является большая усадка, достигающая 12...14 %, что затрудняет получение изделий правильной геометрической формы и с точными размерами.

Идея использования *безобжиговых изделий* для кладки тепловых установок заключается в том, что сырец, предназначенный для кладки теплового агрегата, обжигается в процессе службы этого агрегата. Примером «сырцовой футеровки» являются огнеупорный бетон, а также безобжиговые изделия, прессованные из магнезита и хромита. Безобжиговые шамотные изделия должны иметь достаточную прочность и более высокую водостойкость, чем у обычного шамотного сырца, что необходимо при перевозках, хранении и кладке изделий. Дополнительная усадка их в эксплуатации не должна превышать 0,7 %. Хотя при уменьшенных температурах безобжиговые изделия служат удовлетворительно, они не равноценны обожженным изделиям, потому что при высоких температурах (выше 1200 °С) у них наблюдаются большие усадочные явления и деформации.

Сырьем для производства *бесшамотных изделий* могут служить плотные глинистые сланцы. Такие сланцевые породы не размокают в воде, уменьшают

пластичность массы, являясь отошающим материалом, подобно шамоту, снижают огневую усадку изделий. Сильно уплотнившиеся под давлением в земной коре, они в процессе обжига дают плотно спекшийся огнеупор при небольшой огневой усадке. Благодаря отсутствию затрат на производство шамота стоимость изделий на основе таких глинистых сланцев значительно ниже, чем шамотных.

Шамотные огнеупорные изделия, огнеупорность которых обуславливается химическим составом применяемого сырья и фазовым составом получаемых изделий и находится в пределах 1580...1770 °С, в зависимости от огнеупорности сырья делится на четыре класса. Шамотно-каолиновые же изделия, изготовленные из обогащенного или вторичного каолина, – на два класса (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Классификация шамотных и шамотно-каолиновых изделий в зависимости от огнеупорности сырья

Тип изделия	Класс	Содержание Al ₂ O ₃ , %	Огнеупорность, °С, не ниже
Шамотные	О	40...45	1750
	А	38...42	1730
	Б	32...38	1670
	В	30...34	1580
Шамотно-каолиновые	О	40...45	1750
	А	38...42	1730

Пористость шамотных изделий в зависимости от их назначения колеблется в пределах 15...30 %. Предел прочности при сжатии 10...40 МПа.

Шамотные изделия вследствие их большой, сравнительно со многими другими огнеупорами, термической стойкости, достаточно высокой огнеупорности, шлакоустойчивости, распространенности сырья получили самое широкое применение.

Полукислые и шамотные изделия в зависимости от их назначения, исходного сырья, сложности формы, размеров формуют методом полусухого или пластического формования, а также трамбованием. Влажность свежесформованных изделий в зависимости от способа изготовления колеблется от 5 до 20 %, поэтому перед обжигом полуфабрикат обычно сушат, как правило, в туннельных сушилках при температуре 100...120 °С. Обжиг обычно проводится при температурах, превышающих на 100...150 °С температуру полного спекания глины.

Шамотные изделия при длительной службе в печах при температурах, превышающих температуру их обжига, дают дополнительную усадку, которая зависит в основном от состава масс, используемых для производства изделий, и температуры их обжига. Полукислые изделия в службе имеют меньшую усадку, чем шамотные, а некоторые из них дают рост. В этом преимущество полукислых изделий перед обычными шамотными.

Полуокислые и шамотные огнеупоры используют в производстве чугуна для футеровки доменных печей, воздухонагревателей и чугуновозных ковшей, в сталеплавильном производстве для кладки некоторых элементов, работающих при относительно невысоких температурах, элементов мартеновских печей и в качестве изделий для разливки стали. Шамотные огнеупоры используют для футеровки вращающихся печей, вагранок, сводов стекловаренных печей и др.

Высокоглиноземистые изделия разделяются на четыре группы в зависимости от содержания в них Al_2O_3 и фазового состава: муллитокремнеземистые (содержание Al_2O_3 45...62 %), муллитовые (62...72 %), муллитокорундовые (72...90 %) и корундовые (свыше 90 %).

Муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ имеет температуру плавления $1910^\circ C$, корунд Al_2O_3 – $2050^\circ C$.

Увеличение содержания Al_2O_3 в высокоглиноземистых изделиях повышает их химическую стойкость.

Способы подготовки массы к прессованию высокоглиноземистых изделий аналогичны подготовке массы шамотных изделий. Основой производства является получение плотно спекающегося шамота, который является отошающим материалом и связывается при формовании изделий пластичной спекающейся глиной (15...20 % глины и 80...85 % шамота). Отформованные изделия сушат, а затем обжигают при температуре 1500...1650 $^\circ C$.

Технологические особенности изготовления плавящихся высокоглиноземистых (муллитовых) изделий заставляют выделить их в особую группу изделий, применяемых главным образом в стекольной промышленности. Производство их основывается на получении очень плотных огнеупоров методом отливки из расплавленных масс. Преимуществом этого метода является возможность использования природного высокоглиноземистого сырья, главным образом, бокситов, так как в процессе плавки имеется возможность удалить избыточное количество железа.

Для получения плавящихся муллитовых огнеупоров применяют электродуговые печи, в которых можно получить количество расплава, достаточное для отливки одного бруса для стекловаренных печей (около 200 кг). Весьма важным процессом в производстве плавящихся муллитовых изделий является их термическая обработка при охлаждении – отжиг, при котором необходимо получить наиболее полную кристаллизацию расплава.

По мере увеличения содержания в высокоглиноземистых огнеупорах Al_2O_3 возрастают значения всех механических свойств и модуля упругости изделий. Одновременно повышается предельная температура, при которой изделия сохраняют высокие значения механических свойств. Хотя по термической стойкости высокоглиноземистые изделия уступают шамотным.

Плавящиеся высокоглиноземистые изделия характеризуются следующими основными свойствами: огнеупорностью от 1820 до 1960 $^\circ C$ в зависимости от содержания глинозема, плотным черепком, пористостью в пределах 0...3 %, пределом прочности при сжатии до 300 МПа, температурой начала деформации

под нагрузкой 1600...1700 °С, сравнительно небольшим коэффициентом линейного расширения $6...7 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Высокоглиноземистые огнеупоры используются для кладки доменных печей, для кладки шахт и куполов воздухонагревателей доменных печей большой емкости, а также для кладки ванн стекловаренных и мартеновских печей и печей для плавки редких и драгоценных металлов.

Область применения и размеры некоторых алюмосиликатных изделий представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Форма и размеры алюмосиликатных огнеупорных изделий

Изделия	Марка	Размеры, мм	Назначение
Полукислые			
Кирпич прямой	В – 1	230×150×75	Для кладки воздухонагревателей доменных печей
	В – 2	345×150×75	
Клин торцовый	В – 3	230×150×135×75	То же, в сочетании с кирпичом марки В - 1
Шамотные			
Кирпич прямой	ПМ – 45	230×113×40	Для кладки днищ сталеразливочных ковшей
	ПМ – 46	230×113×65	То же
	ПМ – 47	230×150×75	Для кладки посадок регенераторов
Клин торцовый	ПМ – 50	230×113×65×45	Для кладки сводов над боровами.
Брус	ШС – 1	1000×400×300	Для кладки бассейнов стекловаренных печей
	ШС – 2	400×300×300	
Высокоглиноземистые			
Кирпич прямой	ВГ – 62	230×150×75	Для футеровки сталеразливочных ковшей
	ВГ – 72	345×150×75	

4.2.5.3. Магнезиальные огнеупорные изделия

Магнезиальные огнеупорные изделия – это большая группа материалов, среди которых выделяют 4 основные группы: магнезитовые, доломитовые, форстеритовые и шпинельные.

Магнезитовые огнеупоры состоят в основном из MgO (80...85 %). Их изготавливают из магнезита, доломита, брусита Mg(OH)₂ и другого природного сырья. Производство магнезитовых огнеупоров достаточно дорогое, поэтому эти огнеупоры применяют для специальных целей.

Огнеупорность магнезитовых огнеупоров выше 2000 °С, средняя плотность около 2,56 г/см³.

Из магнезиальных огнеупоров наибольшее распространение получили магнезитохромитовые, получаемые из хромита и спеченного магнезита. В зависимости от физико-химических свойств магнезитохромитовые изделия, используемые для сводов мартеновских и электросталеплавильных печей, подразделяют на периклазошпинелидные магнезитохромитовые, имеющие следующие

условные обозначения:

ПШС – периклазошпинелидные плотные с тонкомолотой хромитовой рудой;

ПШСО – периклазошпинелидные обычные с тонкомолотой хромитовой рудой;

МХСП – магнезитохромитовые плотные с крупнозернистой хромитовой рудой в шихте;

МХСО – магнезитохромитовые обычные с крупнозернистой хромитовой рудой в шихте.

Периклазошпинелидные изделия изготавливают из шихты, содержащей 60 % крупнозернистого магнезита фракции 0,5...2 мм и 40 % мелкозернистой смеси с хромитом в соотношении 3:7. Из такой смеси прессуют изделия под удельным давлением прессования 160 МПа, которые затем обжигают при температуре 1700 °С в течение 50 ч.

Область применения и размеры наиболее распространенных магнезитовых огнеупоров приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Форма и размеры магнезитовых огнеупорных изделий

Изделия	Марка	Размеры, мм	Назначение
Магнезитовые			
Кирпич прямой	М – 91 – 1	230×115×65	Для кладки подин мартеновских печей
	М – 91 – 2	230×115×75	
Клин торцовый	М – 91 – 8	230×115×65×55	
	М – 91 – 9	230×115×65×45	
Магнезитохромитовые			
Кирпич прямой	МХСП – 1	230×115×65	Для кладки сводов мартеновских печей
	МХСП – 2	300×150×75	
Клин торцовый	МХСП – 7	230×115×65×45	
	МХСП – 10	300×150×85×68	

Доломитовыми огнеупорами называют материалы, полученные из минерала доломита $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, предварительно обожженного до спекания.

Доломитовые изделия подразделяют на содержащие свободную окись кальция СаО и на не содержащие свободной окиси кальция. Первые могут храниться на воздухе только ограниченное время, так как в результате поглощения паров воды и углекислоты из воздуха происходит гидратация и карбонизация свободной окиси кальция, что приводит к разрушению изделий вследствие увеличения в объеме продуктов гидратации. Вторые, содержащие СаО только в виде соединений, могут не разрушаясь, храниться на воздухе.

Доломитовые огнеупорные материалы могут применяться в виде порошков, обожженных и безобжиговых кирпичей, блоков и трамбовочных масс.

Обжигают природный доломит при температуре 1550...1700 °С во вращающихся печах по сухому способу. При этом получают грубоизмельченный плотный и прочный материал с размером зерен 5...25 мм. Особо трудно спекающиеся доломиты подвергают мокрому тонкому помолу в трубных мельни-

цах и затем обжигают в печах с добавкой железной окалины. Эта добавка замедляет гидратацию доломита.

Доломитовые огнеупоры применяются для заправки стен и откосов мартеновских и электросталеплавильных печей. Для наварки верхнего слоя подин мартеновских печей доломит применяют в смеси с металлургическим магнезитовым порошком в соотношении 1:1. На практике для тех же целей применяют безобжиговые доломитовые изделия, выпиленные из естественных магнезито-силикатных пород. В электропечах для плавки анодного никеля и в медеплавильных печах используют смолодоломитовые кирпичи и блоки. Для изготовления блоков используют смеси, состоящие из 60...70 % металлургического магнезита с размерами зерен до 7 мм и 30...40 % обожженного доломита с размерами зерен до 5 мм. Связующим материалом служит каменноугольная смола в количестве 8...12 %. Смесь формируют методом трамбования или прессования, после чего отпрессованный полуфабрикат сушат в течение 3 ч при температуре 250...350 °С и затем обжигают при 1600 °С в течение 5 ч. Блок выдерживает хранение на воздухе в течение двух месяцев. Его можно использовать также для кладки стен сталеплавильных печей и конвертеров с кислородной продувкой.

Физико-технические свойства некоторых доломитовых изделий приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Физико-технические свойства доломитовых огнеупоров

Вид огнеупорных изделий	Средняя плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Дополнительная усадка при 1700 °С, %	Температура начала деформаций под нагрузкой	Огнеупорность, °С
Водоустойчивый магнезитодоломитовый кирпич	2,9...2,95	109	1,3 – 1,6	1700	2000
Водоустойчивый доломитовый кирпич	2,8...2,9	108...134	1,37	1550...1610	1780
Обожженный доломитовый кирпич со свободным СаО	3,04...3,12	157...177	0,5...0,8	1670	-
Безобжиговые смолодоломитовые изделия	2,9...3,0	-	-	-	-
Металлургический доломит	-	-	-	-	-

При изготовлении водоустойчивого кирпича к исходной шихте иногда добавляют окись магния. Магнезитодоломитовые водоустойчивые кирпичи и блоки применяют для кладки стен мартеновских и электросталеплавильных печей, для футеровки зон спекания вращающихся цементных печей.

Форстеритовыми огнеупорами называют изделия, содержащие в основном ортосиликат магния $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ – форстерит до 85 %. Прочие минералы обычно не оказывают существенного влияния на их свойства.

Для повышения шлакоустойчивости форстеритовых изделий в их состав вводят добавку периклаза, поэтому готовые изделия содержат 70...90 % форстерита и 30...10 % периклаза.

Сырьевой базой для производства форстеритовых огнеупоров являются магнезиально-силикатные породы. Однако эти породы не всегда содержат окись магния в количестве, необходимом для связывания всего кремнезема в форстерит. Поэтому при переработке к ним приходится добавлять определенное количество окиси магия. В некоторых же породах встречается примесь брусита $\text{Mg}(\text{OH})_2$. В этом случае добавка окиси магния не требуется.

Для оценки качества сырья пользуются магнезиально-силикатным MgO/SiO_2 , магнезиально-железистым $\text{MgO}/(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ модулями и потерями при прокаливании. Чем выше значение модулей, тем лучше качество сырья, так как в этом случае порода будет более огнеупорной. Потери при прокаливании характеризуют усадку породы при обжиге.

Исходная влажность форстеритовых масс для прессования изделий должна составлять 3...4 %. Прессование изделий осуществляется на механических, фрикционных (пресс-трамбование) и гидравлических прессах с удельным усилием прессования 80...100 МПа.

Отпрессованный сырец сушат в туннельных сушилках в течение 20...24 ч до остаточной влажности 0,5 %. Высушенные изделия обжигают в туннельных печах при температуре до 1650 °С.

Разновидностью форстеритовых огнеупоров являются периклазофорстеритовые изделия, которые помимо основного минерала форстерита в значительном количестве содержат магнезиоферрит и периклаз. Сырьем для производства этих изделий служат магнезиты с высоким содержанием кремнезема и металлургический доломит с добавкой оливинита, дунита. Технология периклазофорстеритовых изделий не отличается от технологии обычных форстеритовых огнеупоров.

Форстеритовые огнеупоры применяют в тех же условиях, что и магнезитовые, но там, где есть воздействие окислов железа, форстеритовые огнеупоры предпочтительнее. Они успешно служат в подинах нагревательных печей, а также в обжигательных высокотемпературных печах, но не могут быть использованы для кладки сводов и стен электросталеплавильных печей. Эти материалы успешно применяют для кладки насадок воздушных регенераторов мартеновских печей взамен динасовых и шамотных огнеупоров. Высокая устойчивость форстеритовых изделий против разъедания оседающей на них плавильной пыли и высокая огнеупорность позволяют использовать их для футеровки регенераторов, предназначенных для нагревания воздуха до высоких (1350...1400 °С) температур, что необходимо для повышения температуры плавильного процесса.

Огнеупорные изделия этой группы обладают следующими свойствами: температурный коэффициент линейного расширения в интервале температур 20...800 °С составляет $11,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, теплопроводность в интервале 500...1000 °С – $0,6 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Шпинельными называют огнеупоры, в которых основной составной частью являются шпинели. Шпинели – группа соединений, в состав которых входят Mg, Zn, Fe, Mn, реже Co и Ni, а также Al, Cr. Типичными представителями шпинелей являются магнезиальная шпинель $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, магнезиоферрит $\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, магнезиохромит $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, магнетит $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$, ганит $\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, феррохромит $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ и др. [19, 20].

Шпинельные огнеупоры применяют для изготовления сводов мартеновских печей, набивной футеровки.

4.2.5.4. Хромистые огнеупорные изделия

Из хромистых огнеупоров наибольшее распространение получили хромомагнезитовые (хромошпинельные) огнеупоры, получаемые из хромита и спеченного магнезита.

Название хромит относится как к минералу состава $\text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, так и к породе, содержащей большое количество (80 %) этого минерала.

Хромитовые руды черного цвета с металлическим блеском. Твердость их по шкале Мооса находится в пределах 5,5...7,5, средняя плотность 4,0...4,8 г/см³. Для производства огнеупоров пригодны хромитовые руды с содержанием Cr_2O_3 не менее 33 %. Для изготовления хромомагнезитовых изделий в состав шихты вводят 30...80 % спекшегося магнезита. В качестве клеящей добавки в шихту вводят 1,2...1,5 % сульфитно-спиртовой барды, так как спекшийся магнезит не обладает пластическими свойствами.

Формуют хромомагнезитовые изделия методом прессования преимущественно на мощных гидравлических прессах с удельным давлением прессования не менее 80 МПа. Влажность формовочной массы должна быть в пределах 2,5...3,5 %. Хромомагнезитовый сырец сушат в туннельных противоточных сушилках около 30 ч. Остаточная влажность сырца не должна превышать 0,3 %. Обжигают хромомагнезитовые изделия при температуре 1600...1700 °С.

Обжиговые хромомагнезитовые огнеупоры применяют вместо магнезитовых, главным образом, для кладки стен мартеновских печей в тех участках, где они не соприкасаются с металлом и не могут загрязнить его хромом, а также для кладки сводов мартеновских печей благодаря характерному для этих огнеупоров свойству – сохранять постоянство объема при высоких температурах.

Основные свойства хромомагнезитовых изделий в значительной степени определяются процентным содержанием MgO в исходной шихте, что подтверждают данные, представленные в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Физико-технические свойства хромомагнетитовых изделий

Изделия	Химический состав					Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Температура начала деформаций под нагрузкой	Термическая стойкость, число теплосмен (водяное охлаждение)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃					
Обычные обжиговые хромомагнетитовые	5,8	6,8	17,2	54,9	13,5	2,85	23,3	40	1450...1520	7...8
Хромомагнетитовые на базе руды с содержанием более 45% С ₂ О ₃	-	-	28,6	-	-	2,75	22,6	43,5	1490	-
Термостойкие хромомагнетитовые	4,5	3,9	9,1	69,5	11,0	2,75...2,8	20,0...23,2	30...40	1490...1550	54
Хромитовые с форстеритовой связкой	9,1	11,1	31,8	24,5	22,8	3,0...3,2	16...19	30...70	1570...1660	9-20 (воздушное охлаждение)
Плавленые хромомагнетитовые	-	25...24	20,4	18,3	-	3,65	5	350	Выше 1800	-

Хромомагнезитовые огнеупорные изделия (условное обозначение ХМ) бывают обжиговыми, безобжиговыми и иногда плавленными.

Плавленные литые изделия имеют высокую температуру начала деформации под нагрузкой (1800 °С) и очень высокую шлакоустойчивость.

Незначительная усадка хромомагнезитовых огнеупоров при обжиге дает возможность получать и применять безобжиговые изделия на основе того же сырья. При изготовлении безобжиговых хромомагнезитовых изделий в состав шихты вводят клеящие вещества для повышения прочности изделий. В качестве клеящих веществ используют сульфитно-спиртовую барду, растворимое стекло в виде порошка, серноокислый магний и др. Во избежание усадки изделий в службе применяют спекшийся магнезит. Зерновой состав исходной шихты подбирается таким образом, чтобы обеспечить наибольшую плотность готовых изделий. При формовании изделий методом прессования значение удельного давления составляет от 80 до 130 МПа. Отпрессованные изделия сушат при температуре 120 °С в течение суток, после чего их отправляют потребителю.

Большой интерес представляют безобжиговые хромомагнезитовые огнеупоры, армированные стальными пластинами. Армирование способствует спеканию кладки в процессе ее эксплуатации в монолит, что удлиняет срок ее службы. Такие огнеупоры успешно применяются в качестве футеровочного материала в зоне спекания вращающихся печей для обжига магнезита, доломита и портландцементного клинкера, а также в стеновой кладке электросталеплавильных печей (выше уровня шлака).

Недостатком безобжиговых хромомагнезитовых изделий является их относительно пониженная прочность при температуре до 1000 °С, а также сравнительно низкая температура начала деформации под нагрузкой (1400...1600 °С).

4.2.5.5. Углеродистые огнеупорные изделия

К углеродосодержащим огнеупорным изделиям относятся изделия, в состав которых входят углерод и его соединения. Углеродосодержащие материалы обладают высокой огнеупорностью, но в окислительной среде они горят.

В природе углерод встречается как в свободном состоянии, так и в виде различных соединений. Число изученных соединений углерода более миллиона. Такое многообразие соединений объясняется свойством его атомов связываться между собой с образованием длинных цепей или колец.

В свободном состоянии углерод известен в виде трех модификаций: алмаза, графита и аморфного углерода (угля).

Графитовые огнеупорные изделия получают из природного графита, содержащего обычно от 5 до 30 % золы. Природный графит, содержащий около 99 % углерода, дорого стоит, поэтому изготовление из него углеродистых огне-

упоров очень ограничено. Из природного графита изготавливают, главным образом, особо плотные детали для высокотемпературных теплообменников. Графит обладает очень высокой температурой плавления – более 3700 °С, при высоких температурах химически инертен, не взаимодействует с основными и кислыми шлаками, кислотами и щелочами, имеет высокую тепло- и электропроводность, низкий температурный коэффициент линейного расширения, не деформируется. Прочность графита по мере повышения температуры несколько увеличивается.

В настоящее время изготавливаются огнеупорные материалы улучшенного качества на основе искусственного графита. К таким материалам относятся: рекристаллизованный графит, волокнистый графит, стеклографит и др.

С целью экономии дорогостоящего природного графита получили применение глинисто-графитовые и графито-шамотные огнеупорные изделия.

Глинисто-графитовые изделия изготавливают из графита, огнеупорной пластичной глины с добавкой шамота или без него. Глина в таких изделиях создает защитную пленку, предохраняя графит от окисления.

Из глинисто-графитовых масс изготавливают, главным образом, тигли для плавки стали и цветных металлов, трубы и пробки, стаканы для разливочных ковшей.

Глинисто-графитовые тигли в несколько раз устойчивее шамотных по отношению к воздействию основных шлаков. Термическая и химическая стойкость тиглей увеличивается с повышением содержания графита в исходной массе.

Формуют глинисто-графитовые изделия методом прессования на рычажных прессах, литья в гипсовые формы или пластического формования на гончарных кругах. Сушка изделий – очень длительный процесс, продолжающийся 15...20 суток. Что объясняется довольно большой чувствительностью к сушке глинисто-графитового сырца. Влажность изделий после сушки не должна превышать 4 %. Обжигают глинисто-графитовые изделия в капсулах с засыпкой сухим коксом для предохранения графита от возгорания. Температура обжига тиглей 800...1000 °С, пробок и стаканов – 1300...1320 °С.

Прочность при сжатии глинисто-графитовых изделий колеблется в пределах 15...25 МПа, средняя плотность 1,8...1,9 г/см³, дополнительная усадка при температуре 1350 °С составляет 0,3...0,7 %, огнеупорность до 2000 °С.

