

**А. Г. Домокеев**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

**1989**

ББК 38.3  
Д 66  
УДК 691

Рецензент:

кафедра строительных материалов  
Белорусского ордена Трудового Красного Знамени  
политехнического института  
(доц., канд. техн. наук А. Э. Змачинский)

Домокеев А. Г.  
Д 66 Строительные материалы: Учеб. для строит. вузов. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. — 495 с.: ил.

ISBN 5-06-000152-0

В книге описаны основные виды строительных материалов, их свойства и рациональные области применения в строительстве во взаимосвязи с составом и строением материалов. Технологические процессы получения материалов освещены в объеме, который необходим студентам для понимания связи строения и свойств материала с особенностями его технологии.

Изложены основы методики преподавания курса «Строительные материалы» с учетом его многоплановости и сложности.

Учебник предназначен для студентов строительных специальностей высших учебных заведений инженерно-педагогического профиля (инженер-преподаватель строительных дисциплин); он может быть полезным студентам других строительных специальностей и инженерно-техническим работникам строительной индустрии.

Д 3306000000(4309000000)—224 220—89  
001(01)—89

ББК 38.3  
6С3

ISBN 5-06-000152-0

© Издательство «Высшая школа», 1982  
© Издательство «Высшая школа», 1989,  
с изменениями

## Предисловие

Учебник составлен в соответствии с программой курса «Строительные материалы» для строительных специальностей высших учебных заведений, но с учетом специфики подготовки инженеров-преподавателей строительных дисциплин. Данное обстоятельство предопределяет задачи и содержание учебника. По своему содержанию и направленности учебник должен обеспечить не только углубленные знания строительных материалов, но и получение студентами навыков по педагогическому восприятию и дальнейшей передаче этих знаний учащимся средних специальных учебных заведений и ПТУ.

В связи с этим в книге излагаются научные основы строительного материаловедения во взаимосвязи со сведениями прикладного характера, касающимися материалов, изделий и конструкций.

Особенность учебника — педагогическое направление, с использованием основных дидактических приемов на базе примеров из области строительных материалов, что позволит студентам направленно усваивать и перерабатывать полученную информацию. В книге определены основы методики изложения курса в целом с учетом его многоплановости и сложности, а также отдельных групп материалов, даны рекомендации по использованию технических средств обучения, методам контроля и методике организации самостоятельной работы учащихся.

Для ознакомления с экономикой строительных материалов в учебник введены отдельные положения и практические примеры, касающиеся технико-экономических условий применения материалов в строительстве.

В настоящем втором издании учебника по сравнению с первым наиболее существенно переработаны главы: «Основные свойства строительных материалов»; «Керамические материалы и изделия»; «Материалы и изделия из силикатных расплавов»; «Неорганические вяжущие вещества»; «Бетоны и изделия из них»; «Металлические материалы и изделия»; «Материалы и изделия из пластмасс». Учебник дополнен обобщающими вопросами для самостоятельной работы студентов над курсом.

Главы 6 и 7 написаны совместно с доц., канд. техн. наук Э. Г. Мурадовым.

Автор выражает благодарность за ценные замечания преподавателям кафедр строительных материалов Белорусского политехнического и Ленинградского строительного институтов.

Автор

## Введение

### ■ Значение строительных материалов в народном хозяйстве и развитие их производства.

Строительство как отрасль материального производства создает материальные условия для всего процесса общественного воспроизводства. По объему капитальных вложений СССР занимает первое место в мире. В 1981—1985 гг. общий объем капитальных вложений в народное хозяйство составил более 840 млрд. руб. В соответствии с Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено значительно увеличить за пятилетие капитальные вложения в народное хозяйство. Выполнение столь значительных объемов строительных работ требует развития и совершенствования материально-технической базы строительства, которой является производство строительных материалов, изделий и конструкций.

Строительство — одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства, потребляющая огромное количество строительных материалов и изделий. Затраты на материалы в сметной стоимости строительно-монтажных работ составляют более 50% и около одной трети капитальных вложений в народное хозяйство СССР. Примерно 25% грузовых перевозок железнодорожным транспортом и более 57% речным транспортом приходится на долю минеральных строительных материалов. Весьма значителен объем таких перевозок и автотранспортом. Удешевление строительных материалов, бережное отношение к ним при перевозках и хранении, а также технически обоснованное, экономное их расходование служат одним из важных путей к дальнейшему снижению стоимости строительства.

Для выполнения обширной строительной программы и резкого повышения эффективности и качества особое

значение имеют материалы и изделия для индустриального строительства и в первую очередь сборные крупногабаритные конструкции. Важнейшей особенностью такого строительства является переход к монтажу зданий и сооружений из сборных деталей и конструкций, объемных элементов, изготавливаемых механизированным путем на заводах. Это обеспечивает по сравнению с построечными условиями рост производительности труда, повышение качества продукции и снижение ее себестоимости. Строительное производство на строительной площадке превращается в комплексно-механизированный процесс сборки зданий, что приводит к сокращению сроков строительства, максимальной механизации труда рабочих, уменьшению их численности и в конечном счете к снижению стоимости строительства.

В решении задачи повышения эффективности строительства большое значение имеет снижение массы строительных конструкций. Уменьшение массы материалов на потребительскую единицу конструкции позволяет снизить затраты по их перевозке, уменьшить мощность монтажных и транспортных средств, укрупнить строительные конструкции и в конечном счете снизить трудоемкость и стоимость строительства. Это требует увеличения производства легких металлических и деревянных конструкций, легких и ячеистых бетонов, особо легких заполнителей, эффективных теплоизоляционных материалов, материалов из пластмасс и т. д.

Многообразие конструктивных решений зданий и сооружений, а также условий их эксплуатации порождает различия в требованиях строительства к свойствам строительных материалов.

С каждым годом возрастают требования к конструкциям, несущим нагрузки, и увеличивается производство предварительно напряженных железобетонных изделий. Для защиты ограждающих конструкций от климатических воздействий (холода, жары, дождя, снега и т. д.) требуются материалы, обладающие малыми гигроскопичностью, водопоглощением, теплопроводностью и достаточными морозо- и огнестойкостью. Повышение уровня внутреннего благоустройства и гигиенических требований зданий обуславливает развитие производства специальных материалов для водостоков, канализации, санитарной техники, обладающих водонепроницаемостью, химической стойкостью и другими свойствами. Повышение эстетических требований, предъявляемых к зданиям, спо-

способствует организации выпуска широкого ассортимента отделочных материалов.

В современном строительстве стремятся также шире использовать местные строительные материалы, т. е. такие материалы, места производства которых находятся вблизи строительных площадок. Развитие промышленности местных строительных материалов разгружает транспорт от перевозок на дальние расстояния, позволяет использовать для их изготовления побочные продукты других отраслей народного хозяйства (например, шлаки, золы и т. п.). Это значительно удешевляет строительство и способствует решению экологической проблемы, т. е. улучшению условий среды обитания, и дает общую экономию в народном хозяйстве.

До Великой