Графито-шамотные огнеупоры изготавливают из графита, шамота и пластичной глины. Графит, добавляемый в шамотные массы, повышает теплопроводность, снижает температурный коэффициент линейного расширения и тем самым увеличивает термостойкость изделий.

Из графито-шамотных масс изготавливают тигли для плавки сталей и различных цветных металлов, желоба для транспортировки расплавленного чугуна, пробки для стопорных устройств при разливке сталей, обладающих наибольшей агрессивностью, стаканы для непрерывной разливки стали.

Технология производства графито-шамотных огнеупоров состоит из сле-

дующих операций. Компоненты шихты дозируют и перемешивают сначала в сухом виде, затем с водой. Увлажненную массу обрабатывают на ленточном прессе. После этого смесь выдерживают в специальных камерах в течение 15...20 суток для повышения ее пластичных свойств. Вылежавшуюся массу 2...3 раза пропускают через ленточный пресс, форма мундштука которого обеспечивает получение заготовок нужной конфигурации. Формуют изделия путем допрессовки полученных заготовок.

Отформованные графито-шамотные изделия сушат по очень мягкому режиму в общей сложности 15...20 суток. Остаточная влажность изделий не должна превышать 2...3 %. Обжигают полуфабрикаты в шамотных капсулах с коксовой засыпкой или без засыпки в плотных графито-шамотных муфелях при температуре 1300...1350 °С.

Графито-шамотные изделия обладают следующими свойствами: прочность при сжатии колеблется в пределах 35...40 МПа, огнеупорность – 1900 °С, температура начала деформации под нагрузкой – 1380...1490 °С, температурный коэффициент линейного расширения в интервале температур 0...1000 °С – $2,8...3,8 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Коксовые огнеупоры почти полностью состоят из углерода С в виде кокса. Эти изделия изготавливают из каменноугольного кокса (антрацита, подвергнутого термообработке при 1100 °С) и каменноугольной смолы. Кокс служит наполнителем, а каменноугольная смола – связующим, придающим массе пластические свойства и обеспечивающим спекание огнеупора при обжиге.

Углеродистый наполнитель и смолу смешивают в смесительных бегунах или двухвальных смесителях с паровым подогревом. Полученная тестообразная масса поступает на формование с температурой 90...100 °С. В зависимости от заданной формы и размеров изделий массу формуют путем выдавливания через мундштуки ленточных прессов или прессуют в формах на механических прессах. Отформованные изделия обжигаются в капсулах с засыпкой кокса. Максимальная температура обжига 1100...1450 °С, выдержка при максимальной температуре 20...30 ч. Изделия выгружают из печи после остывания их до 40...60 °С по всей толщине. Суммарная продолжительность обжига составляет от 15 до 30 суток. Такие углеродистые изделия содержат 85...92 % углерода и около 10 % серы. Они практически не плавятся и не деформируются при высоких температурах.

Благодаря ценному комплексу положительных свойств углеродистые огнеупоры применяют в различных отраслях промышленности. Малые значения модуля упругости и температурного коэффициента линейного расширения при высокой температуре обуславливают исключительно высокую термическую стойкость углеродистых изделий, благодаря чему почти исключается растрескивание этих изделий в службе. Углеродистые изделия способны увеличивать механическую прочность с повышением температуры до 2400 °С. Углеродистые огнеупоры не смачиваются металлургическими шлаками независимо от их состава и поэтому не разрушаются ими.

Все эти свойства позволяют использовать углеродистые огнеупоры для футеровки доменных печей, пода печей для плавки свинца, алюминия, магния и других цветных металлов, а также печей для производства карбида кальция, фосфора, ферросплавов и др. Углеродистые материалы служат также в качестве замедлителей нейтронов в ядерных реакторах. Благодаря хорошей обрабатываемости, высокой прочности и удовлетворительной электропроводности графитовых огнеупоров из них изготавливают саморазогревающиеся пресс-формы для прессов горячего прессования.

4.2.5.6. Карбонидные и нитридные огнеупорные материалы

Карборундовые огнеупорные изделия изготавливают из карбида кремния SiC (карборунда).

Карбид кремния в природе не встречается. Его получают только искусственным путем – высокотемпературной обработкой (при 2000...2200 °С) смеси кремнезема и углеродистого материала. В качестве кремнеземистой составляющей обычно используют чистые кварцевые пески с содержанием SiO₂ не менее 98,5 %, а в качестве углеродистой составляющей – малозольные антрациты и нефтяной кокс. Рекомендуется также в шихту вводить 2...7 % поваренной соли для связывания железа и алюминия в хлориды и удаления их.

Для промышленного получения карбида кремния применяют электрические печи сопротивления периодического действия. Извлеченный из печи карборунд очищают от примесей, дробят и разделяют на фракции.

Карборунд не плавится, а при нормальном атмосферном давлении и температуре 2050 °С начинает диссоциировать. Полная диссоциация происходит при температуре 2400...2500 °С. При 2700...2800 °С начинается процесс испарения.

В окислительной среде при высокой температуре SiC окисляется кислородом, окислами углерода, водяными парами, содержащимися в пламенных газах. Это является существенным недостатком, ограничивающим применение карбида кремния как огнеупорного материала.

Из карбида кремния не удается получить плотные изделия обычным спеканием порошкообразных масс. При высоких температурах происходит рекристаллизация карборунда, не сопровождающаяся уплотнением из-за особенности строения, испарения и конденсации SiC.

Огнеупоры этого типа можно разделить на четыре группы:

- 1) карборундовые изделия на минеральных (глинистых) связках;
- 2) карборундовые изделия на органических связках;
- 3) карборундовые изделия без связки;
- 4) прочие карборундовые изделия.

Большое распространение получили карборундовые огнеупоры на глинистой связке. Так как при введении глины размером зерен 0,5 мм в карборундовую массу изделия получаются более плотными и менее окисляющими. Однако

в то же время повышается деформативность под нагрузкой в нагретом состоянии. Поэтому рекомендуют оптимальное содержание глины в шихте, равное 5...10 %.

Для повышения пластических свойств массы в карборундовую шихту вводят 1...2 % ССБ. Исходная влажность формовочной массы должна составлять 7...8 %. Исходные компоненты смешивают в смесительных бегунах, после чего массу выдерживают в течение 2...3 суток в специальных помещениях. В зависимости от производительности, размеров и формы огнеупоров формование может осуществляться полусухим способом на фрикционных прессах или пневматическим трамбованием, или ручной набивкой, а также другими способами. Удельное давление прессования составляет 30...100 МПа. Сушат сырец в камерных или туннельных сушилках до остаточной влажности, равной 1...2 %. Карборундовые изделия на глинистой связке обжигают в туннельных печах за 40...48 часов при температуре 1350...1425 °С.

Свойства карборундовых огнеупоров различны, что объясняется разной природой связующих компонентов. Характерным для всех материалов, содержащих SiC, являются относительно невысокий температурный коэффициент линейного расширения $4,3...4,5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$: высокая термическая стойкость; достаточно высокая средняя плотность 3,17...3,23 г/см³; относительно высокая температура начала деформации под нагрузкой; стойкость к кислотным шлакам и кислотам (кроме смеси азотной и плавиковой). Благодаря своим специфическим свойствам карборундовые огнеупоры находят широкое применение в различных отраслях промышленности: в черной и цветной металлургии, в химической и керамическом производствах и других областях.

Наиболее целесообразно применение карборундовых огнеупоров для нужд черной металлургии: для устройства высокотемпературных рекуператоров, изготовления пробок и стаканов для непрерывной разливки стали. Карборундовые изделия выгодно использовать в тех случаях, когда требуется их высокая термостойкость и шлакоустойчивость, например для устройства муфельей, капсулей и этажерок для обжига керамических изделий. Кроме того, карборундовые изделия применяют в устройствах, в которых к материалам предъявляются требования по сопротивляемости механическим воздействиям, например при использовании их в циклонах, пылесборниках.

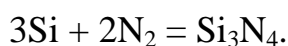
Карборундовые огнеупоры довольно широко применяются и в цветной металлургии, например в производстве цинка пирометаллургическим способом, в конструкциях аппаратов для осуществления процессов восстановления, дистилляции и рафинирования металлов. Из карборунда изготавливают патрубки и стопоры для литья в производстве меди.

В химической промышленности из карборундовых огнеупоров изготавливают сопла для распыления водного раствора SO₂, сливные блоки травильных ванн, детали насосов для перекачки кислых шлаков и т.д. Карборундовые огне-

упоры незаменимы в качестве футеровки котлов с жидким шлакоудалением (например, котлов ТЭЦ), при вихревом движении газов со скоростью 100 м/с, нагретых до температуры 1600...1800 °С. Высокая твердость SiC обуславливает широкое применение его в качестве абразивного материала. Карбид кремния широко используют также при изготовлении нагревательных элементов, например карборундовые стержневые нагреватели электропечей.

К **нитридным огнеупорам** относятся изделия на основе нитрида кремния. Нитрид кремния Si₃N₄, как и карборунд, искусственно изготовленный продукт, который получают в результате действия азота на тонкий порошок кремнезема при температуре около 1350 °С. При нормальном атмосферном давлении нитрид кремния не имеет точки плавления, а испаряется при 1900 °С, полностью диссоциируя.

В промышленности получили широкое распространение карборундовые изделия на нитридной связке. Производство карборундовых изделий на связке из нитрида кремния заключается в обжиге сырца, состоящего из 70 % карборунда и 30 % кремния, в атмосфере азота при 1300...1350 °С. Фазовый состав огнеупора и степень его уплотнения определяются полнотой взаимодействия кремния с азотом по реакции



При полном завершении процесса образования нитрида кремния масса продукта реакции увеличивается примерно в 1,67 раза. Поскольку объем изделия в целом не изменяется, происходит значительное уплотнение материала.

Исходные компоненты дозируют по массе, смешивают сначала всухую, а затем в увлажненном состоянии. Влажность формовочной массы должна составлять 4,0...4,5 %. Изделия формуют методом прессования при удельном усилии прессования 30...50 МПа или путем трамбования пневматическими трамбовками. Отформованный сырец сушат в туннельных сушилках до остаточной влажности 0,5 %. Обжигают карборундовые изделия на связке из нитрида кремния в электропечах в среде чистого азота при температуре 1300...1350 °С в течение 5...6 часов.

Применяют карборундовые огнеупоры на нитридной связке в алюминиевой промышленности, где они заменяют углеродистые блоки в электролизерах, их также используют в качестве конструкционного материала для труб и деталей центробежных и поршневых насосов.

Свойства карборундовых огнеупоров на различных связках приведены в табл. 4.9.

Состав и свойства карборундовых изделий на различных связках

Связка	Содержание связки, %	Средняя плотность, г/см ³	Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Температура начала деформаций под нагрузкой
Глинистая	10...27	2,3...2,65	20...25	30...50	1530...1560
Кремнеземистая	11...16	2,5...2,65	15...20	70...120	1660...1700
Нитридная	20...50	2,6...2,7	15...19	200	1800
Карбидоксинитридная	30...35	2,6...2,65	11...14	200	1800
Без связки	2...4	3,05...3,15	Близко к 0	1000	-

4.2.5.7. Огнеупорные изделия из чистых окислов

Под изделиями из чистых окислов подразумевают материалы, изготовленные из чистых окислов металлов без применения глинистых компонентов по технологии непластичной керамики.

В связи с развитием областей современной техники за последнее время требования к специальным материалам непрерывно повышаются. При применении окисных огнеупоров стремятся использовать однокомпонентные однофазные системы, как обладающие большей химической инертностью и высокотемпературной прочностью.

К огнеупорным окислам относятся Al_2O_3 , MgO , BeO , CaO , ZrO_2 и др. По огнеупорным свойствам эти окислы относятся в основном к материалам высокоогнеупорным. В зависимости от условий эксплуатации, например характера среды – окислительной или восстановительной, наличия контактов с расплавами и т.д., окислы некоторых металлов (ZrO_2 и др.), могут быть использованы в сооружениях с температурой, превышающей $2000^{\circ}C$, например для футеровки высокотемпературных печей, а в наиболее чистом виде – для тиглей, в которых плавят металлы и сплавы. Из высокоплотных моноокисных огнеупоров, обладающих высокой твердостью и механической прочностью, изготавливают резцы для механической обработки металлов, фильеры, калибры и т.д. Из высокоогнеупорных окислов изготавливают детали для газотурбинных и реактивных двигателей.

Широко известно успешное применение высокоогнеупорных окислов в качестве жароупорных покрытий в составе керметов*. Изделия из чистых окислов применяют в вакуумной и электронной технике.

Изделия на основе окиси алюминия. Окись алюминия существует в нескольких кристаллических модификациях, из которых самой устойчивой является $\alpha-Al_2O_3$ (корунд).

* Керметами называют искусственные материалы, получаемые путем обжига смесей, содержащих керамическое сырье (высокоогнеупорные окислы, карбиды и др.) и тугоплавкие металлы (никель, кобальт, молибден, хром, вольфрам и др.).

Основным сырьем для изготовления корундовых огнеупоров является технический глинозем и электроплавленный корунд. В некоторых случаях используют окись алюминия, полученную термическим разложением некоторых солей алюминия, например азотнокислого алюминия, алюмоаммиачных квасцов и др.

Корундовые изделия изготавливают всеми способами непластичной технологии. Однако независимо от принятой технологии обязательным являются следующие операции: предварительный обжиг глинозема, тонкое измельчение его и очистка от примесей. Корундовые полуфабрикаты обжигают в специальных печах при температуре 1550...1710 °С. При такой температуре материал приобретает плотность 3,75...3,85 г/см³ и в нем практически отсутствует открытая пористость. Твердость корунда по минералогической шкале Мооса равна 9 и уступает лишь твердости алмаза и некоторых карбидов. Температура его плавления находится в интервале 2015...2050 °С.

Предел прочности при сжатии чисто корундовых изделий массового производства со средней плотностью 3,75...3,85 г/см³ составляет 1000...1500 МПа. С повышением температуры прочность при сжатии корундовых изделий уменьшается, однако остается довольно высокой и составляет при температуре 1600 °С около 50 МПа.

Изделия из окиси магния (периклазовые изделия). Окись магния MgO – один из распространенных высокоогнеупорных окислов. В природе существует в виде бесцветного минерала периклаза с оттенками от желтого до зеленого. В природе нет крупных месторождений периклаза, поэтому его не используют в качестве сырья для получения чистой окиси MgO. Основными минералами для получения окиси магния служат магнезит, доломит, брусит и др. MgO получают также из морской воды. Чистая окись магния может быть получена вследствие термического разложения различных химических соединений, а также путем окисления металлического магния.

При взаимодействии с водой и водяными парами MgO гидратируется, превращаясь в Mg(OH)₂. При хранении на воздухе реагирует с углекислым газом, образуя карбонат магния.

Огнеупоры из окиси магния изготавливают из прокаленного при 1300 °С порошка MgO, который подвергают сухому помолу в вибромельнице. Формуют изделия различными способами, кроме водного литья, так как процесс гидратации MgO нарушает стабильность шликера. В зависимости от условий получения, степени чистоты и дисперсности окиси магния температура обжига изделий на ее основе составляет 1600...1800 °С.

Изделия из окиси магния устойчивы к воздействию щелочей и разрушаются под действием кислот. При нагревании MgO расширяется заметнее, чем другие высокоогнеупорные окислы, однако в окислительных средах выдерживает более высокие температуры, чем Al₂O₃. В восстановительных средах применение MgO ограничивается температурой 1700 °С, в вакууме нельзя использовать ее при температуре выше 1600...1700 °С.

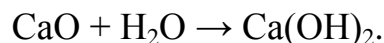
Изделия из чистой окиси магния со средней плотностью $3,42 \text{ г/см}^3$ характеризуются следующими показателями: температура начала деформации под нагрузкой в вакууме – $2300 \text{ }^\circ\text{C}$, предел прочности при сжатии при $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ – 34 МПа , предел прочности при изгибе – около 9 МПа . Изделия обладают невысокой термической стойкостью вследствие значительного температурного коэффициента линейного расширения и умеренной теплопроводности.

Наиболее важная область применения периклазовых огнеупоров – производство тиглей для плавки чистых металлов и их окислов.

Изделия из окиси кальция. Техническую окись кальция получают методом прокаливания известняков при температуре несколько более высокой температуры их декарбонизации ($800 \dots 850 \text{ }^\circ\text{C}$). Чистую CaO получают путем химической обработки природных сырьевых материалов, а также путем прокаливания гидрата окиси кальция при температуре $547 \text{ }^\circ\text{C}$.

Плотность окиси кальция равна $3,35 \text{ г/см}^3$, температура плавления – $2570 \text{ }^\circ\text{C}$. Температурный коэффициент линейного расширения CaO в интервале температур $25 \dots 1500 \text{ }^\circ\text{C}$ – $14,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Предел прочности при сжатии при температуре $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет около 30 МПа . Температура начала деформации под нагрузкой – $1950 \text{ }^\circ\text{C}$.

Изделия из окиси кальция неустойчивы в среде влажного воздуха вследствие гидратации CaO по реакции



Эта реакция сопровождается увеличением объема, поэтому изделия рассыпаются, превращаясь в порошок.

Для получения изделий, устойчивых к гидратации, их необходимо спечь. Однако чистая окись кальция практически не спекается. Поэтому для улучшения спекания в исходную массу вводят в качестве добавки $1 \dots 5 \%$ TiO_2 и BeO .

Особенность технологии получения изделий из окиси кальция состоит в том, что при их изготовлении не применяют воду.

По термохимическим свойствам и стойкости окись кальция является одним из лучших материалов для изготовления тиглей, в которых плавят платину и другие цветные металлы. Так как окись кальция устойчива против воздействия расплавленных фосфатов кальция, то из нее можно изготавливать футеровку печей, в которых плавят фосфатные руды.

Изделия из окиси бериллия. В чистом виде окись бериллия BeO представляет собой тонкодисперсный кристаллический порошок белого цвета. В природе окись бериллия встречается очень редко. В промышленности ее получают главным образом путем химической переработки минерала берилла $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Изделия из чистой окиси бериллия получают методом литья из шликера, пластическим формованием и другими способами. При этом исходным материалом является гидрат окиси бериллия, предварительно обожженный при тем-

пературе 1300...1400 °С и измельченный в шаровой мельнице с последующей отмывкой от намола железа соляной кислотой. Обжигают изделия из окиси бериллия при температуре до 1800 °С. Линейная усадка изделий из BeO в процессе обжига составляет 15...18 %. Кроме того, до 2...3 % массы изделий улетучивается при обжиге.

Твердость BeO по минералогической шкале – 9, средняя плотность – 3,02 г/см³, температура плавления – 2570 °С. При высоких температурах в присутствии водяных паров в газовой среде BeO обладает повышенной летучестью. Поэтому высокотемпературные изделия из окиси бериллия нельзя применять в среде продуктов горения. Термическая стойкость изделий из окиси бериллия выше, чем изделий из других высокоогнеупорных окислов, например корунда, окиси магнезия, окиси циркония. Это объясняется высокой теплопроводностью и равномерным расширением при нагревании. Предел прочности при сжатии изделий из чистой окиси бериллия при температуре 1800 °С – 36 МПа, при изгибе – около 9 МПа.

Применяется окись бериллия, главным образом, для производства тиглей и других изделий в металлургии редких и чистых металлов, а также в качестве основного покрытия, повышающего жаропрочность и коррозионную стойкость различных металлов. Высокая теплопроводность окиси бериллия, значение которой приближается к теплопроводности некоторых металлов, например, свинца, позволяет использовать ее в ядерной технике (там, где необходим интенсивный теплоотвод).

Окись бериллия отличается повышенной токсичностью, поэтому работать особенно с необожженной окисью и легко растворимыми солями бериллия необходимо при соблюдении соответствующих правил техники безопасности.

Изделия из двуокиси циркония. Двуокись циркония ZrO₂ в природе встречается в составе бадделеита, содержащего 80...90 % ZrO₂ и значительно чаще циркона ZrO₂·SiO₂, а также в составе некоторых других минералов. В промышленности двуокись циркония получают путем химической переработки циркона с последующим прокаливанием для удаления летучих веществ.

Двуокись циркония существует в двух модификациях: моноклинной и тетрагональной. Устойчивая при обычных температурах моноклинная модификация ZrO₂ при нагревании до 1040...1080 °С переходит в тетрагональную, что сопровождается уменьшением объема примерно на 7 %. При охлаждении в области температур 900...820 °С тетрагональная модификация переходит обратно в моноклинную. Это сопровождается увеличением объема также примерно на 7 %. Обратимые полиморфные превращения ZrO₂ вызывают растрескивание изделий. Для предотвращения этого явления применяют стабилизирующие добавки, в качестве которых выступает CaO в количестве 3...8 %.

Температура плавления ZrO₂ равна 2687 °С. Двуокись циркония характеризуется низкой теплопроводностью, примерно в три раза меньшей, чем у Al₂O₃·ZrO₂, обладает слабокислотными свойствами, при высоких температурах хорошо сопротивляется воздействию различных восстановителей. Главное по-

ложительное свойство ZrO_2 состоит в том, что она является веществом инертным: до температуры $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ с ней не взаимодействуют расплавленные металлы, силикаты, стекла, полевой шпат и кремнезем. Растворы едких щелочей и карбонатов, а также кислот (за исключением концентрированной серной H_2SO_4 и фтороводородной HF) на ZrO_2 не действуют. В тиглях, изготовленных из двуокиси циркония, можно плавить калий, натрий, алюминий и железо.

Огнеупорные изделия из стабилизированной ZrO_2 имеют широкое практическое применение при температурах $2300\dots 2500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2.6. Легковесные огнеупорные материалы

Легковесными (теплоизоляционными) огнеупорными материалами называют материалы, общая пористость которых равна или больше 45 %, средняя плотность – $400\dots 1400\text{ кг/м}^3$, благодаря чему они имеют высокие теплозащитные свойства.

Применение легковесных огнеупоров позволяет уменьшить расход топлива на технологические нужды на 20...70 %, значительно сократить потери теплоты через ограждающие конструкции, снизить толщину стен и сводов тепловых установок, сократить время, необходимое для разогрева агрегата до необходимой температуры. Наиболее выгодно использовать пористые огнеупорные материалы для внутренней футеровки тепловых агрегатов, то есть непосредственно у источников.

В настоящее время огнеупорные легковесные материалы широко применяются в самых различных отраслях промышленности.

Существует много способов формирования пористой структуры огнеупоров. Основные из них следующие:

- 1) введение в исходную массу пористого заполнителя;
- 2) вспучивание в ходе термической обработки всей массы или отдельных ее компонентов;
- 3) введение в исходную массу специальных добавок с последующим их удалением (испарением, растворением, выжиганием и т.д.);
- 4) минералообразование при обжиге, обуславливающее увеличение пористости;
- 5) вовлечение в суспензию или расплав газовой фазы (пенный способ);
- 6) образование пузырьков газа в суспензии или расплаве в результате химических реакций или разложения вводимых добавок (газовый способ);
- 7) образование межзерновых пор в результате механического измельчения твердых тел, отсева продуктов измельчения и последующего спекания;
- 8) создание волокнистого строения.

Каждый из перечисленных способов имеет положительные и отрицательные стороны, а также области целесообразного применения. В производстве огнеупорных, и особенно высокоогнеупорных, пористых материалов используют преимущественно два способа: выгорающих добавок и пенный. В по-

следнее время широко начинает применяться способ волокнообразования за счет совершенствования получения расплавов из тугоплавкого сырья и получения волокон из различных расплавов.

Способ выгорающих добавок является самым старым способом получения пористых огнеупоров. Этим способом получают материалы с пористостью до 50...60 %. В качестве выгорающих добавок могут быть использованы любые твердые горючие материалы: древесные опилки, каменный уголь, продукты коксования, различные смолы, сланцы, пенополистирол и др.

Наиболее высокая степень пористости (85...90 %) достигается при использовании пенного способа. Сущность этого способа заключается в смешении суспензии огнеупорного материала с пенообразователем или отдельно приготовленной пеной, образованной при механической обработке водных растворов некоторых поверхностно-активных веществ.

В последнее время в нашей стране и за рубежом очень большое внимание уделяется способу получения легковесных высокопористых огнеупорных материалов путем формирования макроструктуры в виде волокон.

Рациональное использование пористых огнеупорных материалов возможно по двум основным направлениям. Прежде всего, они выполняют роль высокотемпературной тепловой изоляции, при этом основное требование, предъявляемое к этим материалам, - высокие теплозащитные свойства. Другое направление использования пористого огнеупорного материала – это то, при котором решающее значение имеет его пористая структура. При этом теплопроводность или вообще не имеет значения, или играет второстепенную роль в сорбционной, каталитической, электрохимической, фильтрационной областях техники и т.д. – там, где процессы проводят при высоких температурах и другие материалы оказываются непригодными.

Разновидности пористых огнеупорных материалов

Алюмосиликатные пористые огнеупорные материалы являются наиболее распространенными. Изделия этого типа изготавливают всеми известными способами. Сырьем служат преимущественно огнеупорные глины и каолины, а также шамот на их основе.

Наиболее широкое применение находят алюмосиликатные шамотные огнеупоры, изготавливаемые пенным способом. Различают три основных вида изделий, получаемых по этому способу: ультралегковес, пенолегковес, пеношамотный легковес.

Ультралегковес – наиболее высокопористый материал, изготовленный из смеси глины (80 %) и тонкоизмельченного шамота (20 %). Высокой пористости достигают за счет тонкого измельчения исходных компонентов, высокой влажности шликера и введения в массу большого количества пены.

Пенолегковес получают из высокоотощенных глинистых масс, содержащих 80...95 % шамотных зерен, и высокопластичной глины в качестве связки. Изделия

формируют методом литья пеномассы в металлические или гипсовые формы.

Пеношамотные огнеупорные изделия отличаются тем, что в их состав вводят от 65 до 70 % пористых шамотных гранул размером 0,5...10 мм. В качестве связки используют 30...35 % огнеупорной глины. Формуют пеношамотные изделия путем легкого уплотнения или трамбования. Достоинством пеношамота являются незначительная усадка при сушке и обжиге, точные формы изделий, повышенная термическая стойкость по сравнению с обычным пенолегковесом.

Свойства некоторых видов алюмосиликатных шамотных легковесных огнеупоров приведены в табл. 4.10 [19].

Таблица 4.10

Физико-технические свойства шамотных легковесных огнеупоров

Виды шамотных огнеупоров	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Дополнительная усадка, %, при температуре 1350 °С	Огнеупорность, °С	Температура начала размягчения, °С
Ультралегковес ($\rho_m = 400 \text{ кг/м}^3$)	2,1...2,4	0,149	-	1670...1710	1100
Пенолегковес ($\rho_m = 600 \text{ кг/м}^3$)	4,1	0,220	0,5	1700	1210
Пенолегковес ($\rho_m = 700 \text{ кг/м}^3$)	1,5	0,395	0,1	1690	1270
Пенолегковес ($\rho_m = 750 \text{ кг/м}^3$)	2,0...3,0	0,545	0,5	1680	1210
Пеношамот ($\rho_m = 1000 \text{ кг/м}^3$)	2,0...3,0	0,418	0,1...0,5	1670	-

К алюмосиликатным относятся также пористые материалы на основе кордиерита $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$, сподумена $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ и анортита $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Эти изделия отличаются от шамотных более высокой термической стойкостью. Изготавливают их из шамота, получаемого из смеси огнеупорной глины и сырого магнезита, с последующим тонким измельчением.

Алюмосиликатные легковесные огнеупоры широко применяются в строительстве печей и других областях техники. Их используют для рабочей и промежуточной футеровок при различных температурах (до 1550...1600 °С).

Динасовые пористые огнеупорные изделия изготавливают двумя способами: пенным и выгорающих добавок. В качестве исходного сырья используют разнообразные кристаллические кварциты, кварцевые пески и их смеси с цементными кварцитами, содержащими не менее 97 % SiO_2 , что обеспечивает получение изделий, содержащих 90...93 % SiO_2 и обладающих огнеупорностью 1650...1730 °С.

Существует два вида динасовых огнеупоров: пенодинас и легковесный динас. Их свойства представлены в табл. 4.11.

Сравнительные характеристики пенодинаса и легковесного динаса

Вид динасовых огнеупоров	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Огнеупорность, %	Температура начала размягчения под нагрузкой	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Пенодинас	800...850	2...3	1650	1240	0,79
Динас легковесный	1000...1230	4...8	1680...1700	1620...1640	0,79

Для получения пенодинаса кварциты подвергают тонкому измельчению. В качестве связки применяют высокоглиноземистый цемент.

Легковесный динас получают способом выгорающих добавок из шихты, содержащей 65...70 % молотого кварцита, 30...35 % кокса или антрацита и известкового молока, к которому добавляют 1,0...1,4 % сульфитно-спиртовой барды.

Динасовый легковес применяют для футеровки стен, сводов и подподо-вой изоляции печей. Наиболее эффективно применение пористого динаса в нагревательных, кузнечных и термических печах, а также в периодических и газокамерных печах для обжига динасовых, шамотных и других керамических изделий.

Высокоглиноземистые пористые огнеупорные материалы изготавливают из природных (бокситы, диаспор, кианит, андалузит) и искусственных материалов (высокоглиноземистый шамот, технический глинозем, электроплавленный корунд) также пенным способом или способом выгорающих добавок.

Изделия, получаемые пенным способом, отличаются более высокой пористостью, повышенной прочностью и термической стойкостью, чем изделия, полученные способом выгорающих добавок (табл. 4.12). Несмотря на некоторые преимущества изделий, изготовленных пенным способом, последний относительно мало применяется в связи с более сложной технологией: большая влажность пеномассы требует сложного режима и продолжительной сушки, а малая прочность – более осторожного обращения.

Корундовые пористые огнеупорные изделия изготавливают с применением в качестве исходного сырья технического глинозема с содержанием 97...99 % Al_2O_3 и электроплавленного корунда.

Путем прессования получают изделия с невысокой равномерной пористостью (средняя плотность 1,8...1,9 г/см³). Для повышения пористости материала вместо плотных зерен корунда и глинозема используются пористые или пустотелые гранулы корунда, которые получают различными способами (дроблением пеногранул корунда или брака пенокерамики, продувкой воздухом расплава Al_2O_3 , нанесением слоя пылевидного глинозема на шарики выгорающей добавки с последующим ее выжиганием).

Таблица 4.12

Состав и свойства пористых высокоглиноземистых материалов

Исходное высокоогнеупорное сырье	Состав массы, %	Способ формования	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Огнеупорность, °С	Температура начала деформации, °С	Дополнительная усадка, %, при температуре, °С
Способ выгорающих добавок								
Обожженный боксит	Боксит – 50...80, глина – 20...50, опилки – 10...20*	Пластическое формование	800...2000	0,5...3,2	-	-	-	-
Кианитовый концентрат	Кианит – 50...75, каолин – 10...15, кокс – 15...25	Полусухое прессование	1000...1900	3,7...30	0,60	1800	-	$\frac{0,3^{**}}{1500}$
Диаспоровый концентрат	Концентрат – 15, диаспоровый шамот – 26, глина – 4, опилки – 84	Пластическое формование	1300...1400	8,0...11,5	0,72	1770	1290	$\frac{0,3}{1400}$
Технический глинозем	Высокоглиноземистый шамот – 58, каолин – 6, глина – 6, кокс – 30	Прессование	1400	3,3...4,9	0,73	1855	1370	$\frac{0,4}{1600}$
Пеновый способ								
Диаспоровый концентрат	Концентрат – 80, глина – 20	Заливка в формы	500...1300	9,0...73	0,58	-	1430	$\frac{0,3}{1600}$

Примечания: *Выгорающая добавка берется сверх 100 %,

** В числителе – усадка, в знаменателе – температура.

Пеновым способом получают корундовые легковесы плотностью менее 1 г/см^3 . Пенокорунд обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, равномерным строением с частично замкнутыми порами.

Корундовые пористые огнеупорные материалы могут применяться при температуре до $1750 \dots 1850 \text{ }^\circ\text{C}$. Высокопористый корунд обладает малой теплопроводностью, высокой огнеупорностью, химической инертностью, превосходными электроизоляционными свойствами, что позволяет использовать его в качестве высокотемпературной теплоизоляции в условиях воздействия различных химических реагентов в окислительных и восстановительных средах.

Кроме вышеуказанных огнеупорных легковесов в настоящее время производятся пористые материалы из окиси магния, окиси бериллия, двуокиси циркония, карбидов и других бескислородных соединений. Эти материалы, несмотря на высокую эффективность, не нашли пока широкого применения в связи с высокой стоимостью исходного сырья и несовершенством применяемых технологических приемов для их изготовления.

Огнеупорные волокна и материалы на их основе являются самыми молодыми из всех огнеупорных пористых материалов. Изделия из этих материалов отличаются от традиционных легковесных огнеупоров, имеющих ячеистую пористую структуру, высокой термической стойкостью и очень низкой теплопроводностью.

Впервые промышленный выпуск огнеупорного волокна был организован в США. Сырьем для получения этого волокна являлся чистый каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который расплавляли в печи и воздействовали на струю расплава, вытекающую из печи, струей сжатого воздуха. При этом струя расплава расщеплялась на отдельные тонкие струйки, которые вытягивались в тончайшие нити и осаждались в виде ковра.

В нашей стране была разработана технология получения искусственного алюмосиликатного волокна, получившего название «каолиновая вата». Сырьем для ее изготовления служат технический глинозем, содержащий до 99 % Al_2O_3 , и чистый кварцевый песок. Исходные компоненты тщательно смешивают и плавят в электродуговой печи. Полученный расплав выпускают из печи в виде тонкой струи, на которую воздействуют паровым дутьем. Образующиеся при этом волокна собирают в камере волокнообразования.

На основе каолиновой ваты и неорганических вяжущих веществ (огнеупорной глины, бентонита, высокоглиноземистого цемента) изготавливают различные теплоизоляционные и огнеупорные изделия, основные свойства которых представлены в табл. 4.13.

Физико-технические свойства материалов из каолиновой ваты

Вид изделий	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Теплопроводность, Вт/(м·°С), при температуре, °С		Предельная температура применения, °С
		при сжатии	при изгибе	600	1000	
Плиты и трубы из керамвола	600...800	6...10	4...6	0,174	-	950
Теплоизоляционно-компенсационные плиты (безобжиговые)	250...350	0,6...0,8	0,3...0,5	0,116	0,151	1250
Плиты теплоизоляционные на высокоглиноземистом цементе	300...500	1,0...1,8	0,6...1,0	0,137	0,162	1200

Керамвол – керамический материал волокнистого строения, который состоит из каолиновой ваты и бентонитового связующего. Его основной особенностью является то, что он не вступает в химическое взаимодействие с расплавами алюминия, не смачивается ими при температурах 750...800 °С, обладает высокими физико-механическими свойствами и очень низкой теплопроводностью. Изделия из керамвола применяют для футеровки и тепловой изоляции литейного оборудования при производстве алюминия и его сплавов.

Теплоизоляционно-компенсационные плиты изготавливают из каолиновой ваты и глиняного связующего. Они предназначены для заполнения компенсационных зазоров в периодически действующих тепловых аппаратах (воздухонагреватели доменных печей). Основное назначение этих изделий состоит в том, чтобы воспринимать, не разрушаясь, многократные пульсирующие нагрузки, возникающие в результате температурных деформаций огнеупорной футеровки, и не допускать перегрева металлического кожуха аппарата.

Плиты теплоизоляционные на высокоглиноземистом цементе предназначены для устройства тепловой изоляции различных тепловых агрегатов с рабочей температурой до 1200 °С.

Кроме перечисленных изделий на основе огнеупорных волокон, выпускают рулонный материал в виде войлока, который применяют для тепловой изоляции технологического и теплового оборудования, паровых котлов, газовых турбин и др.

Неорганические огнеупорные волокна играют важную роль в современной промышленности. Их применяют в виде набивок. Из них изготавливают различные теплоизоляционные изделия: плиты, скорлупы, трубы, блоки, картонные листы, ткани, жгуты, войлок, маты и др., которые используют для тепловой изоляции в промышленности и для защиты оборудования и строительных конструкций от вредного теплового воздействия [19].

4.2.7. Мертели, растворы и защитные обмазки

Мертели, растворы и защитные обмазки служат вспомогательными материалами, но имеют важное, а иногда и решающее значение в повышении износоустойчивости огнеупорной кладки в целом.

Мертели и растворы

Мертели – измельченные смеси огнеупорных отощающих и связующих материалов, которые после затворения их водой служат огнеупорными растворами. По своему химико-минералогическому составу мертели должны соответствовать связываемым огнеупорным материалам.

При испытании мертелей определяют их химический и зерновой составы, консистенцию растворов, водоудерживающую способность, газопроницаемость и прочность.

В табл. 4.14 приведены основные показатели некоторых мертелей.

Таблица 4.14

Характеристика мертелей

Мертели	Марка	Химический состав в пересчете на прокаленное вещество, %	Рабочая температура, °С	Огнеупорность, °С
Алюмосиликатные	ВТ1	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ не менее 60	-	1800
	ВТ2	45	-	1750
	ШТ1, ШК1,	38	ниже 1550	1730
	ШТ2, ШК2,	33	ниже 1450	1690
	ШК3	30	850...1400	1650
	ПТ1, ПК1	20	-	1650
	ПК2	20	-	1610
Шамотные, воздушно-твердеющие	ШБ10	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ не менее 35	ниже 1450	1650
	ШГ1	Fe ₂ O ₃ не более 5	ниже 1500	1730
Динасовые	МД1	SiO ₂ 94...96 Al ₂ O ₃ 2,0...3,5	Выше 1500	-
	МД2	SiO ₂ 90...93 Al ₂ O ₃ 4...6	Ниже 1500	-
Хромомагнезитовые воздушно-твердеющие	-	MgO не менее 33 CrO ₃ не менее 22	-	-

Мертели применяют для кладки футеровок промышленных печей, ковшей, рекуператоров и т.д. Шамотно-глиноземистые и шамотные мертели применяют для кладки доменных печей. Хромомагнезитовые мертели используют для кладки основных огнеупоров в сталеплавильных и других печах.

Растворы обычно состоят из следующих компонентов: основной инертной массы в виде тонкозернистого порошка (отошителя), связующего (пластичного компонента), различных добавок, регулирующих свойства раствора, и воды.

Огнеупорные растворы используются при выполнении кладки огнеупорных конструкций тепловых установок для связывания отдельных ее элементов (например, кирпичей или блоков). Растворы должны быть достаточно огнеупорными, хорошо заполнять выемки, сглаживать неровности на кирпичачах, создавать тонкие швы, после обжига иметь небольшую пористость, быть прочными, хорошо спекающимися с кирпичами в процессе службы. Для обеспечения долговечности огнеупорной кладки объемные изменения раствора и кирпича в эксплуатации должны быть одинаковыми.

При сушке кладки из-за испарения воды из раствора происходит усадка. При чрезмерной усадке в высыхающем растворе образуются трещины, в связи с чем снижается его связь с элементами кладки. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании составов мертелей и растворов.

В процессе работы кладки при высоких температурах в ней появляется дополнительная усадка. Эта усадка растворов, как правило, превышает дополнительную усадку изделий. Возникающие при этом напряжения на границе изделие-раствор могут компенсироваться пластической деформацией в растворе вследствие образования в нем жидкой фазы.

Иногда кладку выполняют насухо, то есть засыпают остающиеся после притирки изделий тонкие швы мертелем – порошком того же состава, что и изделия. Изготавливают порошки на заводах огнеупорных изделий.

Вид раствора определяется типом изделий, для кладки которых он применяется. По этому признаку обычно и классифицируют растворы на шамотные, динасовые и т.д. Каждая из этих групп характеризует не раствор, а его твердую составляющую (порошок), состоящую из инертных и вяжущих веществ, – мертель.

Растворы из мертелей приготавливают в передвижных растворомешалках периодического действия непосредственно перед кладкой [19].

Защитные обмазки

Защитные обмазки применяют для повышения стойкости огнеупорной футеровки, особенно динасовой и шамотной, против воздействия шлаков и резких температурных колебаний.

Обмазки, нанесенные на кладку с рабочей стороны, увеличивают продолжительность ее службы. Обмазки должны иметь небольшую усадку, а температурный коэффициент линейного расширения должен быть по значению близким коэффициенту линейного расширения покрываемого материала, иначе при нагревании обмазка будет растрескиваться и скалываться.

Огнеупорные обмазки представляют собой порошки из различных огнеупорных материалов определенной зернистости в смеси с разного рода добав-

ками, обеспечивающими связывание компонентов обмазки с защищаемым материалом.

Обмазки на рабочую поверхность огнеупорной футеровки наносятся вручную или методом торкретирования.

При помощи торкретирования можно выполнять ремонтные работы, а также целиком футеровку некоторых печей и устройств. Торкретирование применяют для ремонта доменных печей, конверторов, сталеразливочных и чугуновозных ковшей, термических печей, вагранок, нагревательных колодцев. С этой целью используют магнезитовые и хромомagneзитовые торкрет-массы (табл. 4.15).

Нанесение обмазок методом торкретирования позволяет ремонтировать кладку при высокой температуре без остановки печей. Например, для горячего ремонта динасовой кладки коксовых печей используют шамотные торкрет-массы (с глиной и без нее) на фосфорной кислоте (табл. 4.16).

Перед нанесением обмазки в кладке расчищают швы, отбивают потеки шлаков и смазывают ее жидким раствором – грунтом их хромомagneзитовой суспензии, содержащей 90...95 % хромитовой руды, 5...10 % огнеупорной глины с добавкой 5 % сульфитно-спиртовой барды. Огнеупорную обмазку наносят на грунт слоем до 55 мм.

4.2.8. Огнеупорные бетоны и набивные массы

Огнеупорные бетоны

Огнеупорными бетонами называют смеси огнеупорных заполнителей и цементов, которые при затвердевании превращаются в камнеподобный материал, способный при длительном воздействии высоких температур сохранять заданные свойства.

Огнеупорные бетоны отличаются от обычных бетонов, во-первых, огнеупорностью и достаточной прочностью в условиях службы при высоких температурах; во-вторых, свои эксплуатационные свойства они приобретают в процессе работы при воздействии высоких температур.

Огнеупорные бетоны получили широкое распространение в связи с тем, что в технологии их производства отсутствует сложный и дорогой технологический процесс обжига.

Огнеупорные бетоны изготавливают в виде крупных блоков или монолитных конструкций футеровок, что позволяет ускорить строительство и ремонт промышленных печей [19].

Таблица 4.15

Свойства торкрет-масс для горячего ремонта кладки мартеновских печей

Торкрет-масса	Состав сухих смесей, % по массе			Усадка, %, после обжига при температурах °С			Предел прочности при сжатии, МПа, после обжига при температурах, °С		
	Хромитовая руда	Магнезитовый металлургический порошок	Глина	900	1200	1500	900	1200	1500
Магнезитовая	-	95	5	0	0	6,5	7	10	120
Хромитовая	95	-	5	-	0,5	3,0	-	21,5	110
Хромомагнезитовая	75	20	5	0	0	5,0	2	6,5	110

Таблица 4.16

Свойства шамотных торкрет-масс на фосфатной связке

Марка торкрет-массы	Состав, % по массе			Свойства масс			
	Шамот	Глина	Ортофосфорная кислота (сверх 100 %)	Предел прочности при сдвиге по динасу, МПа, в нагретом состоянии при температурах, °С			Термостойкость, воздушные теплотемны, нагрев до 800...400 °С
				600	800	1100	
ШТМ1	100	-	15	3,0	4,5	2,2	50
ШТМ2	93	7	15	19,0	2,7	-	10...30

Классифицируют огнеупорные бетоны по типу изделий, по виду используемых вяжущих и заполнителей, по прочности.

1. *По типу изделий* огнеупорные бетоны делятся:

- на крупные блоки;
- на монолитные футеровки из набивных или формуемых масс.

2. *По виду вяжущего* огнеупорные бетоны делятся:

- на бетоны на гидравлических вяжущих веществах (портландцемент, глиноземистый цемент, высокоглиноземистый цемент);
- на бетоны на воздушных вяжущих веществах (периклазовый, алюмобариевый цементы);
- на бетоны на минеральных клеящих веществах (жидкое стекло, бентонит, огнеупорная глина);
- на бетоны на органических вяжущих и клеящих веществах (сульфитно-спиртовая барда, каменноугольная смола);
- на бетоны на химических связках (на ортофосфорной кислоте и ее производных).

3. *По виду заполнителей* огнеупорные бетоны бывают:

- диасовые (кварцевые и др.);
- шамотные (полукислые и др.);
- магнезиальные (магнезитовые, форстеритовые и др.);
- корундовые;
- смешанные (магнезито-корундовые).

4. *В зависимости от предела прочности при сжатии* огнеупорные бетоны подразделяются на марки 100, 150, 200, 250, 300 и 400.

Применяемые составы для получения огнеупорных бетонов и их основные свойства представлены в табл. 4.17.

Заполнители для огнеупорных бетонов получают путем дробления и отсева на фракции огнеупорного исходного материала. Тонкомолотый заполнитель получают в шаровых и трубных мельницах. Бетонные смеси приготавливают в обычных бетономешалках.

Процесс формирования структуры огнеупорных бетонов можно условно разделить на три последовательных взаимосвязанных процесса:

1) твердение бетона, происходящее при низких температурах (до 300 °С), обусловленное химическим взаимодействием компонентов, перекристаллизацией химических соединений или их гидратацией (первый и второй процессы характерны для воздушных вяжущих, последний – для гидравлических вяжущих);

2) разупрочнение бетона, происходящее при средних температурах (300...1100 °С) вследствие дегидратации и разложения гидросиликатов кальция;

3) спекание бетона при высоких температурах (более 1100 °С), способствующее нарастанию прочности.

Таблица 4.17

Составы и свойства огнеупорных бетонов

Заполнитель	Тонкомолотая добавка	Вяжущее	Огнеупорность, °С	Температура деформации под нагрузкой 2 кгс/см ²		Предельная температура службы при одностороннем нагреве, °С
				4%-го сжатия	разрушения	
Высокоогнеупорные бетоны						
Высокоглиноземистый шамот	-	Высокоглиноземистый цемент	> 1770	1550	1650	1700
Бой магнезитохромитового кирпича	-	Периклазовый цемент	> 1770	1400...1600	1600...1700	1700
Хромит	Хромит и магнезит	Портландцемент	> 1770	1500	1600	1700
Корунд или высокоглиноземистый шамот	Гидрат глинозема	Алюмофосфатное (Al(H ₂ PO ₄) ₃ , Al ₂ (HPO ₄) ₃)	> 1770	1600	-	1700
Тугоплавкие бетоны						
Хромит	-	Глиноземистый цемент	1700	1350	1450	1400
Хромит	Хромит	Жидкое стекло	1700	1150	1250	1100
Бой магнезитового кирпича	Бой магнезитового кирпича	Жидкое стекло	1700	1250	1450	1300
Шамот класса ШБ	Шамот класса ШБ	Портландцемент	1550	1250	1300	1300
Шамот класса ШБ	Шамот класса ШБ	Жидкое стекло с добавками	1550	1000...1150	1200	1200

В последнее время широкое распространение получили бетоны на фосфатных связках. Это объясняется тем, что они обладают достаточно высокой прочностью при температурах 400...1000 °С, то есть в интервале температур, при котором прочность обычных бетонов невысока.

В настоящее время на основе ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) изготавливают различные химические связки. Наибольшее распространение в производстве огнеупорных бетонов получили алюмофосфатные $Al(H_2PO_4)_3$ и магниевые фосфатные связки.

Область применения огнеупорных бетонов довольно обширна. Например, бетоны на портландцементе можно применять для монтажа стен и сводов зоны подогрева и охлаждения туннельных печей для производства керамических изделий, в печах беспламенного горения нефтеперерабатывающих заводов, в топках паровых котлов. Бетоны на глиноземистом и высокоглиноземистом цементе с шамотом применяют для изоляции охладителей на сводах сталеплавильных печей, бетоны на периклазовом цементе – в отдельных узлах мартеновских печей. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках используют в качестве футеровки воздухонагревателей доменных печей, передних стенок вертикальных каналов мартеновских печей, индукционных печей для плавки серебра, цинка, меди и алюминиевых сплавов.

Набивные массы

Набивные массы – смеси огнеупорных материалов, применяемые в сухом или увлажненном виде для выполнения футеровок вместо огнеупорных изделий в том случае, когда агрегаты или их части имеют сложную конфигурацию.

Порошки для набивных масс приготавливают в основном так же, как для соответствующих обжиговых изделий. Иногда в состав массы вводят легкоплавкие добавки, упрочняющие массу за счет спекания уже при низких температурах.

Преимуществом набивных масс по сравнению с другими огнеупорными материалами является отсутствие швов в футеровке. Однако, на набивку, сушку и нагрев футеровок в этом случае требуется более продолжительное время, чем на выполнение футеровок из обжиговых изделий.

Набивные массы, как и любой безобжиговый огнеупорный материал, при нагреве до рабочих температур должны иметь лишь минимальную усадку. Чтобы компенсировать достаточно высокую усадку масс в них вводят добавки, при нагревании увеличивающиеся в объеме. Например, в полукислые массы вводят кварц, в высокоглиноземистые – корунд.

Основные свойства и область применения набивных масс приведены в табл. 4.18.

Состав, свойства и области применения набивных масс

Набивные массы	Состав	Огнеупорность, °С	Температура деформации под нагрузкой 2 кгс/см ²		Область применения
			начало размягчения	40 % сжатия	
Шамотные и полукислые	Шамот из глины, кварцит, глина, барит	1520	1280	1340	Подовые камни индукционных печей для плавки алюминия
Высокоглиноземистые	Высокоглиноземистый или каолиновый шамот, глина, ССБ	1780...1840	1520...1620	1720...1790	Монолитные футеровки печей с температурой службы до 1600 °С
Кремнеземистые	Кварц, кварцит, обожженный маршалит, борная кислота	1710	-	-	Тигли индукционных сталеплавильных печей
Хромитовые	Хромитовая руда, глина, жидкое стекло	1900	1280	1300	Обмуровка шиповых экранов топок паровых котлов
Алюмосиликатные на фосфоритной связке	Шамот высокоглиноземистый корунд, глина	1800	-	-	Тигли индукционных печей для плавки алюминия

4.3. Общие сведения, классификация и разновидности химически стойких материалов

4.3.1. Общие сведения и классификация химически стойких материалов

Для обеспечения непрерывно увеличивающегося производства различных химических продуктов требуется значительное количество антикоррозионных материалов.

Химически стойкие материалы применяют для футеровки различных аппаратов и емкостей (резервуары, реакционные ванны и др.), для защиты строительных конструкций, а также для изготовления аппаратов и устройств, в которых транспортируют агрессивные жидкости и газы [7, 11].

Химически стойкие изделия обладают высокой стойкостью к воздейст-

вию большинства кислот, поэтому их также называют кислотоупорными.

Классифицируют химически стойкие изделия по виду материала, из которого их изготавливают:

- химически стойкие изделия из природных каменных материалов;
- химически стойкие изделия из ситаллов, шлакоситаллов и каменного литья;
- химически стойкие изделия на основе керамики;
- химически стойкие изделия на основе жидкого стекла;
- химически стойкие изделия из кислотоупорного цемента и бетона.

4.3.2. Разновидности химически стойких материалов

4.3.2.1. Химически стойкие изделия из природных каменных материалов

Некоторые магматические и метаморфические горные породы используют для футеровки разнообразных установок и аппаратов, подвергающихся действию кислот, щелочей, солей и агрессивных газов, а также испытывающих влияние резко изменяющихся температур и давлений.

Кислотоупорные породы идут на изготовление тесаных плит, кирпичей, брусков и фасонных изделий, а в дробленном и тонкомолотом виде служат в качестве заполнителей и наполнителей в кислотоупорных растворах и бетонах, мастиках, замазках, шпаклевках и др.

Для защиты конструкций зданий и аппаратов от кислот (кроме плавиковой и кремнефтористоводородной) применяют изделия из гранита, сиенита, диорита, базальта, кремнистого песчаника, кварцита. Щелочную среду хорошо выдерживают изделия из плотных известняков, мраморов, магнезитов и известковых песчаников.

Важным условием длительной службы каменных материалов в агрессивных средах является их весьма высокая средняя плотность. При эксплуатации в агрессивных условиях они должны иметь среднюю плотность не менее 2300 кг/м^3 и предел прочности при сжатии не менее 30 МПа для осадочных и не менее 100 МПа для магматических пород, коэффициенты размягчения – 0,8...0,9, кислотостойкость – не менее 93...95 %.

Однако применение кислотоупорных штучных изделий из природного камня ограничено их высокой стоимостью, обусловленной трудностью добычи и обработки, а также малым выходом готовой продукции из горной массы [5, 6].

4.3.2.2. Химически стойкие изделия на основе ситаллов и шлакоситаллов, каменного литья

Наибольшую эффективность применения в качестве кислотоупорных материалов получили изделия на основе ситаллов и шлакоситаллов, а также каменного литья.

Ситаллы (название произошло от сокращения двух слов – силикат и кристалл) представляют собой стеклокристаллические материалы, полученные из стеклянных расплавов путем их полной или частичной кристаллизации. Структура ситаллов состоит из мелких (1...2 мкм) кристаллов, между которыми находится прослойка стекловидной фазы. Объем кристаллической фазы в ситаллах достигает 90...95 %.

Сырьем для производства ситаллов являются те же природные материалы, что и для получения стекла (кварцевый песок, сода, доломит, известняк, поташ, сульфат натрия и др.), но к их чистоте предъявляются очень высокие требования. Кроме того, в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке (соединения фторидов или фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов).

Технология производства изделий из ситаллов в принципе не отличается от технологии производства изделий из стекла. Здесь также используют операции подготовки сырьевых материалов, дозирования и перемешивания, варки стекла, формования изделий, отжига и закалки. Отличие лишь в дополнительной термической обработке стекла в кристаллизаторе.

Обладая поликристаллическим строением, ситаллы, сохраняя положительные свойства стекла, лишены его недостатков: хрупкости, малой прочности при изгибе, низкой теплостойкости. По своим физико-техническим свойствам ситаллы сравнимы с металлами. Прочность ситаллов при сжатии до 500 МПа. Твердость ситаллов приближается к твердости закаленной стали. Ситаллы имеют высокую стойкость к воздействию сильных кислот (кроме плавиковой) и щелочей.

В строительстве ситаллы используются для устройства полов промышленных цехов, в которых могут быть проливы кислот, щелочей, расплавов металлов, а также движение тяжелых машин. Высокую технико-экономическую эффективность дает применение ситаллов для изготовления химической аппаратуры и труб для транспортировки высоко агрессивных сред и теплообменников.

Шлакоситаллы – стеклокристаллические материалы, получаемые путем управляемой кристаллизации стекла, полученного на основе металлургических шлаков, кварцевого песка и некоторых добавок. По внешнему виду шлакоситаллы представляют собой плотные, тонкозернистые и непрозрачные материалы. Средняя плотность шлакоситаллов – 2500...2700 кг/м³, предел прочности при сжатии – до 650 МПа, при изгибе – до 120 МПа, термическая стойкость – до 750 °С, водопоглощение близкое к 0 %.

Литые каменные изделия изготавливают из расплавов горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По своей однородности и техническим свойствам литые изделия превосходят многие самые прочные природные каменные материалы.

В зависимости от используемого сырья каменное литье бывает темного и светлого цвета. Для получения изделий темного цвета применяются магматиче-

ские горные породы – базальты и диабазы, а также доменные, мартеновские шлаки и шлаки цветной металлургии. Для получения светлого каменного литья используют осадочные горные породы – доломит, известняк, мрамор и кварцевый песок.

Технология получения 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 °С, а при изготовлении светлого каменного литья – в электропечах.

Плотные литые каменные изделия имеют: пористость не более 2 %, среднюю плотность – 2900...3000 кг/м³, высокую морозостойкость, прочность при сжатии – 200...240 МПа и при растяжении – 20...30 МПа; истираемость в 5 раз меньше, чем у гранита, базальта и диабаза; высокую химическую стойкость, в том числе к воздействию концентрированных серной и соляной кислот.

В строительстве литые каменные изделия используют в особо тяжелых условиях эксплуатации (брусчатка для дорог, трубы для транспортирования агрессивных сред, облицовочные плитки для предприятий химической промышленности).

Стоимость каменного литья, особенно светлого, как и ситаллов, сравнительно высока, но производство и применение с учетом их долговечности оказываются экономически выгодными [5].

4.3.2.3. Химически стойкие изделия на основе керамики

Химически стойкие керамические изделия отличаются способностью противостоять длительному воздействию различных химических агентов в жидкой и газообразной фазе, а также переменным воздействиям нагрева и охлаждения. Такие изделия характеризуются повышенной плотностью черепка, которая обеспечивает высокую механическую прочность и непроницаемость изделий для жидкостей и газов [21].

Основным сырьем для изготовления керамических кислотоупоров служат спекающиеся тугоплавкие и огнеупорные глины. Для фарфоровых масс и для регулирования свойств керамических кислотоупорных масс применяют также каолин.

В качестве добавок, регулирующих реологические свойства масс, используют плавни (полевые шпаты, пегматит, нефелин-сиенит, отходы полевошпатных пород), отошители (шамот, бой кислотоупорных и фарфоровых изделий) и др. В качестве материалов, повышающих механическую прочность и теплопроводность изделий, применяют глинозем, карборунд, электрокорунд. Повышение термических свойств достигается введением в массу талька, дунита и карборунда.

Большинство керамических химически стойких изделий хорошо противостоит

стоит действию неорганических и органических кислот (кроме фтористоводородной и горячей фосфорной) и значительно хуже растворов щелочей.

Керамические химически стойкие изделия по структуре черепка подразделяются на две основные группы:

- с грубозернистым черепком (кислотоупорные кирпичи и плитки, термокислотоупорные плитки и др.);
- с тонкозернистым черепком (кислотоупорные трубы и фасонные части к ним, различная аппаратура и ее детали – сосуды, насосы, сифоны).

Качество керамических кислотоупорных изделий во многом определяется правильной дозировкой исходных компонентов и тщательным их смешением. Приготовленная масса должна быть однородной с равномерным распределением отошающих материалов и плавней между частицами глинистых компонентов, а также должна иметь одинаковую влажность во всех своих частях.

В зависимости от вида и состава шихты, а также метода их формования в производстве кислотоупоров применяют следующие способы приготовления массы: пластический, полусухой и шликерный.

Пластический способ приготовления масс имеет самое широкое распространение. Этот метод применяют при производстве кирпича, плиток и многих видов керамической химической аппаратуры. Способом *полусухого прессования* изготавливают кислотоупорные кирпичи и плитки. Для изготовления химической аппаратуры повышенной плотности применяют *шликерный способ* подготовки.

В зависимости от вида химически стойких изделий и способа подготовки массы формование осуществляется следующими способами:

- пластическим формованием на вакуум-прессах без последующей допрессовки или с допрессовкой на механических прессах (кирпичи, плитки, трубы, заготовки для формования химической аппаратуры);
- полусухим прессованием на механических прессах (кирпичи, плитки);
- литьем в гипсовые формы (химическая аппаратура из фарфоровых масс).

Отформованные керамические химически стойкие изделия подвергают сушке в сушилках камерного и туннельного типа, в которых в качестве теплоносителя используются нагретые газы или горячий воздух. Получила широкое распространение радиационная сушка лампами инфракрасного излучения.

Обжигают химически стойкие изделия в основном в печах туннельного типа. Для керамических кислотоупоров температура обжига составляет 1180...1280 °С, для фарфоровых изделий – 1320...1410 °С.

Свойства кислотоупорных керамических изделий приведены в табл. 4.19.

Основные свойства химически стойких изделий

Свойства	Керамические изделия		
	с грубозернистым черепком	с тонкозернистым черепком	из твердого фарфора
Водопоглощение, %	2...10	0,2...3,0	0...0,2
Средняя плотность, кг/м ³	2000...2170	2100...2250	2300...2400
Предел прочности, МПа:			
при сжатии	30...90	80...150	400...500
при изгибе	10...20	25...70	-
при растяжении	6...10	15...25	25...30
Кислотостойкость, %	95...98	97...99,5	99,5...99,7
Термостойкость (количество теплосмен*)	2...20	2...30	Более 15
Коэффициент термического расширения, 10 ⁻⁶	2,5...5,5	2,5...6,0	4,0...6,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,8...1,16	1,4...2,8	-

Кислотоупорный кирпич изготавливается четырех форм: прямой размером 230×113×65 мм, клиновой (торцовый и ребровый) размером 230×113×65×55 мм, радиальный (поперечный и продольный) и фасонный.

Основным сырьем для изготовления кислотоупорного кирпича служат спекающиеся при 1100...1250 °С тугоплавкие и огнеупорные глины. Обычно такие глины являются средне- или умереннопластичными, поэтому в зависимости от их пластичности, величины воздушной и огневой усадки в массу вводят 20...40 % шамота.

Основными свойствами кирпича являются кислотостойкость (не менее 96...98,5 %), прочность при сжатии (35...60 МПа) и термическая стойкость (5...25 теплосмен).

Применяют кислотоупорный кирпич для футеровки аппаратов больших размеров (башни, резервуары), желобов, газоходов на химических заводах, а также для кладки фундаментов аппаратов, колонок, выкладки решеток в нижней части башен.

Кислотоупорные плитки получают из кислотоупорных масс, в которые вводят шамот размером 2...3 мм. В некоторые массы с целью получения заданной плотности и прочности вводят пиррофиллит, пегматит и другие компоненты.

Кислотоупорные плитки производятся шести марок: кислотоупорные фарфоровые – КФ, термокислотоупорные дунитовые – ТКД, термокислотоупорные для гидролизной промышленности – ТКГ, кислотоупорные для строи-

* Термическая стойкость – количество теплосмен последовательного нагрева материала до 350 °С и охлаждения в проточной воде.

тельных конструкций – КС, кислотоупорные шамотные – КШ и термокислотоупорные шамотные – КШ. В табл. 4.20 приведены составы плиточных масс.

Таблица 4.20

Составы масс для изготовления кислотоупорных плиток

Компоненты	Содержание компонентов, %				
	для кислотоупорных плиток			для термокислотоупорных плиток	
Глина	52...80	70	50	48	42
Пирофиллит	-	-	20	-	-
Пегматит	-	10	-	-	-
Шамот	20...43	20	30	40	40
Тальк	-	-	-	12	8
Каолин	-	-	-	-	10

По форме плитки бывают: квадратные плоские, квадратные радиальные, прямоугольные, клиновые и спаренные. С одной стороны плитки имеют ребристую поверхность, обеспечивающую лучшее сцепление с футеруемой конструкцией. Размеры плиток меняются в пределах: длина и ширина – 50...200 мм, толщина – 10...50 мм.

Основные свойства плиток различных марок приведены в табл. 4.21.

Таблица 4.21

Технические требования к кислотоупорным плиткам

Основные свойства	Плитки		
	кислотоупорные К	термокислотоупорные ТК	для гидролизной промышленности
Кислотостойкость, % не менее, для плиток толщиной, мм:			
до 10	98	-	-
от 10 до 30	97	97	-
свыше 30	96	96	97
Водопоглощение, % не более, для плиток толщиной, мм:			
до 30	6	7	-
30	7	9	-
35	-	-	6
50	-	-	8
Предел прочности, МПа, не менее:			
при сжатии	30	30	30
при изгибе	15	15	-
Термическая стойкость (количество теплосмен), не менее	2	8	10

Помимо свойств, перечисленных в табл. 4.21, плитки должны иметь правильную форму, четкие грани. Рабочая сторона должна быть гладкая, без впа-

дин, выпуклостей. В изломе плитки должны иметь мелкозернистое строение, без пустот, трещин и посечек.

Кислотоупорные плитки применяют для футеровки аппаратов, работающих без резких температурных перепадов, различных емкостей, а также для покрытия полов, облицовки стен, желобов и др.

Термокислотоупорные плитки применяют для футеровки варочных котлов сульфатцеллюлозной и гидролизной промышленности и некоторых других аппаратов, работающих при переменном температурном режиме.

Изделия для химической аппаратуры в зависимости от вида и назначения изготавливают из тонкозернистых шамотированных масс с добавкой плавней для повышения их плотности, прочности и кислотоустойчивости.

В зависимости от размеров и формы изделия формуют следующими способами:

- 1) пластическим формованием на вакуум-прессах;
- 2) формованием в гипсовых формах;
- 3) формованием в вакуум-прессах с доформовкой в гипсовых формах или обточкой на токарных станках;
- 4) литьем в гипсовые формы.

Изделия химической аппаратуры по конструкции и условиям эксплуатации подразделяются на два типа:

- аппараты без движущихся частей (различные емкости, башни, теплообменники и др.);

- аппараты с движущимися частями (реакционные аппараты с мешалками, насосы, эксгаустеры и др.).

К аппаратам без движущихся частей относятся аппараты открытого и закрытого типа, аппараты, работающие под давлением или вакуумом, теплообменная аппаратура, трубы и арматура. К аппаратам открытого типа относятся различные сосуды, котлы, ванны и др. (рис. 4.2).

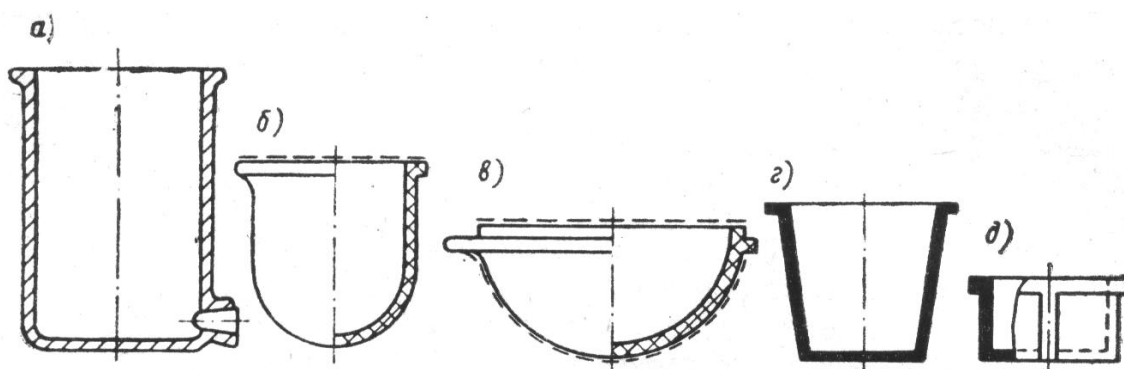


Рис. 4.2. Керамическая химически стойкая аппаратура открытого типа:
а – сосуд цилиндрической формы; б – котел; в – чаша;
г – сосуд конический; д – ванна

Сосуды цилиндрические и конические применяют для хранения агрессивных жидкостей. Их изготавливают различных емкостей – от 5 до 200 л. Ванны керамические применяют для отстоя, кристаллизации, приготовления растворов в различных химических и других производствах. Для выпаривания, концентрирования растворов и кристаллизации солей изготавливают выпарные чаши и котлы различных форм и размеров (см. рис. 4.2). Такие чаши и котлы большей частью изготавливают из фарфора. Они получили широкое применение в производстве химико-фармацевтических препаратов, чистых реактивов и в пищевой промышленности. Чаши фарфоровые выпускают емкостью от 10 до 150 л, котлы – от 15 до 150 л, керамические котлы – от 25 до 600 л.

Аппаратами закрытого типа (рис. 4.3) являются баллоны и сосуды для хранения и транспортирования кислот [21].

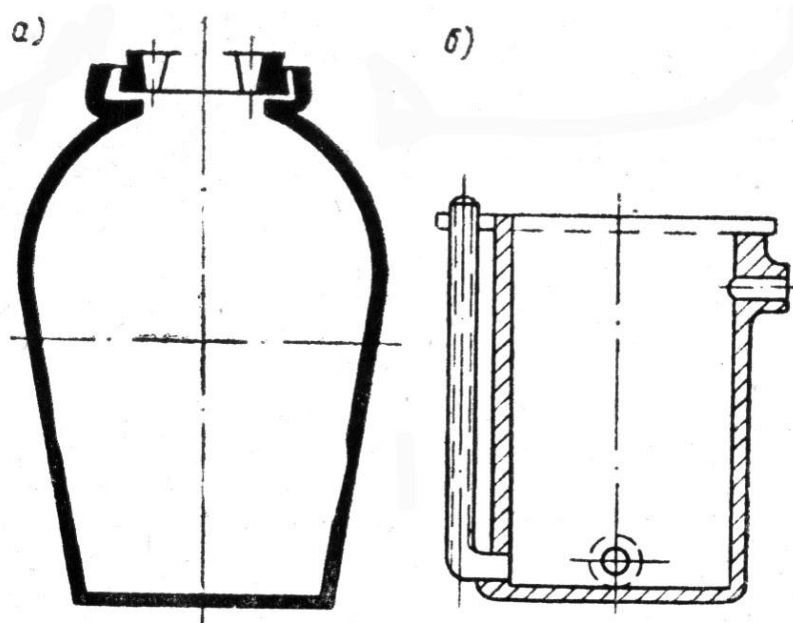


Рис. 4.3. Керамическая химически стойкая аппаратура закрытого типа:
а – сосуд для транспортирования кислот; *б* - мерник

Для процессов, в которых необходимо обеспечить тесный контакт между агрессивными газом и жидкостью (сушка и очистка газов, адсорбция, концентрация и др.), используют керамические башни. Такие башни являются основными аппаратами, применяемыми при конденсации соляной и органических кислот (уксусная, муравьиная и др.), а также для осушки хлора и сернистого газа.

В качестве теплообменных керамических аппаратов наибольшее применение получили змеевики-холодильники. Их используют для конденсации агрессивных паров и газов, охлаждения, подогрева и других целей.

Для химических процессов, требующих смешения компонентов применяют реакционные аппараты с мешалками. Реакционный аппарат представляет сосуд с крышкой. Через отверстие в крышке проходит керамический вал с ло-

пастями. Для подогрева и охлаждения корпус аппарата помещают в стальную рубашку, в которой имеется змеевик. Выгрузка продуктов из аппарата осуществляется с помощью сифона либо через специальный штуцер в дне.

Для перекачивания растворов кислот (кроме плавиковой и фосфорной) с температурой до 80 °С, а также холодных растворов щелочей применяют различные типы насосов. Рабочие элементы насосов изготавливают из керамической массы, содержащей корунд, или из твердого фарфора; корпус – из спекшейся керамической массы или твердого фарфора. Все остальные детали изготавливают из стали и чугуна, покрытые кислотостойкой эмалевой краской.

Для отсасывания и транспортирования агрессивных паров и газов изготавливают керамические эксгаустеры, которые в зависимости от расположения всасывающего и выхлопного патрубков, направления паров и газов подразделяют на угловые и горизонтальные аппараты.

Для транспортирования агрессивных жидкостей и газов применяют керамические трубопроводы, монтируемые из кислотоупорных труб, которые по способу их соединения изготавливают двух типов: раструбные и с коническими фланцами. Наибольшее распространение при изготовлении трубопроводов имеют трубы с коническими фланцами, которые соединяют с помощью металлических хомутов, обеспечивающих герметичность стыка. Такие трубопроводы используют при работе под некоторым давлением или вакуумом. В трубопроводах, работающих без давления или вакуума, используют раструбные трубы, которые стыкуют, уплотняя места соединения конца ствола одной трубы в раструбе второй асбестовым шнуром с битумом, гудроном или замазками.

Кислотоупорные трубы обоих типов производят диаметром от 25 до 300 мм и длиной 300, 500, 700 и 1000 мм. Помимо прямых труб выпускают фасонные части, позволяющие менять направление трубопровода, а также регулировать количество транспортируемых жидкостей и газов.

Для регулирования и отключения подачи жидкостей или газов в трубопроводах и аппаратах применяют керамические спускные, проходные и трехходовые краны диаметром от 10 до 150 мм.

Независимо от вида продукции завершающей стадией производства изделий химической аппаратуры является механическая обработка. От качества механической обработки зависят точность сочленения и герметичность соединений отдельных деталей, а также точность монтажа аппаратов и коммуникационных линий. Основными видами механической обработки изделий являются:

- шлифование;
- обточка;
- притирка.

Трубы и фасонные части к ним, детали запорной арматуры и другие изделия подвергают шлифованию. Обточкой обрабатывают некоторые детали насосов, эксгаустеров и других изделий со сложной конфигурацией, а притиркой – детали кранов, вентилялей и др.

Процесс механической обработки керамической и фарфоровой аппарату-

ры, которая характеризуется высокой твердостью, абразивностью и хрупкостью, является весьма сложным и трудным процессом, требующим применения соответствующего оборудования, инструментов, абразивных материалов.

Механическую обработку изделий керамической и фарфоровой аппаратуры осуществляют на различных типах шлифовальных и токарных станков, которые используются для обработки металлов. Режущим инструментом в таких станках служат шлифовальные круги и резцы из твердых сплавов.

Кроме того, применяется ультразвуковой способ обработки керамических деталей. Он используется для обработки глухих и сплошных отверстий различной конфигурации (шпоночных и шлицевых пазов, узких щелей, квадратов, срезов и др.). Ультразвуковой обработкой можно получить 8...10 класс чистоты поверхности и высокую точность (до 0,01 мм).

4.3.2.4. Химически стойкие изделия на основе жидкого стекла

Растворимое стекло представляет собой водный раствор силиката натрия или силиката калия ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$).

Это стекло получают варкой кварцевого песка и соды в стекловаренных печах при температуре 1300...1400 °С. При застывании расплава образуются твердые полупрозрачные куски, называемые силикат-глыбой. В строительстве растворимое стекло применяют обычно в жидком виде и называют жидким стеклом. Жидкое стекло получают растворением силикат-глыбы водяным паром в автоклаве.

Жидкое стекло используют для приготовления кислотоупорного цемента (смесь водного раствора жидкого стекла с молотым кварцевым песком и ускорителем твердения), которым покрывают поверхности химических резервуаров. Натриевое жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупорных и огнеупорных бетонов, для уплотнения грунтов. Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных красках и мастиках.

4.3.2.5. Химически стойкие изделия из кислотоупорного цемента и бетона

Кислотоупорный цемент – порошкообразный материал, получаемый путем совместного помола чистого кварцевого песка или другого кислотоупорного материала (кварцита, диабазы, андезита) с ускорителем твердения – кремнефтористым натрием Na_2SiF_6 .

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.

Кислотоупорный цемент способен сопротивляться действию большинства минеральных и органических кислот (кроме фтористоводородной, кремнефтористоводородной и фосфорной).

Схватывается кислотоупорный цемент в течение 0,3...0,8 ч, его кислотоустойчивость – не менее 93 %. Величина предела прочности 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 температур ниже -20°C .

Кислотоупорный бетон изготавливают на жидком стекле с полимерной добавкой. В качестве отвердителя используют кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 . Для повышения плотности бетона в его состав вводят наполнители – кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабазы и др. В качестве заполнителей используют кварцевый песок, щебень из гранита, кварцита и других стойких пород.

После укладки и уплотнения вибрированием кислотоупорный бетон необходимо выдержать не менее 10 суток на воздухе. После затвердевания рекомендуется смочить поверхность бетона («окислить») раствором серной или соляной кислот.

Кислотоупорный бетон хорошо выдерживает действие концентрированных кислот, вода способна разрушить его за 5...10 лет.

Основное применение кислотоупорный бетон нашел в качестве защитных кислотоупорных слоев по железобетону и металлу.

4.4. Общие сведения, свойства и разновидности материалов для защиты от радиации

4.4.1. Общие сведения

В связи с ускоренным развитием атомной энергетики резко увеличилось число предприятий промышленности, которые в технологических процессах используют радиоактивные вещества и разнообразные источники ионизирующих излучений. Поэтому для защиты от радиации необходимы специальные материалы, которые ослабляют потоки ионизирующих излучений до уровней, регламентируемых санитарными нормами.

Как известно, атомное ядро состоит из элементарных частиц – протонов и нейтронов. Протонно-нейтронная модель ядра была впервые предложена российским ученым Д.Д. Иваненко, а впоследствии развита В. Гейзенбергом.

Протон p имеет положительный заряд, равный заряду электрона и массу

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1836 \cdot m_e,$$

где m_e – масса электрона.

Нейтрон n – нейтральная частица с массой

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1839 \cdot m_e.$$

Протоны и нейтроны называются нуклонами (от лат. nucleus – ядро). Между нуклонами, составляющими ядро, действуют особые, специфические для ядра силы, называемые **ядерными силами**.

С помощью экспериментальных данных по рассеиванию нуклонов на ядрах, по ядерным превращениям и т.д. было доказано, что ядерные силы намного превышают кулоновские силы отталкивания, гравитационные, электрические и магнитные взаимодействия.

Открыл радиоактивное излучение в 1896 г. французский физик А. Беккерель при изучении люминесценции солей урана. Он случайно обнаружил, что эти соли самопроизвольно испускают излучение неизвестной природы, которое действовало на фотопластинку, ионизировало воздух, проникало сквозь тонкие металлические пластинки, вызывало люминесценцию ряда веществ.

Продолжая исследования этого явления, супруги Мария и Пьер Кюри обнаружили, что беккерелевское излучение свойственно не только урану, но и многим другим тяжелым элементам, таким как торий Th, актиний Ac, полоний Po и радий Ra.

Обнаруженное излучение было названо **радиоактивным излучением**, а само явление – испускания радиоактивного излучения – **радиоактивностью**. В настоящее время под радиоактивностью понимают самопроизвольный распад атомных ядер химических элементов, сопровождающийся испусканием ионизирующих излучений [22, 23].

Радиоактивность подразделяется на *естественную* (наблюдается у неустойчивых изотопов, существующих в природе) и *искусственную* (наблюдается у изотопов, полученных посредством ядерных реакций). Принципиально различия между этими двумя типами радиоактивности нет, так как законы радиоактивного превращения в обоих случаях одинаковы.

Радиоактивные изотопы – неустойчивые, распадающиеся изотопы химических элементов. Известно более 50 природных и более 1000 радиоактивных изотопов, полученных с помощью ядерных реакций, происходящих под воздействием излучения, а также распада ядер делящихся изотопов.

Радиоактивные вещества – вещества, в состав которых входят природные или искусственные радиоактивные изотопы.

Заряженные частицы, обладающие достаточной кинетической энергией, чтобы при столкновении-взаимодействии ионизировать атомы среды, называют непосредственно ионизирующими частицами. К косвенно ионизирующим частицам относят незаряженные частица (нейтроны, фотоны и др.), которые в результате столкновений-взаимодействий с атомами среды могут образовывать непосредственно ионизирующие частицы или вызывать ядерные превращения. Излучения, состоящие из непосредственно или косвенно ионизирующих частиц

или их смеси, называют **ионизирующими излучениями**.

Ультрафиолетовое излучение и видимый свет не относятся к ионизирующим излучениям.

Помимо ионизирующего излучения выделяют и другие виды излучений.

Рентгеновское излучение – совокупность тормозного и характеристического излучений, диапазон энергии фотонов которых составляет 1 кэВ...1 МэВ (мега электрон-вольт*). *Тормозное излучение* – фотонное излучение с непрерывным спектром, испускаемое при изменении кинетической энергии заряженных частиц. *Характеристическое излучение* – фотонное излучение с дискретным спектром, испускаемое при изменении энергетического состояния атома.

Корпускулярное излучение – ионизирующее излучение, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа- и бета-частицы, протоны, нейтроны и др.).

Способность материалов противостоять воздействию интенсивных потоков радиационного излучения, изменяющего его структуру и свойства, называется **радиационной стойкостью**. Под воздействием радиоактивного излучения у металлов заметно возрастает предел текучести, у углеродистой стали и алюминиевых сплавов уменьшается пластичность, у керамических материалов уменьшается плотность, проявляются признаки аморфизации структуры, стекло окрашивается.

Изменение структуры и свойств материалов под воздействием ионизирующих излучений зависит от двух главных факторов: характеристики исходного вещества (химического и фазового составов, структуры, строения и свойств материала) и вида радиационных нагрузок (компонентный и энергетический составы ионизирующих излучений, плотность их потоков, интенсивность, условий облучений).

4.4.2. Виды радиоактивного излучения

Радиоактивное излучение бывает трех типов: α , β и γ -излучение. Подробное их исследование позволило выяснить природу и основные свойства.

α -излучение представляет собой поток ядер гелия, перемещающихся со скоростью 20 000 км/с. Заряд α -частицы равен $+2e$, а масса совпадает с массой ядра изотопа гелия ${}^4_2\text{He}$. α -излучение отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью, например, поглощается слоем алюминия толщиной 0,05 мм.

β -излучение представляет собой поток быстрых электронов, сильно рассеивающихся в веществе. Скорость такого излучения равна скорости света (300 000 км/с). β -излучение отклоняется электрическим и магнитным полями, его ионизирующая способность значительно меньше, а проникающая способность гораздо больше (поглощается слоем алюминия толщиной примерно

* 1 МэВ = 1 млн эВ = $1,602 \cdot 10^{13}$ Дж.

2 мм), чем у α -частиц.

γ -излучение – электромагнитное (фотонное) излучение, имеющее скорость света с чрезвычайно малой длиной волны ($\lambda < 10^{-10}$ м). Не отклоняется электрическими и магнитными полями, обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью, например проходит через слой свинца толщиной 5 мм. Экспериментально установлено, что γ -излучение не является самостоятельным видом радиоактивности, а только сопровождает α - и β -распады, а также возникает при ядерных реакциях, при торможении заряженных частиц, их распаде и др.

4.4.3. Методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц

Практически все методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений (α , β , γ) и частиц основаны на их способности производить ионизацию и возбуждение атомов среды. Заряженные частицы вызывают эти процессы непосредственно, а γ -кванты и нейтроны обнаруживаются по ионизации, вызываемой возникающими в результате их взаимодействия с электронами и ядрами атомов среды быстрыми заряженными частицами. Вторичные эффекты, сопровождающие рассмотренные процессы, такие как вспышка света, электрический ток, потемнение фотопластинки, позволяют регистрировать пролетающие частицы, считать их, отличать друг от друга и измерять их энергию.

Приборы, применяемые для регистрации радиоактивных излучений и частиц, делятся на две группы:

1) приборы, позволяющие регистрировать прохождение частицы через определенный участок пространства и в некоторых случаях определять ее характеристики, например энергию. К таким приборам относятся сцинтилляционный счетчик, черенковский счетчик, импульсная ионизационная камера, газоразрядный счетчик, полупроводниковый счетчик и др.;

2) приборы, позволяющие наблюдать, например, фотографировать следы частиц в веществе. К данной группе приборов относятся камера Вильсона, диффузионная камера, пузырьковая камера, ядерные фотоэмульсии и др.

4.4.4. Источники ионизирующих излучений

Главными источниками ионизирующего излучения, используемыми в ядерной технике и других областях производства и энергетики, являются: радиоактивные изотопы, ускорители заряженных частиц. При эксплуатации этих основных источников образуются дополнительные источники – в большинстве случаев радиоактивные отходы.

Основными загрязнителями (рис. 4.4) окружающей среды ионизирующими излучениями являются объекты промышленности, атомные электростанции, ядерные взрывы и др.

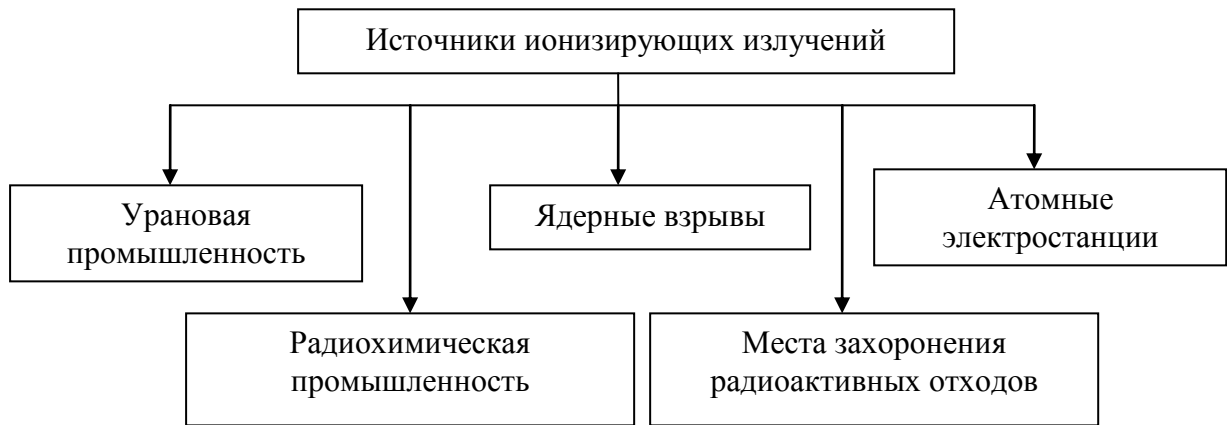


Рис. 4.4. Виды источников ионизирующих излучений

Главным источником ионизирующего излучения в атомных электростанциях (АЭС) является ядерный реактор. Однако, наряду с ядерным реактором, на АЭС существует целый ряд источников ионизирующего излучения. Они делятся на три основные группы:

- трубопроводы и технологическое оборудование, непосредственно связанное с системой охладителей реактора;
- отработанное ядерное топливо;
- радиоактивные отходы, образующиеся в процессе эксплуатации АЭС.

Радиоактивные отходы делятся на *газообразные* (аэрозоли), *жидкие* (образующиеся из воды теплоносителя; охладителя; растворов, используемых для обработки радиоактивных материалов реактора и дезактивации оборудования и помещений; выпусков дренажных активных вод; воды от промывки санитарных шлюзов и др.) и *твердые* (различного рода материалы рабочей области реактора; охлаждающие трубопроводы; загрязненные аппараты, оборудование, инструменты, приборы, рабочая спецодежда, обувь и другие предметы).

4.4.4.1. Ядерные реакторы

Большое значение в ядерной энергетике приобретает возможность управления ядерными реакциями. Устройства, в которых осуществляется и поддерживается управляемая цепная реакция деления, называются ядерными **реакторами** [20].

Пуск первого реактора в мире осуществлен в Чикагском университете в 1942 г. под руководством Э. Ферми, в России – в Москве в 1946 г. под руководством И.В. Курчатова.

Ядерный реактор является мощным источником проникающей радиации (нейтроны, γ -излучение), примерно в 10^{11} раз превышающей санитарные нормы. Поэтому любой реактор имеет защиту – систему экранов из специальных материалов, которая располагается за отражателем.

Ядерные реакторы различаются по нескольким признакам:

1. по характеру основных материалов, находящихся в активной зоне (ядерное топливо, замедлитель, теплоноситель); в качестве сырьевых веществ используются $^{235}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{233}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$, $^{232}_{90}\text{Th}$; в качестве замедлителей – вода (обычная и тяжелая), графит, бериллий, органические жидкости и т.д.; в качестве теплоносителей – воздух, вода, водяной пар, гелий, углекислый газ и др.;
2. по характеру размещения ядерного топлива и замедлителя в активной зоне:
 - гомогенные, когда оба вещества равномерно смешаны друг с другом;
 - гетерогенные, когда оба вещества располагаются порознь в виде блоков.
3. по энергии нейтронов:
 - реакторы на тепловых нейтронах;
 - реакторы на быстрых нейтронах.
4. по режиму работы:
 - непрерывные;
 - импульсные.
5. по назначению:
 - энергетические;
 - исследовательские;
 - реакторы для производства новых делящихся материалов, радиоактивных изотопов.

Впервые ядерная энергия в мирных целях была использована в СССР. В Обнинске в 1954 г. под руководством И.В. Курчатова была введена в эксплуатацию первая атомная электростанция мощностью 5МВт.

Создание ядерных реакторов привело к промышленному применению ядерной энергии. Энергетические запасы ядерного горючего в рудах примерно на два порядка превышают запасы других видов топлива. Применение энергии ядерных реакций, с одной стороны, позволит снизить стоимость электроэнергии, а с другой – решит энергетическую проблему на несколько столетий и позволит использовать сжигаемые сейчас нефть и газ в качестве ценного сырья для химической промышленности.

В СНГ помимо создания мощных АЭС (например, Нововоронежской общей мощностью 1500 МВт, первой очереди Ленинградской с двумя реакторами по 1000 МВт) большое внимание уделяется созданию небольших АЭС мощностью 750...1500 кВт, удобных для эксплуатации в специфических условиях, а также способствующих решению задач малой ядерной энергетики. Так, построены первые в мире передвижные АЭС, создан первый в мире реактор, в котором с помощью полупроводников происходит непосредственное преобразование тепловой энергии в электрическую.

4.4.5. Основные виды материалов для радиационной защиты

Конструкции, используемые для возведения атомных реакторов и других сооружений ядерной техники помимо ионизирующего излучения, находятся

под действием высоких температур (иногда свыше 350 °С), давления (0,5 МПа), влажности (20...100 %) и ряда других факторов, которые необходимо учитывать при их проектировании.

Для возведения защитных конструкций от ионизирующего излучения рекомендуется применять следующие материалы: растворы, бетоны, металлы, природные каменные материалы и керамические материалы. О защитных свойствах этих материалов можно судить по их характеристике, представленной в табл. 4.22.

Таблица 4.22

Характеристики материалов для защиты от радиоактивного излучения

Наименование материалов	Средняя плотность, кг/м ³	Содержание химических элементов, кг/м ³											Коэффициент ослабления излучения, 1/м
		H	O	C	Na	Mg	Al	Si	Ca	Fe	S	F	
Сталь	7800	-	-	-	-	-	-	-	-	7800	-	-	28
Тяжелый бетон	2350	8	1275	-	-	-	110	774	137	46	-	-	8,52
Магнезитовый бетон	2550	-	1042	7	34	1225	12	91	87	25	8	18	9,25
Песок	1738	-	860	8	70	14	105	595	42	44	-	-	6,34
Гранит	2500	8	1240	-	-	33	127	783	139	156	13	-	9,07
Диабаз	3000	2	1342	-	-	210	270	685	186	304	-	-	10,85
Базальт	3000	2	1389	-	-	183	291	785	250	126	-	-	10,85
Андезит	2500	2	1195	-	-	186	265	690	21	140	-	-	9,07
Мрамор	2500	4	1232	301	-	30	-	-	946	11	-	-	9,07
Известняк	2400	-	1175	253	-	14	11	22	909	10	3	-	8,7
Кирпич керамический	1800	-	960	3	-	4	248	538	29	18	-	-	6,55
Кирпич силикатный	1850	4	973	-	-	-	-	792	81	-	-	-	6,72

Для защиты от рентгеновского излучения применяют специальный **рентгенозащитный раствор**. Его готовят на баритовом песке (BaSO₄) максимальной крупностью до 1,25 мм, портландцементе или шлакопортландцементе. В состав раствора также вводят добавки, содержащие легкие элементы: бор, литий и др.

Баритовые защитные штукатурки в настоящее время являются наиболее

дешевым и эффективным элементом защиты, заменяющим дорогой и дефицитный свинец. Широкое применение баритовые растворы находят в рентгеновских лабораториях, а также в различных научных, промышленных и медицинских учреждениях.

Наибольшее распространение по сравнению с другими материалами в радиационной защите получили **бетон и железобетон**. Это объясняется тем, что свойства бетонных и железобетонных изделий можно легко изменять. В качестве вяжущего в таких бетонах применяется портландцемент или шлакопортландцемент, которые при гидратации выделяют небольшое количество теплоты. В качестве заполнителей используют тяжелые природные или искусственные материалы. Для особо тяжелого бетона применяют железные руды - магнетит Fe_3O_4 и гематит Fe_2O_3 , а также бурый железняк (лимонит) $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, баритовые руды $BaSO_4$, отходы металлообрабатывающих заводов и чугунную дробь.

В табл. 4.23 приведен перечень материалов, применяемых для изготовления радиационнозащитных бетонов, и максимальная температура применения таких бетонов.

Таблица 4.23

Список материалов для обычных тяжелых и особо тяжелых бетонов радиационной защиты

Исходные материалы, применяемые в бетоне		Средняя плотность бетона в высушенном состоянии, кг/м ³	Максимальная температура применения бетона, °С
вяжущее	заполнитель		
Портландцемент (шлакопортландцемент)	Гранит, доломит, известняк, сиенит, природный песок	2300	200
Портландцемент (шлакопортландцемент)	Андезит, базальт, диабаз, диорит	2300	350
Портландцемент (шлакопортландцемент)	Отвальный доменный шлак	2400	350
Глиноземистый цемент	Хромитовый	2800	1400
Высокоглиноземистый цемент	Хромитовый	3050	1500

Для придания бетонам заданных свойств (жаростойкость, химическая стойкость, прочность, усадка) в их состав вводят различные добавки: хромитовые и магнетитовые руды, серпентин.

Составы бетонов на различных заполнителях и их свойства представлены в табл. 4.24...4.31.

Таблица 4.24

Свойства и составы лимонитовых бетонов

Бетон	Состав бетонной смеси, кг/м ³					Средняя плотность бетона, г/см ³	Содержание химически связанной воды, кг/м ³	Содержание Fe, кг/м ³	Прочность, МПа		Усадка бетона, мм/м
	цемент	вода	заполнитель		добавки				при сжатии	при растяжении	
			мелкий	крупный							
Лимонитовый	360	185	610	1580	-	2,65	303	1220	21,2	-	-
	375	240	380	1534	-	2,435	311	980	20,6	-	1,063
	320	185	650	950	1450*	3,45	280	2200	19,5	-	-
	340	230	520	1200	1450*	3,68	363	2340	25,3	3,37	0,613
	390	257	455	715	1755**	3,50	198	2355	32,4	4,58	-
	340	190	750	550	1900***	3,73	203	2390	27,3	3,68	0,580
	300	200	718	1110	1020**	3,27	195	1850	18,2	-	-
	360	200	610	920	1370**	3,38	276	2180	27,5	4	0,716
Лимонит + магнетит	380	210	530	410	1860	3,28	195	1610	30,4	4,66	0,469

Примечания: * Чугунная дробь,

** Обрезки арматурной стали,

*** Крица (металлургическое сырье, получаемое при обогащении железной руды; крица может быть в виде пыли, песка, гравия. либо в виде обломков различной формы и размеров).

Таблица 4.25

Свойства и составы серпентинитовых бетонов

Заполнитель (мелкий + крупный)	Количество материалов на 1 м ³ бетона, кг				В/Ц	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
	цемент	песок	щебень	вода			
Серпентинит	290	588	1140	232	0,80	2250	14,3
	216	660	1280	173	0,80	2330	14,3
	212	650	1260	190	0,90	2310	12,6
	210	640	1250	210	1,00	2310	10,6
	205	627	1222	246	1,20	2300	8,5
	290	594	1154	232	0,80	2270	14,0
	290	588	1140	200	0,70	2220	21,5
Гематит + серпентинит	242	736	1436	186	0,80	2600	20,1
Серпентинит + металлолом	250	800	3000	130	0,52	4200	23,0

Таблица 4.26

Свойства и составы серпентинитовых бетонов

Состав бетонной смеси, кг/м ³				Содержание Fe, кг/м ³	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	
цемент	вода	заполнитель					добавки
		мелкий	крупный				
350	220	567*	1405	-	2520	17,7	
330	160	546*	1425	-	2280	32,5	
350	160	540*	1404	-	2420	24,6	
360	160	502	620	1420**	974	3000	32,2
330	150	480	480	1420**	1176	3130	34,5
380	175	510	585	1635***	1510	3270	29,9

Примечания: * В качестве мелкого заполнителя использовался природный кварцевый песок. Во всех остальных случаях использовался серпентинит,

** В качестве добавки применялся магнезит,

*** В качестве добавки применялась крица.

Таблица 4.27

Составы и свойства баритовых бетонов

Состав бетонной смеси, кг/м ³					Средняя плотность бетона, г/см ³	Прочность на сжатие, МПа	Усадка, мм/м
цемент	вода	Баритовые заполнители		Прочие заполнители			
		мелкие	крупные				
350	150	960	2260*	-	3,64	31,2	-
350	190	1050	1750	-	3,25	-	-
300	175	1000	1410	1200	3,99	16	-
400	250	1000	1000	1600**	4,18	32,5	-
300	175	-	1130	1200**	3,93	15,5	-
300	120	1430	1900	1200***	3,55	34	0,230
310	170	1100	2140	-	3,65	26,6	0,250
350	110	1680	-	2800**	4,20	49	-
300	155	750	1920	-	3,04	31,5	0,587
320	170	720	1820	-	2,94	32,4	0,860
350	185	825	1550	850**	3,71	32,5	0,342
395	195	935	1875		3,30	33,6	-
380	180	840	1690	650**	3,63	31,8	-
372	193	945	1675		3,10	23,5	-
300	175	900	1850		3,11	26	-
340	160	720	1740	700****	3,57	33,6	0,433

Примечания: * Барит плотностью 4,29 г/см³,

** Отходы стали,

*** Магнетитовый песок плотностью 4,97 г/см³,

**** Металлургическая крица.

Таблица 4.28

Свойства и составы магнетитовых бетонов

Состав бетонной смеси, кг/м ³					Средняя плотность бетона, г/см ³	Прочность, МПа	
цемент	вода	Мелкий магнетитовый заполнитель	Крупный магнетитовый заполнитель	Прочие заполнители		на сжатие	на растяжение
350	150	977	2030	-	3,46	-	-
350	140	-	2030	1862*	4,36	-	-
300	150	900	2000	-	3,25	31	7
350	150	1350	2350	-	4,1	47	8
300	300	650	2100	-	3,1	12-20	-
500	202	1210	1480	-	3,40	42,6	-
300	150	1000	2260	-	3,45	30	3,16
318	175	670	1070	2560	4,8	35	-
320	175	67	1920	1720	4,2	34	-
280	155	590	2800	-	3,9	35	-
301	171	643	2380	1055**	3,55	30,9	3,39
400	216	1044	1185	754**	3,58	40,7	4,78
501	202	1214	1483	-	3,4	42,5	6,61
425	155	800	500	3350	5,18	30,9	-
417	162	950	1240	1805***	4,50	34,5	-
435	163	835	-	3830****	5,26	39,8	-
410	170	910	1220	1750****	4,41	40,5	-
420	180	1050	900	2000****	4,35	37,2	-
320	170	630 + 310*****	1600 + 800****	-	3,75	33,9	3,6

Примечания: * Чугунная дробь,
 ** Лимонит,
 *** Металлургическая крица,
 **** Обрезки арматурной стали,
 ***** Магнетит + барит.

Таблица 4.29

Состав и плотность 1 м³ тяжелого бетона на гематитовой руде

Состав бетона	Средняя плотность, кг/м ³
Цемент 300 и 400 (плотность 3,1т/м ³)	300
Мелкий заполнитель с частицами размером 0,15...5 мм из гематитовой руды (плотность 4,1т/м ³)	1100
Крупный заполнитель щебень, получаемый путем дробления гематитовой руды (плотность 4,84 т/м ³)	2140
Вода затворения В/Ц= 0,65	195
ВСЕГО	3735

Таблица 4.30

Составы тяжелого бетона на гематитовой руде с добавкой кварцевого песка [20]

Марка бетона	Состав бетона	Масса, кг	Марка бетона	Состав бетона	Масса, кг
90	Цемент	300	90	Цемент	300
	Обычный песок	425		Песок из руды	600
	Песок из руды	647		Щебень из руды	2200
	Вода	200		Вода	200
90	Цемент	300	100	Цемент	300
	Обычный песок	370		Обычный песок	600
	Вода	200		Щебень из руды	2330
				Вода	200

Таблица 4.31

Составы специальных тяжелых бетонов

Состав	В/Ц = 0,43		В/Ц = 0,35		В/Ц = 0,31	
	Количество, кг/м ³	Объем	Количество, кг/м ³	Объем	Количество, кг/м ³	Объем
Дробь	2637	0,3541	2617	0,3511	2605	0,3495
Обрезки железа	2637	0,3494	2617	0,3464	2605	0,3448
Цемент	395	0,1260	446	0,1440	491	0,1557
Вода	170	0,1705	158	0,1585	150	0,1500
ВСЕГО	5839	1,0000	5838	1,0000	5851	1,0000

Механические свойства особо тяжелых магнетитовых, гематитовых, лимонитовых и баритовых бетонов близки. Такие виды бетонов имеют марки по прочности М100, М200 и М300, при этом марки на осевое растяжение составляют 10 и 20.

Помимо марки по прочности бетон для защиты от ионизирующего излучения должен иметь относительно низкий модуль упругости, что позволяет снизить величину растягивающих напряжений во внешней зоне защиты, вызываемых односторонним нагревом. Кроме того, бетон, расположенный у активного корпуса реактора, должен быть огнестойким и жаростойким даже при температурах, возможных при аварийном режиме работы реактора. При возведении из бетона массивных конструкций желательна меньшая теплота гидратации цемента и минимальная усадка бетона (для предотвращения температурных и усадочных трещин), а также небольшая величина коэффициента температурного расширения [22].

Сталь и чугун широко применяются при устройстве защиты в различных объектах ядерной техники и энергетики. Благодаря своим физическим и механическим свойствам они могут использоваться в качестве конструкционного материала, одновременно выполняющего и защитные функции.

Хотя сталь менее эффективна, чем свинец, зато она дешевле. Из стали можно устраивать защиты со сложными формами и большими габаритными размерами. Недостаток их состоит в том, что поверхность металла необходимо защищать от коррозии, которая имеет место при повышенных температурах и влажности воздуха.

Для защиты от γ -излучения и рентгеновского излучения всю конструкцию или ее крупные фрагменты целиком изготавливают из стали. В случае защиты от нейтронного излучения сталь, как правило, комбинируют с хорошими замедлителями нейтронов (водой, графитом, парафином и др.).

Из всех тяжелых металлов при устройстве защиты от ионизирующего излучения наиболее широкое применение получил **свинец**. Он очень эффективен при ослаблении низкоэнергетического γ - и рентгеновского излучения. Поэтому его очень часто используют при устройстве стационарных и подвижных защит источников излучения в рентгеновских, радиохимических и других лабораториях.

Обладая большой плотностью ($11,35 \text{ г/см}^3$) свинец легко обрабатывается и ему можно придавать любую форму. Но эти формы также довольно легко деформируются, поэтому для увеличения твердости сплава в него добавляют небольшое количество цинка.

Температура плавления чистого свинца - $327 \text{ }^\circ\text{C}$, поэтому его можно использовать для защиты в местах, не подвергающихся воздействию высоких температур.

4.4.6. Виды защит от радиоактивного излучения

Многообразие источников ионизирующих излучений, их размеров и форм (точечные, линейные, протяженные, объемные и т.п.), взаимное расположение усложняет типизацию защитных экранов. Поэтому рассмотрим типы защитных конструкций применительно к идеализированным точечным источникам.

1. Локальная защита – защита, при которой каждый источник в здании или сооружении имеет индивидуальную замкнутую защиту, толщину которой определяют расчетом исходя из допустимой мощности дозы излучения в производственном помещении. При этом все строительные конструкции здания или сооружения (стены, перегородки, перекрытия, покрытия) изготавливаются из традиционных конструкционных материалов, к которым не предъявляют защитные требования (рис. 4.5).

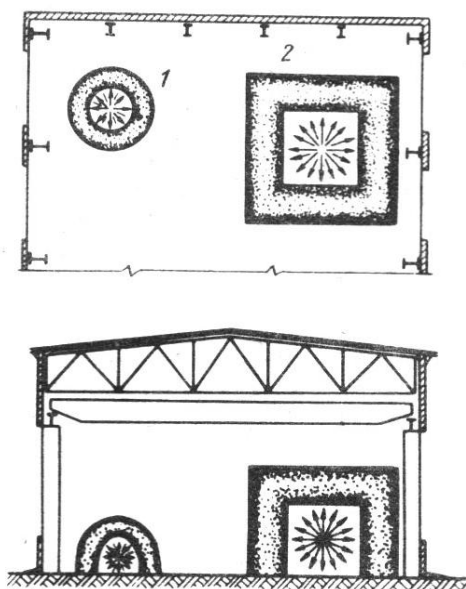


Рис. 4.5. Схема локальной защиты:

1 – точечный источник малой интенсивности; 2 – то же большей интенсивности

2. Глобальная защита бывает двух типов:

- а) *прилегающая*, когда все источники ионизирующих излучений, имеющиеся в здании, окружены общим защитным экраном (рис. 4.6, а);
- б) *совмещенная*, когда все источники излучения окружены общим защитным экраном, одновременно являющимся частью ограждающих конструкций зданий (рис. 4.6, б). При этом к защитным экранам предъявляются дополнительные требования по прочности, устойчивости, теплопроводности, долговечности, эксплуатационным качествам и т.д.

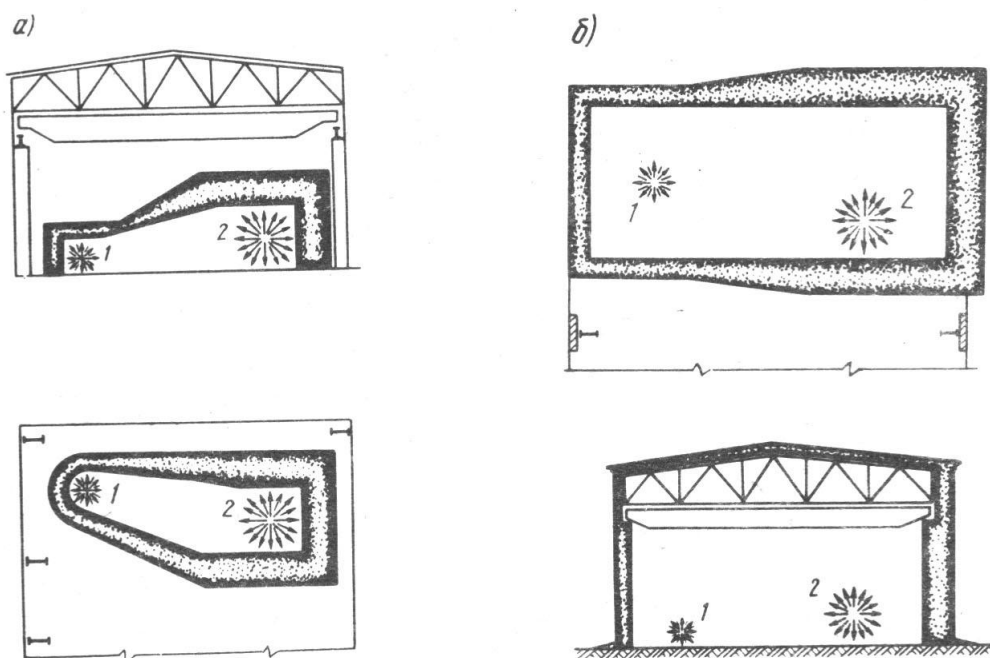


Рис. 4.6. Схема глобальной защиты:
а – прилегающая защита; б – совмещенная защита

3. Теневая защита предусмотрена не в виде замкнутой поверхности, в которой заключен один (локальная защита) или несколько (глобальная защита) источников, а в виде отдельных плоскостей или поверхностей, ослабляющих потоки излучений в заданных направлениях, объемах здания, где присутствуют люди (рис. 4.7).

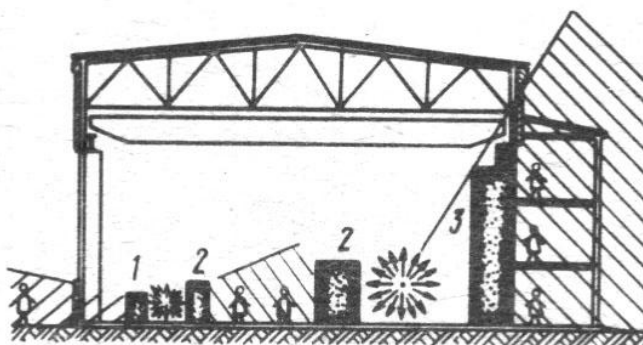


Рис. 4.7. Схема теневой защиты

4. Комбинированная защита включает несколько типов защиты. Она применяется в большинстве случаев, так как реальные источники ионизирующих излучений имеют протяженные, объемные формы.

Защитные экраны могут быть выполнены из одного материала, имеющего как одинаковую толщину на всем протяжении, так и переменную в зависимости от расположения относительно источника излучения. Также защита может быть изготовлена из различных материалов, имеющих различные защитные свойства и соответственно различную толщину [22, 23].

Аттестационные вопросы

1. Применение жаростойких материалов в строительстве. Свойство жаростойкости.
2. Назовите основные виды жаростойких материалов и изделий.
3. Использование огнеупорных материалов в строительстве. Свойство огнеупорности. Классификация огнеупорных материалов.
4. Виды огнеупорных материалов (кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, углеродистые и др. огнеупорные изделия).
5. Огнеупорные изделия из чистых окислов. Легковесные огнеупорные материалы.
6. Огнеупорные мертели, растворы и защитные обмазки. Огнеупорные бетоны и набивные массы.
7. Использование химически стойких материалов в строительстве. Классификация химически стойких материалов.
8. Разновидности химически стойких материалов.
9. Применение материалов для радиационной стойкости в строительстве. Общие сведения о радиации. Радиационная стойкость. Виды радиоактивного излучения. Источники ионизирующих излучений.
10. Основные виды материалов для радиационной защиты. Виды защит от радиоактивного излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие позволит будущим специалистам грамотно решать вопросы выбора и применения разнообразных строительных материалов.

В пособии собран и систематизирован обширный материал по конструкционным материалам, начиная с самых первых строительных материалов, используемых человеком (природный камень, древесина) и заканчивая последними разработками строительного материаловедения, базирующимися на достижениях науки и техники (модифицированная древесина, железобетонные конструкции, металлы и сплавы, полимерные конструкции). Существенную помощь при изучении этого раздела окажут видеофильмы, находящиеся в архиве университета.

Современное строительство невозможно представить без применения функциональных и специальных материалов, получивших широкое распространение в различных областях строительства, промышленности и энергетики.

В учебном пособии содержится большое количество иллюстративного материала и табличных данных, которые значительно облегчат изучение конкретных вопросов курса.

Данное учебное пособие, к сожалению, не может охватить всю информацию, которой необходимо владеть будущему магистру техники и науки, так как совершенствование старых и разработка новых строительных материалов различного назначения требует постоянного расширения и углубления полученных знаний о них.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айрапетов, Д.П. Материал и архитектура / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1978. – 268 с.
2. Айрапетов, Д.П. Архитектурное материаловедение / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1983. – 310 с.
3. Чернушкин, О.А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / О.А. Чернушкин, А.М. Усачев. – Воронеж, 2008. – 191 с.
4. Байер, И.В. Архитектурное материаловедение / И.В. Байер. – М.: Стройиздат, 1989. – 184 с.
5. Микульский, В.Г. Строительные материалы (материаловедение и технология): учеб. пособие / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов и др. – М.: ИАСВ, 2002. – 536 с.
6. Горчаков, Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 687 с.
7. Домокеев, А.Г. Строительные материалы / А.Г. Домокеев. – М.: «Высшая школа», 1982. – 384 с.
8. Бадьин, Г.М. Справочник технолога-строителя / Г.М. Бадьин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 512 с.
9. Мировая архитектура / отв. ред. С.Ю. Афонькин. – Санкт-Петербург.: ООО «Издательский дом «Кристалл», 2006. – 96 с.
10. Чернушкин, О.А. Архитектурное материаловедение: лабораторный практикум / О.А. Чернушкин, А.А. Суслов, В.Я. Мищенко. – Воронеж, 2003. – 224 с.
11. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2003. – 701 с.
12. Низовский, А.Ю. 100 великих чудес инженерной мысли / А.Ю. Низовский. – М.: Вече, 2006. – 432 с.
13. Салахов, А.М. Увлекательная керамика / А.М. Салахов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2004. – 192 с.
14. Чернушкин, О.А. Технология конструкционных материалов: лабораторный практикум / О.А. Чернушкин, С.В. Черкасов, Ю.И. Калгин. – Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2006. – 90 с.
15. Рахимов, Р.З. Современные теплоизоляционные материалы / Р.З. Рахимов, Н.С. Шелихов. – Казань, 2006. – 392 с.
16. Рахимов, Р.З. Современные кровельные материалы / Р.З. Рахимов, Г.Ф. Шигапов. – Казань, 2001. – 432 с.

17. Жаростойкие материалы, изделия и конструкции: сб. науч. тр. /отв. ред. Е.В. Зализовский. – Челябинск, 1987. – 164 с.
18. Специальные бетоны и сооружения: сб. тр. / гл. ред. И.К. Энно. – М., 1985. – 124 с.
19. Горлов, Ю.П. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы: учеб. пособие / Ю.П. Горлов, Н.Ф. Еремин, Б.У. Седунов. М.: Стройиздат, 1976. – 192 с.
20. Ротенберг, Г.Б. Огнеупорные материалы / Г.Б. Ротенберг. – М.: Металлургия, 1980. – 344 с.
21. Зайонц, Р.М. Керамические химически стойкие изделия / Р.М. Зайонц, Р.К. Кордонская. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. – 188 с.
22. Дубровский, В.Б. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений / В.Б. Дубровский, З. Аблевич. – М.: Стройиздат, 1983. – 240 с.
23. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. – 14-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 560 с.
24. Гридчин, А.М. Строительные материалы для эксплуатации в экстремальных условиях: учеб. пособие для вузов / А.М. Гридчин, Ю.М. Баженов, В.С. Лесовик и др. – М.: Изд-во АСВ; Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 595 с.
25. Пеппельман, К. Все чудеса света. От античности до наших дней / К. Пеппельман, М. Шуберт; пер. с нем. – М.: АСТ: Астрель, 2009. – 256 с.
26. Бирюкова, Н.В. История архитектуры: учеб. пособие / Н.В. Бирюкова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 367 с.
27. Губарева, М.В. 100 великих храмов мира / М.В. Губарева, А.Ю. Низовский. – М.: Вече, 2000. – 367 с.
28. Ионина, Н.А. 100 великих дворцов мира / Н.А. Ионина. – М.: Вече, 2001. – 233 с.
29. Ионина, Н.А. 100 великих чудес света / Н.А. Ионина. – М.: Вече, 2001. – 257 с.

ЧУДЕСА СВЕТА

Всем известны семь чудес Древнего мира – грандиозные и великолепные постройки наших предков. Рассмотрим, какие строительные материалы были использованы для их возведения, какими строительными приемами и какой техникой пользовались древние строители и архитекторы.

Египетские пирамиды (рис. П.1.1) единственные из древних чудес света сохранившиеся до наших дней.



Рис. П.1.21. Египетские пирамиды, Гиза, 2550 г. до. н.э.
(территория современного Египта)

Они были сложены из отдельных каменных глыб. Однако камни в верхних рядах пирамид представляют собой рукотворные блоки, сделанные древними египтянами из «бетона». Коллективу франко-американских ученых удалось восстановить формулу древнего строительного материала. Он включал пальмовую золу, крошку песчаника и особый вид соды, полученной из воды Нила.

Первым из египетских царей, воздвигнувшим над своей гробницей пирамиду, был фараон Джосер. Эта самая древняя пирамида Египта состоит из шести огромных ступеней и имеет высоту около 6 м. Материалом, из которого была сделана пирамида и окружающие ее сооружения (ритуальный храм, ограды, подземные галереи) являлся известняк, алебастр и др.

Самая большая пирамида была построена фараоном Хеопсом, жившим в XXVIII в. до н.э. Пирамида является вторым по величине памятником, сооруженным когда-либо человеком. Ее возраст насчитывает почти пять тысяч лет, высота достигала 147 м (сейчас из-за обвала вершины высота равна 137 м), а

каждая из сторон по длине составляет 233 м. Вплоть до конца XIX в. пирамида Хеопса являлась самым высоким сооружением на земле.

Ученые подсчитали, что эта пирамида была сложена из 2,5 млн огромных глыб известняка, гладко отшлифованных, причем каждая из этих глыб весила больше двух тонн. Тщательно отесанные и отшлифованные известняковые глыбы были столь мастерски подогнаны одна к другой, что в щель между двумя камнями невозможно просунуть лезвие ножа.

Точность работы каменотесов и шлифовальщиков достойна удивления, особенно если представить, что древние ремесленники, создавшие такие грандиозные памятники человеческого труда, пользовались еще каменными орудиями. В каменоломнях на правом берегу Нила, недалеко от древней столицы Египта Мемфиса, тысячи рабочих добывали камень для постройки пирамиды. По обозначенным на известняковой скале границам каменного блока рабочие выдалбливали в камне глубокие борозды. Выдолбив углубления в борозде, рабочие забивали в них клинья из сухого дерева и поливали их водой. Мокрое дерево начинало разбухать, трещина увеличивалась, и глыба откалывалась от скалы. Отколотый камень вытаскивали из шахт каменоломен с помощью толстых канатов, сплетенных из папируса (такие канаты были найдены в древних каменоломнях). Известняковые глыбы затем отесывались специалистами-каменотесами здесь же на месте. Каменотесы работали с помощью целого набора инструментов, изготовленных из дерева, камня и меди.

Блоки белого облицовочного известняка на ладьях перевозили на другой берег Нила. К месту постройки их подвозили, погрузив на специальные деревянные салазки.

После каменотесов лицевую сторону облицовочного камня обрабатывали шлифовальщики. Они работали с помощью шлифовального камня, воды и песка. В результате длительной обработки поверхность плиты становилась гладкой и блестящей. После этого камни считались готовыми для постройки.

На известняковой скале, расчищенной от песка, гравия и камня, строители возводили громаду пирамиды, укладывая блоки гигантскими ступенями.

Когда кладка пирамиды была закончена, её ступени закладывались облицовочными блоками. Их привозили из каменоломен, находившихся в Верхнем Египте. По уступам пирамиды облицовочные блоки поднимали наверх и укладывали их сверху вниз. Затем их полировали. Притеска облицовочных камней была так совершенна, что невозможно было сразу определить места их соединения.

Строительство колоссальной усыпальницы Хеопса продолжалось около 20 лет, над ней трудились 100 000 человек. Все погребальное сооружение представляло собою почти сплошную каменную кладку.

Второй по величине после гробницы Хеопса считается пирамида фараона Хефрена. Она на 8 м ниже, но зато менее разрушена. Верх пирамиды сохранил часть полированной облицовки. Остальные пирамиды значительно меньше, и многие из них сильно разрушились.

Висячие сады Вавилона (рис. П.1.2) были сооружены по приказу царя Навуходоносора.



Рис. П.1.2. Висячие сады Семирамиды, Вавилон, 600 г. до н.э.
(территория современного Ирака)

На их строительство были брошены все силы древнего царства, весь опыт его строителей и архитекторов. Сады, созданные строителями Вавилона, были четырехъярусными. Своды ярусов опирались на колонны высотой двадцать пять метров, возведенные из обожженных широких плоских кирпичей. Платформы ярусов, сложенные из плоских каменных плит, были устланы слоем камыша (тростника), залитого асфальтом и покрытого листами свинца, чтобы вода не могла просачиваться в нижний ярус. Поверх этого был насыпан слой земли, достаточный для того, чтобы на нем могли расти большие деревья. Ярусы, поднимаясь уступами, соединялись широкими пологими лестницами, выложенными цветной плиткой.

Однако вскоре Вавилон утратил свое могущество, захирел, жизнь постепенно ушла из него. Наводнение разрушило дворец Навуходоносора, кирпичи спешно построенных садов оказались недостаточно обожженными, рухнули высокие колонны, обвалились платформы и лестницы.

Сегодня гиды в Вавилоне указывают на один из глиняных бурых холмов, напичканный, как и все холмы Вавилона, обломками кирпичей и осколками изразцов, как на остатки висячих садов.

Храм Артемиды Эфесской (рис. П.1.3). Эфес был одним из крупнейших городов в Ионии, пожалуй, самой развитой и богатой области греческого мира, обогащенного культурой Востока.



Рис. П.1.3. Храм Артемиды, Эфес, 560...460 гг. до н.э.
(территория современной Турции)

Храм Артемиды строился многократно и из разных материалов. Первые деревянные сооружения приходили в ветхость, сгорали или гибли от нередких здесь землетрясений, и поэтому в середине VI в. до н.э. было решено построить, не жалея средств и времени, великолепное жилище для богини-покровительницы.

В архитекторах, художниках и скульпторах недостатка не было. Лучшим был признан проект знаменитого Херсифрона. Тот предложил строить храм из известняка и мрамора, причем по редкому тогда принципу – окружить его двумя рядами мраморных колонн (всего 127 шт.).

Печальный опыт прежнего строительства в Эфесе заставил задуматься архитектора над тем, как обеспечить храму устойчивость и долговечность. Решение было смелым и нестандартным: ставить храм на болоте у реки. Зодчий рассудил, что мягкая болотистая почва послужит амортизатором при будущих землетрясениях. А чтобы под своей тяжестью мраморный гигант не погрузился в землю, был вырыт глубокий котлован, который заполнили смесью древесного угля и шерсти – подушкой толщиной в несколько метров. Эта подушка и в самом деле оправдала надежды архитектора и обеспечила долговечность храму.

Херсифрон не дожил до завершения храма. После его смерти функции главного архитектора перешли к его сыну Метагену, а когда и тот скончался, храм достраивали Пеонит и Деметрий. Храм был закончен примерно в 450 г. до н.э., и оказался самым большим святилищем своего времени; его размеры составили 105×51 м.

К сожалению, о том, как он был украшен, какие стояли в нем статуи, какие там были фрески и картины и как выглядела сама статуя Артемиды, мы не знаем. Его сжег Герострат в 356 г. до н.э.

Несмотря на этот печальный факт, храм эфесцы решили построить вновь. Второй храм строил архитектор Хейроkrat. На этот раз строительство заняло считанные годы, в чем была заслуга уже давно умершего Херсифрона. Теперь не было загадок и технических изобретений – путь был проторен. Новый храм

достигал 125 метров в длину, 65 – в ширину. По прежнему 127 двадцатиметровых колонн окружали его в два ряда, причем часть колонн были резными и с барельефами. Расчеты архитекторов, построивших храм на болоте, оказались точными. Храм простоял еще половину тысячелетия.

Этот храм и был признан чудом света, хотя, может быть, больше оснований к этому званию имел первый, построенный Херсифоном.

Когда Эфес попал под власть христианской Византии, храм был разрушен. Мраморную облицовку с него стали растаскивать на разные постройки, была разобрана и крыша, нарушено единство конструкции. И когда начали падать колонны, то их обломки засасывало болотом. А еще через несколько десятилетий под жижей и наносами реки скрылись последние следы лучшего храма Ионии.

Мавзолей в Галикарнасе – это величественная усыпальница царской четы – царя Мавсола и его жены, правителей Кари. Эта область в 377-353 гг. до н.э. входила в состав Персидской империи. А Галикарнас был столицей этих земель (в настоящее время турецкий г. Бодрум).

Во время своего правления в Кари Мавсол обрел истинное могущество и богатство, поэтому решил создать величественную усыпальницу для себя и своей жены Артемизии (Артемиссии). Однако правитель не дожил до окончания задуманного строительства, его жена успешно завершила начатое дело и в 350 г. до н.э. гробница была возведена, получив название Мавзолей, в честь инициатора его закладки (отсюда и пошло название зданий-усыпальниц).

В отличие от храма Артемиды Эфесской и других подобных зданий Галикарнасский мавзолей (рис. П.1.4), сохраняя во многом греческие традиции и строительные приемы, несет в себе явное влияние восточной архитектуры.



Рис. П.1.4. Мавзолей в Галикарнасе, Персия, 351 г. до н.э. (территория современной Турции)

Мавзолей в Галикарнасе представлял собой огромное квадратное здание высотой 49 м, около трети, которого занимали сплошные стены, изготовленные из больших каменных блоков. Первый этаж был собственно усыпальницей Мавсола и Артемизии. Снаружи эта громадная погребальная камера, площадью 5000 м² и высотой около 20 метров, была обложена плитами белого мрамора, отесанными и отполированными на персидский манер. На втором этаже, окруженном колоннадой, хранились жертвоприношения, крышей же мавзолея служила пирамида, увенчанная мраморной квадригой: в колеснице, запряженной четверкой коней, стояли статуи Мавсола и Артемизии. Вокруг гробницы располагались статуи львов и скачущих всадников.

По всему античному миру строились копии и подражания мавзолею в Галикарнасе. Он стал так знаменит, что римляне называли мавзолеями все крупные усыпальницы. Построен мавзолей был столь прочно, что, хотя и обветшал, простоял почти две тысячи лет, после чего был разрушен сильным землетрясением.

В 1489 г. строительный материал, находившийся на месте руин, использовали для возведения своей крепости рыцари-христиане. Ими также была обнаружено захоронение Мавсола и Артемизии. Лишь спустя еще 300 лет в 1857 г. начались работы по изучению оставшихся руин мавзолея в Галикарнасе. Найденные экспонаты попали в Британский музей Лондона.

Колосс Родосский являлся самой большой монументальной статуей вплоть до сооружения статуи Свободы в Нью-Йорке.

Родос играл роль важного пункта морской торговли между Средиземноморьем, побережьем Малой Азии и Грецией. Статую Гелиоса – покровителя Родоса решено было возвести в знак избавления города от завоевателей. В левой руке он держал ниспадающее до земли покрывало, правую приложил ко лбу, вглядываясь в даль (рис. П.1.5).



Рис. П.1.5. Колосс Родосский, о. Родос,
292...280 гг. до н.э.
(территория современной Греции)

Основой 36-метровой статуи послужили три массивных каменных столба, скрепленные железными балками на уровне пояса и плеч. Основания столбов были в ногах статуи и в покрывале. На столбы и балки крепился железный каркас, который покрыли чеканными листами бронзы.

Колосс рос на берегу гавани на облицованном белым мрамором искусственном холме. Двенадцать лет никто не видел статуи, потому что, как только на каркас прикреплялся очередной пояс бронзовых листов, подсыпали окружающую колосс насыпь, чтобы мастерам удобнее было подниматься наверх. И только когда насыпь была убрана, родосцы увидели своего бога-покровителя.

Сверкающий монумент был виден за много километров от Родоса, и вскоре молва о нем распространилась по всему античному миру. Но уже через полвека сильное землетрясение, разрушившее Родос, повалило колосса на землю.

Родосцы пытались поднять колосса. Известны благородные попытки соседей помочь им в этом деле. Например, египетский царь прислал несколько сот талантов меди и мастеров. Но ничего не вышло, все попытки не увенчались успехом.

Так и лежал на берегу бухты колосс – главная туристская достопримечательность острова. Лежавший на земле колосс обрастал паутиной и легендами. В рассказах очевидцев он казался куда больше, чем был на самом деле. В римской литературе появились легенды о том, что он первоначально возвышался над входом в гавань и был так велик, что между его ног проходили к городу корабли.

Тысячу лет лежал расколотый колосс у Родоса, пока в 977 году нуждавшийся в деньгах арабский наместник не продал его одному купцу. Купец, чтобы отвезти колосса на переплавку, разрезал его на части и нагрузил бронзой 900 верблюдов.

Александрийский маяк и до нашего времени является самым высоким маяком. Он находился в Александрии, основанной в 332 г. до н.э. и раскинувшейся в дельте Нила, на месте Египетского городка Ракотиса.

Гавань Александрии, пожалуй, самая деловитая и оживленная во всем мире, была неудобной. Воды Нила несли массу ила, поэтому на мелководье среди камней и мелей требовались умелые лоцманы. Чтобы обезопасить мореплавание среди мелей, решено было построить маяк на острове Фарос, на подходе к Александрии. В 285 г. до н.э. остров соединили с материком дамбой и архитектор Сострат Книдский приступил к работам.

Строительство заняло всего пять лет: Александрия была передовым техническим центром и самым богатым городом тогдашнего мира. К услугам строителей были громадный флот, каменоломни и достижения науки и техники. Маяк получился в виде трехэтажной башни высотой 130 метров, а свет его был виден на расстоянии до 48 км. Он был построен из местного известняка и облицован белым мрамором. Декоративные фризы и орнаменты изготовлены из мрамора и бронзы, колонны – из гранита и мрамора. Его основание – квадрат со

стороной тридцать метров. Первый шестидесятиметровый этаж башни был сложен из каменных плит и поддерживал сорокаметровую восьмигранную башню. На третьем этаже, в круглой, обнесённой полированными колоннами башне, вечно горел громадный костер, отражавшийся сложной системой зеркал (рис. П.1.6). Дрова для костра доставлялись наверх по спиральной лестнице, такой пологой и широкой, что по ней на стометровую высоту въезжали повозки, запряжённые ослами.



Рис. П.1.6. Александрийский Маяк, о. Фарос, III в. до н.э.
(территория современного Египта)

Маяк был и крепостью – форпостом Александрии и наблюдательным постом: с его вершины можно было разглядеть вражеский флот задолго до того, как тот приближался к городу.

С падением Римской империи маяк перестал светить, обвалилась обветшавшая за столетия верхняя башня, но долго еще стояли стены нижнего этажа, которые разрушились от землетрясения в XIV веке. Руины древнего маяка были встроены в турецкую крепость и в ней существуют поныне.

Статуя Зевса Олимпийского. Главной святыней Олимпии был храм Зевса с его статуей. Храм имел длину 64 метра, ширину – 28 м, а высота внутреннего помещения достигала 20 метров. Сидящий в конце зала на троне Зевс подпирал головой потолок. Обнаженный до пояса он был изготовлен из дерева. Тело его покрывали пластины розовой теплой слоновой кости, одежду – золотые листы. В одной руке он держал золотую статую Ники – богини победы, другой опирался на высокий жезл (рис. П.1.7).

Впоследствии византийские императоры перевезли со всеми предосторожностями статую в Константинополь. Хотя они и были христианами, рука на Зевса ни у кого не поднялась. Даже христианские фанатики, враги языческой красоты, не посмели разрушить статую.



Рис. П.1.7. Статуя Зевса в Олимпии, 435 г. до н.э.
(территория современной Греции)

Однако в V веке н.э. дворец императора Феодосия II, там где находилась статуя Зевса, сгорел. Деревянный колосс стал добычей огня: лишь несколько обугленных костяных пластинок да блески расплавленного золота остались от него. Уже в наше время была сделана попытка найти мастерскую скульптора Фидия. Сооружение такой статуи требовало многих лет работы, и поэтому Фидию и его многочисленным помощникам необходимо было солидное помещение.

Внимание немецких археологов, проводивших раскопки в Олимпии, привлекли остатки античного здания, перестроенного в византийскую христианскую церковь. Обследовав здание, они убедились в том, что именно здесь располагалась мастерская – каменное сооружение, немногим уступавшее по размерам самому храму. В нем, в частности, нашли орудия труда скульпторов и ювелиров и остатки литейного цеха. Но самые интересные находки сделаны по соседству с мастерской – в яме, куда в течение многих сотен лет мастера сбрасывали отходы и отбракованные детали статуи. Там удалось отыскать отлитые формы тоги Зевса, множество пластин слоновой кости, сколы полудрагоценных камней, бронзовые и железные гвозди.

НОВЫЕ ЧУДЕСА СВЕТА

7 июля 2007 г. в Лиссабоне был объявлен список семи новых чудес света. Он был составлен на основании голосования, в котором принимали участие более 90 млн человек по всему свету. И хотя Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) не принимает этот список, все сооружения, вошедшие в него, представляют не только культурно-историческую, но и строительно-архитектурную ценность.

Великая Китайская стена – величайшее сооружение всех времен и народов (рис. П.2.1). По грандиозности сооружения Великая Китайская стена не знает себе равных в истории мировой архитектуры.



Рис. П.2.1. Великая Китайская стена, 221 г. до н.э. – 1644 г. н.э.

Длина стены – свыше 6 тысяч километров, высота в среднем – 6,6 м (на отдельных участках до 10 м). Ширина нижней части стены около 6,5 м, верхней – около 5,5 м. На всем протяжении Великой Китайской стены через каждые 70 м сооружены сторожевые башни, на которые можно подняться по каменным лестницам. Насчитывается также около 10 тыс. сигнальных башен.

История Великой Китайской стены началась с эпохи правления первого императора Китая. Цинь Шихуанди приказал построить вдоль северной границы оборонительные укрепления, чтобы оградить империю от «северных дикарей». Для строительства огромной стены были согнаны сотни тысяч рабов, военнопленных и крестьян. День и ночь они утрамбовывали землю, укладывали огромные камни и кирпичи, замешивали раствор для их скрепления.

Строили Стену в основном из подручных материалов. Южные и западные ее участки, как правило, возведены из утрамбованной глины, в лесистой местности на постройку шли дубовые и сосновые стволы, а при сооружении участка

Стены на границе с пустыней Гоби использовались галька и песок.

Строительство с перерывами продолжалось вплоть до 1644 г. и к XVII в. Великая Китайская Стена приобрела свой нынешний облик. Это единственное рукотворное сооружение на нашей планете, которое видно даже из космоса. Китайская стена тянется вдоль городов, через пустыни, долины, глубокие ущелья – через весь современный Китай.

Сегодня Великая Китайская стена привлекает туристов со всего мира. По подсчетам ученых, если все материалы, использованные при постройке Великой стены, сложить в стену толщиной в один и высотой в пять метров, то ее длины хватит, чтобы опоясать Земной Шар более 10 раз.

Мачу-Пикчу (старая гора в переводе с кечуа) – один из самых необыкновенных древних городов. Он расположен в Перуанских Андах на вершине горного хребта, на высоте 2057 м над долиной реки Урубамбы (рис. П.2.2).



Рис. П.2.2. Город Мачу-Пикчу, 1450 г., Перу

Город нельзя отнести к крупным, он состоит всего из 200 сооружений, в основном храмов, резиденций и складов, каждое из которых можно назвать настоящим памятником искусства инков каменотесов. В период расцвета в городе проживало от 700 до 1200 человек.

Почему инки решили обосноваться в этом труднодоступном месте высоко в Андах, неясно до сих пор. Долгое время считалось, что эту местность люди заселили задолго до появления инков и каменные сооружения и мегалические стены были творениями представителей доисторической цивилизации. Однако современные исследователи выяснили, что город был построен по приказу пра-

вителя инков Пачакути Юпанки в 1450 году. Этот правитель сумел покорить различные племена и народы, населявшие тихоокеанское побережье Южной Америки, и расширить владения инков.

Мачу-Пикчу часто называют потерянным городом инков, потому что через сто лет своего существования город был покинут обитателями. А джунгли вскоре поглотили дома, храмы и стены.

Когда в 1532 г. на державу инков напали испанские завоеватели и уничтожили ее, Мачу-Пикчу не был обнаружен и тронут ими. Лишь в 1911 г. он был совершенно случайно обнаружен американцем Хайрамом Бингемом, организовавшим археологические экспедиции в Южную Америку.

Чтобы возвести город в столь неудобном для строительства месте, требовалось невероятное мастерство. Более половины усилий, затраченных на постройку, ушло на подготовку участка, дренаж и работы по закладке фундамента. Массивные подпорные стены и ступенчатые террасы более 500 лет держат город, не давая дождям и оползням снести его со скального карниза.

Многие постройки Мачу-Пикчу частично вырублены в скале, частично сложены из умело подогнанных каменных глыб. Инки умели шлифовать блоки с помощью бронзовых и каменных инструментов, а иногда терли их друг о друга до тех пор, пока они идеально не соприкасались между собой. Здешние мастера умели изготавливать камни-скобы и многогранные камни-гвозди, придававшие конструкции устойчивость.

Двускатные крыши своего жилья инки покрывали соломой, которую стелили на деревянные балки, закрепленные к каменным опорам с помощью лиан.

Высоким уровнем инженерного и строительного искусства отличалась и система водоснабжения. Вода подавалась в город из горных источников по искусственно созданным каналам. Водопровод древнего народа сегодня действует так же, как и 500 лет назад.

Город Мачу-Пикчу считают символом связи настоящего с великой цивилизацией прошлого, частью истории, которую завоеватели не смогли стереть из памяти.

Город Петра (рис. П.2.3), затерянный в скалах, являлся столицей Идумеи, позже – столицей Набатейского царства. Город расположен на высоте более 900 метров над уровнем моря и 660 метров над окружающей долиной в узком каньоне Сик. Проход в долину возможен только через ущелья, расположенные на севере и на юге, с востока и запада скалы отвесно обрываются, образуя естественные стены до 60 метров в высоту.

О создателях этого легендарного города – набатеях – сегодня известно немного. Сами они не оставили о себе никаких письменных свидетельств. Все, что мы знаем о них – это истории, рассказанные путешественниками многие сотни лет назад да скудные данные археологических раскопок. Однако точно известно, что построен (вырублен) этот город был раньше 312 г. до н.э.

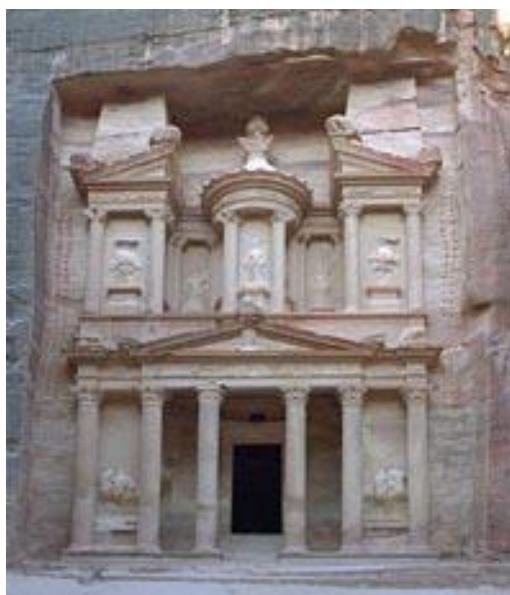


Рис. П.2.3. Город Петра, IV в. до н.э. – II в. н.э., Иордания

Научившись мастерски собирать воду (в городе сооружены каналы, термы и фонтаны по римскому образцу), жители Петры также овладели искусством работы с камнем. Само название «Петра», означает «скала» - город из камня. Nabatei, построившие город, с терпением высекали дома, склепы и храмы из каменных глыб. Петра уютно расположилась среди красных песчаников, которые отлично подходят для строительства, и к первому веку нашей эры в сердце пустыни вырос монументальный город. В архитектуре города сочетаются ассирийские, арабские, греческие и римские черты.

Петра располагалась на перекрестке двух важнейших торговых путей: один соединял Красное море с Дамаском, другой – Персидский залив с Средиземным морем. Караванам приходилось мужественно переносить суровые условия Аравийской пустыни, пока они не достигали прохлады узкого каньона Сик, ведущего в долгожданную Петру. Там путешественники находили пищу, кров и прохладную живительную воду.

Сотни лет торговля приносила Петре большое богатство. Но когда римляне открыли морские пути на Восток, сухопутная торговля сошла на нет и Петра постепенно опустела, затерявшись в песках.

Петра одно время была провинцией Древнего Рима, была и частью Византии, пока два страшных землетрясения в 363 и 747 гг. окончательно не разрушили ее. Во времена господства арабов и крестоносцев город уже был мертв.

А когда-то в городе жили, по крайней мере, 20 000 человек. К сожалению, дома, расположенные на равнине, не сохранились до наших дней. Зато до нас дошли постройки римских времен, говорящие о том, что некогда жизнь в Петре была ключом. Это и центральная мощеная улица, колонны, триумфальная арка, гробницы, руины некоторых других сооружений, театр на три тысячи человек.

Чичен-Ица (рис. П.2.4) – древний город майя, расположенный на севере мексиканского полуострова Юкатан.

«Чичен-Ица» можно перевести как «место у колодца племени Ица». Город был основан, как полагают, в начале VI века и являлся одним из крупнейших городов майя. Его памятники напоминают образцы классической архитектуры майя, оставленные в долинах Мексики, Гватемалы и Гондураса. В культуре майя огромную роль играли числа, гороскопы, умение толковать положение звезд и искусство математики. К концу X века, однако, по невыясненным причинам жизнь здесь практически прекратилась.

Затем город был занят тольтеками, пришедшими на Юкатан из центральной Мексики. Тольтеки дали Чичен-Ице вторую жизнь. Однако, к концу XIV века город опять пришел в упадок и вновь обезлюдел.



Рис. П.2.4. Город Чичен-Ица, 600 – 1250 гг., Мексика

В этом городе можно увидеть самую величественную и самую загадочную постройку Мексики – пирамиду Кукулькан, Царские бани, древнюю индейскую обсерваторию, Священный колодец Жертв, храм Ягуара, храм Воинов, храм Бородатого Человека, площадки (стадионы) для игры в мяч.

Главной достопримечательностью Чичен-Ицы является пирамида Кукулькана. Она имеет высоту 25 м, на верхней площадке пирамиды расположен храм. В основании пирамиды лежит квадрат со стороной 55,5 м. Пирамида имеет 9 уровней. По ее сторонам поднимаются четыре широких лестницы, каждая из которых имеет по 91 ступени. Общее количество ступеней равняется количеству дней в году.

От пирамиды Кукулькана на север идет прямая дорога шириной 10 м. Эта выложенная из камней дорога длиной около 300 м приводит к так называемому Священному колодцу – громадному (диаметр около 60 м) естественному провалу в известковой коре. Его общая глубина 50 м, большая часть колодца затоплена.

Обсерватория майя – грандиозное сооружение, представляющее собой башню, находящуюся на двойной платформе. К сожалению, верхняя часть башни серьезно повреждена.

Колизей – самый большой из древнеримских амфитеатров, один из знаменитых памятников Древнего Рима и одно из самых примечательных сооружений в мире (рис. П.2.5). Официальное название этого гигантского сооружения – амфитеатр Флавиев, в честь рода Флавиев: Веспасиана и его сыновей Тита и Домициана.



Рис. П.2.5. Колизей, 70 – 80 гг. н.э., Рим, Италия

Колизей был построен на бетонном фундаменте толщиной в 13 метров. Римляне научились получать бетон путем смешивания вулканических пород (пуццоланов).

Колизей состоит из четырех ярусов. Три нижних яруса выполнены в виде арочных пролетов. Четвертый ярус был достроен позже и примечателен тем, что и сегодня на его карнизе видны отверстия, куда вставлялись опоры для растяжки над ареной амфитеатра специального тента, защищавшего зрителей от зноя.

Каждый арочный пролет первого яруса являлся входом в амфитеатр, 76 из этих входов были пронумерованы. Над арками и сегодня можно видеть римские цифры нумерации входов.

Колизей мог вместить до 70 тысяч зрителей, для которых были предусмотрены места согласно их социальному статусу. Широкие проходы для зрителей позволяли им быстро заполнять многотысячные трибуны Колизея. В случае необходимости все зрители могли покинуть Колизей в течение 5...10 минут.

Стены Колизея воздвигнуты из крупных кусков или блоков, изготовленных из травертинского камня или травертинского мрамора, который добывали в близлежащем городе Тиволи. Блоки соединялись между собой стальными связями общим весом примерно 300 тонн. Для внутренних частей употреблялись также местный туф и кирпич.

Четырехъярусный амфитеатр имеет форму эллипса длиной 188 метров,

шириной 156 метров и высотой 57 метров. Размеры самой арены составляли 86×56 м. Первый сын Веспасиана Тит, устроил сложную систему каналов, по которым на арену Колизея подавалась вода, и на глазах у зрителей разыгрывались морские сражения. В годы же правления его второго сына, Домициана, под ареной разрослась целая сеть коридоров и помещений: в одних стояли клетки с дикими зверями, в других каморках готовились гладиаторы, в третьих лежало оружие и прочие необходимые орудия, были и санитарные комнаты. Для подъема на арену декораций и устройства спецэффектов существовали подъемные механизмы.

Долгое время Колизей был для жителей Рима и приезжих главным местом увеселительных зрелищ, таких, как бои гладиаторов, звериные травли, морские сражения (для чего арену заполняли водой).

Ущерб, нанесенный амфитеатру сильными землетрясениями, был усугублен самими римлянами, когда глыбы травертина со стен Колизея вывозились для использования при строительстве других римских дворцов и базилик, в том числе собора св. Петра.

Тадж-Махал (рис. П.2.6) – мавзолей на берегу реки Джамны – один из самых знаменитых памятников архитектуры. Мраморные фасады сверкают серебром под луной, сияют розовым светом на заре и переливаются огненными отблесками заходящего солнца. Этот сказочный по красоте мавзолей был сооружен при индийском султane Шах Джахане в память его горячо любимой жены.



Рис. П.2.6. Тадж-Махал, 1632 – 1648 гг., Агра, Индия

После ее смерти император дал клятву построить надгробный памятник, с которым ничто в мире не сможет сравниться. Строительство велось в несколько этапов, начиная с 1632 по 1648 гг. Над сооружением здания работало более 20 000 человек (художники, ремесленники, каменотесы, рабочие), набранных не только по всей Индии, но даже и в Центральной Азии.

Усыпальница выстроена из кирпича и облицована мрамором и песчаником. Для скрепления кирпича использовался специальный раствор, состоящий из извести, мраморной пыли, сахарной воды и фруктового сока. Мрамор доставляли на место строительства из каменоломни за 300 километров. Поверхность мавзолея инкрустирована тысячами драгоценных и полудрагоценных камней, а для каллиграфически выполненных орнаментов использовался черный мрамор.

Восьмигранное здание Тадж-Махал возведено на квадратном постаменте, по углам которого расположились четыре стройных минарета, взметнувшиеся ввысь на сорок с лишним метров. Венчает эту постройку высотой более 30 м огромный луковичный купол. По традиции он опирается на барабан и кажется от этого только выше. Высота купола – 44 м – точно соответствует ширине здания, что и производит необычайно гармоничное впечатление.

Шах планировал продолжить строительство, мечтая возвести по другую сторону реки двойник белоснежного Тадж-Махала – Мумтаз Махал из черного мрамора, который стал бы его собственным надгробным памятником. К сожалению, его планам не суждено было сбыться – император был свергнут собственным сыном.

Бессмертная красота Тадж-Махала по сей день служит источником вдохновения для поэтов и художников, писателей и фотографов. А в лунные ночи влюбленные, как и много веков назад, встречаются в тени этого всемирно знаменитого памятника любви.

Главной достопримечательностью Рио-де-Жанейро считается **статуя Иисуса Христа**. Она стоит на вершине холма на высоте 704 м над уровнем моря. Высота самой статуи – 38 м, не считая восьмиметрового постамента, а ее вес 1145 тонн (рис. П.2.7).

Идея этого сооружения зародилась в 1922 г., когда праздновалось столетие независимости Бразилии. Известный еженедельник объявил тогда конкурс проектов на лучший монумент – символ нации. Победитель, Эктор да Силва Коста, выдвинул идею статуи Христа, распростершего руки, обнимающего весь город. Этот жест выражает сострадание и одновременно радостную гордость. К делу тут же подключилась церковь, организовав по всей стране сбор пожертвований, дабы финансировать осуществление проекта. В итоге через девять лет монумент уже стоял на своем месте.

Статуя конструировалась и изготовлялась в Париже из железобетона. Перед началом работ архитекторы, инженеры и скульпторы встретились в Париже, чтобы обсудить все технические проблемы установки статуи на вершине холма, где она открыта всем ветрам и подвержена другим метеорологическим влияниям. Затем французский скульптор Поль Ландовский начал моделировать голову и руки, в то время как инженеры занялись разработкой каркаса. Масштабы стоявшей перед ними задачи наглядно демонстрируются следующими статистическими параметрами: голова статуи весит 35,6 тонны, кисти рук – по 9,1 тонн каждая, а размах рук составляет 30 м.



Рис. П.2.7. Статуя Иисуса Христа, 1922 – 1931 гг.,
Рио-де-Жанейро, Бразилия

Затем статуя в разобранном виде была доставлена из Парижа в Рио-де-Жанейро и установлена на холме Корковаду. 12 октября 1931 г. состоялось ее первое торжественное открытие и освящение, к этому дню была смонтирована и осветительная установка.

Построенная в 1885 г. линия трамвая ведет теперь почти на вершину холма. От трамвайной остановки надо подняться по 220 ступеням лестницы к постаменту, на котором расположена смотровая площадка. В 2003 г. был открыт эскалатор, на котором можно доехать до подножия знаменитой статуи. Отсюда хорошо видны протянувшиеся по правую руку пляжи Копакабана и Ипанема, а слева – гигантская чаша «Мараканы», крупнейшего в мире стадиона, и международный аэропорт.

Среди претендентов на звание семи новых чудес света были: **Собор Святой Софии** (Стамбул, Турция), каменная городская крепость **Акрополь** (Афины, Греция), дворец **Альгамбра** (Гранада, Испания), кхмерский храмовый комплекс **Ангкор-Ват** (Ангкор, Камбоджа), каменные статуи **моаи** (остров Пасхи, Чили), **Кремль и Красная Площадь** (Москва, Россия), замок **Нойшванштайн** (Мюнхен, Германия), **Сиднейский Оперный Театр** (Сидней, Австралия), статуя **Свободы** (Нью-Йорк, США), кромлех **Стоунхендж** (Солсбери, Великобритания), древний город **Тимбукту** (Мали), буддийский храмовый комплекс **Киёмидзу-дэра** (Киото, Япония) и **Эйфелева башня** (Париж, Франция).

**ХРОНОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ ИЗОБРЕТЕНИЙ В ИСТОРИИ
ЧЕЛОВЕЧЕСТВА**

Эпоха палеолита

2,4 млн. лет до н.э. Обработка природного камня (Африка)
1,65 млн. лет до н.э. Появление каменного топора
100 тыс. лет до н.э. Каменный нож (Африка, Ближний Восток)
50 тыс. лет до н.э. Лук и стрелы
12 тыс. лет до н.э. керамика (Япония)

X тысячелетие до н.э.

Строительство жилищ из глины (Ближний Восток)
Земледелие

IX тысячелетие до н.э.

8700 г. до н.э. Обработка металла

VIII тысячелетие до н.э.

Скотоводство

VII тысячелетие до н.э.

6200 г. до н.э. Появление первой карты

VI тысячелетие до н.э.

Орошение

V тысячелетие до н.э.

Колесо и ось (Междуречье)

IV тысячелетие до н.э.

4000 г. до н.э. Искусственные каналы (Междуречье)
3800 г. до н.э. Мощение дорог
3300 г. до н.э. Появление письменности (клинопись в Шумере, иероглифы в Египте)

Цемент (Древний Египет)

III тысячелетие до н.э.

2600 г. до н.э. Канализация

2400 г. до н.э. Судостроительная верфь

Алфавит (Древний Египет)

II тысячелетие до н.э.

Колесница на колесах со спицами (Междуречье)

Каучук (Центральная Америка)

Стекло (Древний Египет)

I тысячелетие до н.э.

V век до н.э. Катапульта (Сиракузы)

IV век до н.э. Компас (Китай)

III век до н.э. Арбалет (Китай)

II век до н.э. Пергамент (Пергам)

I век до н.э. Стеклодувное дело (Сирия)

I тысячелетие н.э.

105 г. н.э. Бумага (Китай)

III век. Подкова (Германия)

VII век. Ветряная мельница (Персия)

673. Греческий огонь (Каллиник из Гелиополя)

IX век. Дымный порох (Китай)

X век. Фарфор (Китай)

II тысячелетие н.э.

1128. Пушка (Китай)

XV век. Аркебуза и винтовка (Европа)

1450. Алфавитный печатный станок (Иоганн Гутенберг)

XVI век. Мушкет (Европа), карандаш (Англия)

1593. Термометр (Галилео Галилей)

1608. Телескоп (Ханс Липперсгей)

1609. Микроскоп (Ханс Липперсгей, Захариас Янсен)

1642. Арифмометр (Блез Паскаль)

1643. Барометр (Эванджелиста Торичелли)

1645. Вакуумный насос (Отто фон Герике)
 1698. Паровой двигатель (Томас Савери)
1710. Термометр (Рене Антуан Реомюр)
 1714. Ртутный термометр (Габриель Фаренгейт)
 1762. Выплавка железа (Джэйрд Элиот)
 1775. Подводная лодка (Дэвид Бушнелл)
 1777. Циркулярная пила (Сэмюель Миллер)
 1784. Шрапнель (Генри Шрапнель)
 1791. Пароход (Джон Фитч)
 1793. Оптический телеграф (Клод Шапп)
1800. Гальванический элемент (Алессандро Вольта)
 1804. Паровоз (Ричард Треветик)
 1805. Подводная лодка «Наутилус» (Роберт Фултон)
 1805. Холодильник (Оливер Эванс)
 1821. Электромотор (Майкл Фарадей)
 1823. Электромагнит (Вильям Стерджен)
 1826. Фотографирование (Жозеф Нисефор Ньепс)
 1827. Спички (Джон Волкер)
 1831. Электромагнит с несколькими обмотками (Джозеф Генри)
 1831. Акустический магнитный телеграф (Джозеф Генри)
 1831. Электрогенератор (Майкл Фарадей, Стефан Йедлик)
 1833. Механический компьютер (Чарльз Бэббидж)
 1835. Револьвер (Сэмюель Кольт)
 1835. Азбука Морзе (Сэмюель Морзе)
 1837. Фотография (Луи Жак Манде Дагерр)
 1837. Водолазный костюм (Август Зибеле)
 1838. Электрический телеграф (Чарльз Уитстон, Сэмюель Морзе)
 1839. Вулканизация каучука и резина (Чарльз Гудиер)
 1839. Велосипед (Киркпатрик Макмиллан)
 1852. Дирижабль (Генри Гиффард)
 1852. Лифт (Элиша Грейвс Отис)
 1856. Целлулоид (Александр Паркс)
 1859. Нефтегазовая буровая установка (Эдвин Дрэйк)
 1860. Автоматическая винтовка (Оливер Фишер Винчестер, Кристофер Спенсер)
1866. Динамит (Альфред Нобель)
 1868. Пишущая машинка (Кристофер Лэтем Шоулз)
 1871. Канатный трамвай (Эндрю Смит Холлиди)
 1876. Телефон (Александр Белл)
 1877. Индукционный электромотор (Никола Тесла)
 1877. Электросварка (Элиу Томсон)

- 1883. Электродвигатель переменного тока (Никола Тесла)
- 1891. промышленный крекинг нефти (В.Г. Шухов, С.П. Гаврилов)
- 1895. Дизельный двигатель (Рудольф Дизель)
- 1895. Радио (Александр Попов)
- 1898. Радиоуправляемое судно (Никола Тесла)

- 1907. Вертолет (Поль Корню)
- 1913. счетчик Гейгера (Ганс Вильгельм Гейгер)
- 1925. Телевидение (Владимир Зворыкин)
- 1928. Электробритва (Якоб Шик)
- 1928. Антибиотики (Александр Флеминг)
- 1931. Электронный микроскоп (Макс Кнолл Эрнст Руска)
- 1938. Компьютер (Конрад Цузе (Германия) и Джон Атанасов (США))
- 1943. Акваланг (Жак-Ив Кусто, Эмиль Ганьян)
- 1945. Атомная бомба
- 1946. Микроволновая печь (Перси Спенсер)
- 1947. Автомат Калашникова (Михаил Калашников)
- 1952. Термоядерная бомба (Эдвард Теллер, Станислав Улам)
- 1953. модель молекулы ДНК (Джеймс Уотсон, Фрэнсис Крик)
- 1957. Искусственный спутник Земли
- 1960. Лазер (Теодор Майман)
- 1963. Жидкокристаллический дисплей
- 1963. Компьютерная мышь (Дуглас Энгельбарт)
- 1969. Компьютерная томография (Годфри Хаунсфилд)
- 1971. Электронная почта (Рэй Томлинсон)
- 1971. Микрокалькулятор
- 1975. Цифровая фотокамера
- 1979. Сотовый телефон. Лазерный диск. Ноутбук.
- 1986. Оптический пинцет
- 1986. Атомно-силовой микроскоп
- 1991. углеродные нанотрубки (Сумио Иидзима)
- 1995. Стандарт DVD
- 1996. Стандарт USB

III тысячелетие н.э.

- 2001. Цифровое спутниковое радио
- 2001. автономное искусственное сердце
- 2002. Искусственная сетчатка глаза
- 2003. Электромеханический наномотор (Алекс Зеттл)
- 2005. Цифровой синтезатор запахов
- 2007. Поляритонный лазер, работающий при комнатной температуре

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
РАЗДЕЛ 1	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – МАТЕРИАЛЬНАЯ БАЗА	
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ	4
1.1. Связь строительства и архитектуры с материальной базой	4
1.2. Понятия – строительный материал, изделие, конструкция	4
1.3. Классификация строительных материалов и изделий	6
1.4. Комплексная связь строительства и архитектуры с их материальной базой и научно-техническим прогрессом	8
1.5. Основные архитектурно-строительные требования к строительным материалам	11
1.6. Физический и моральный износ строительных материалов	14
1.6.1. Физический износ	14
1.6.2. Моральный износ	17
1.7. Общая схема формирования качества строительных материалов	18
1.8. Материалы будущего – прогнозы и перспективы	20
Аттестационные вопросы	24
РАЗДЕЛ 2	
КОНСТРУКЦИОННЫЕ И КОНСТРУКЦИОННО-ОТДЕЛОЧНЫЕ	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	25
2.1. Общие сведения о конструкционных и конструкционно-отделочных материалах.....	25
2.2. Древесина, ее свойства и область применения в строительной практике	26
2.3. Основные свойства природного камня. Развитие архитектурных форм из природного камня. Современные направления в использовании природного камня в архитектуре	32
2.4. Использование керамических изделий в архитектурно-строительной практике	38
2.5. Общие сведения, основные свойства, применение архитектурно-строительного стекла	46
2.6. Металлы в строительной практике. Свойства, область применения. Металлические конструкции	52
2.7. История развития и применения бетона и железобетона в архитектурно-строительной практике	71
2.8. Общие сведения, разновидности, применение обычного и цветного силикатного кирпича, силикатных бетонов	79
2.9. Внедрение пластмасс в архитектурно-строительную практику. Эксплуатационно-технические и эстетические свойства пластмасс. Номенклатура и ассортимент строительных материалов	82
2.10. Конструкционные материалы для дорожных покрытий. Клинкерный кирпич, дорожный бетон, асфальтобетон	86
Аттестационные вопросы	89
РАЗДЕЛ 3	
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	90
3.1 Общие сведения, классификация, разновидности, применение и основные свойства теплоизоляционных материалов	90
3.1.1. Общие сведения о теплоизоляционных материалах	90

3.1.2. Классификация теплоизоляционных строительных материалов	92
3.1.3. Основные свойства теплоизоляционных строительных материалов	94
3.1.4. Способы создания высокой пористости теплоизоляционных материалов	98
3.1.5. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия	99
3.1.5.1. Минераловатное волокно и изделия на его основе	99
3.1.5.2. Материалы и изделия из поризованных искусственных стекол .	101
3.1.5.3. Теплоизоляционные материалы и изделия из горных пород	102
3.1.5.4. Ячеистые бетоны	105
3.1.5.5. Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия .	105
3.1.5.6. Керамические теплоизоляционные изделия	107
3.1.6. Органические теплоизоляционные материалы	107
3.1.6.1. Теплоизоляционные материалы на основе древесины	108
3.1.6.2. Теплоизоляционные материалы на основе местного сырья	109
3.1.6.3. Полимерные теплоизоляционные материалы	111
3.2. Общие сведения, классификация, разновидности, применение и основные свойства акустических материалов	116
3.2.1. Общие сведения	116
3.2.2. Классификация акустических материалов и изделий	117
3.2.3. Звукопоглощающие материалы и изделия	118
3.2.4. Звукоизоляционные материалы и изделия	122
3.3. Применение и основные свойства гидро-, пароизоляционных и герметизирующих материалов	125
3.3.1. Общие сведения	125
3.3.2. Классификация гидроизоляционных материалов	126
3.3.3. Выбор гидроизоляционных материалов и их сроки службы	127
3.3.4. Гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей с модификацией полимерами	128
3.3.5. Гидроизоляционные материалы на основе полимеров	133
3.3.6. Герметизирующие материалы	136
3.4. Общие сведения, классификация и разновидности кровельных материалов ...	137
3.4.1. Общие сведения	137
3.4.2. Классификация кровельных материалов	138
3.4.3. Виды кровельных материалов	139
Аттестационные вопросы	146

РАЗДЕЛ 4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	147
4.1. Общие сведения и разновидности жаростойких материалов	147
4.1.1. Общие сведения	147
4.1.2. Основные виды жаростойких материалов и изделий	147
4.2. Общие сведения, классификация, основные свойства, основы технологии и разновидности огнеупорных материалов	150
4.2.1. Общие сведения	150
4.2.2. Классификация огнеупорных материалов	150
4.2.3. Свойства огнеупорных материалов	152
4.2.4. Основы технологии огнеупоров	152
4.2.5. Основные виды огнеупорных материалов	157
4.2.5.1. Кремнеземистые огнеупорные изделия	157
4.2.5.2. Алумосиликатные огнеупорные изделия	159

4.2.5.3. Магнезиальные огнеупорные изделия	163
4.2.5.4. Хромистые огнеупорные изделия	167
4.2.5.5. Углеродистые огнеупорные изделия	169
4.2.5.6. Карбонидные и нитридные огнеупорные материалы	172
4.2.5.7. Огнеупорные изделия из чистых окислов	175
4.2.6. Легковесные огнеупорные материалы	179
4.2.7. Мертели, растворы и защитные обмазки	186
4.2.8. Огнеупорные бетоны и набивные массы	188
4.3. Общие сведения, классификация и разновидности химически стойких материалов	193
4.3.1. Общие сведения и классификация химически стойких материалов	193
4.3.2. Разновидности химически стойких материалов	194
4.3.2.1. Химически стойкие изделия из природных каменных материалов	194
4.3.2.2. Химически стойкие изделия на основе ситаллов и шлакоситаллов, каменного литья	194
4.3.2.3. Химически стойкие изделия на основе керамики	196
4.3.2.4. Химически стойкие изделия на основе жидкого стекла	203
4.3.2.5. Химически стойкие изделия из кислотоупорного цемента и бетона	203
4.4. Общие сведения, свойства и разновидности материалов для защиты от радиации	204
4.4.1. Общие сведения	204
4.4.2. Виды радиоактивного излучения	206
4.4.3. Методы наблюдения и регистрации радиоактивных излучений и частиц	207
4.4.4. Источники ионизирующих излучений	207
4.4.4.1. Ядерные реакторы	208
4.4.5. Основные виды материалов для радиационной защиты	209
4.4.6. Виды защит от радиоактивного излучения	218
Аттестационные вопросы	220
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	220
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	221
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ЧУДЕСА СВЕТА	223
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. НОВЫЕ ЧУДЕСА СВЕТА	233
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ХРОНОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ ИЗОБРЕТЕНИЙ В ИСТОРИИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА	

Учебное издание

Усачев Александр Михайлович
Чернушкин Олег Аркадьевич

КОНСТРУКЦИОННЫЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Учебное пособие
для магистрантов, обучающихся по направлению «Строительство»

Редактор Аграновская Н.Н.

Подписано в печать 2010. Формат 60×84 1/16. Уч.- изд.л. 15,3
Усл. -печ.л. 15,4. Бумага писчая. Тираж 160 экз. Заказ № ____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии Воронежского
государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84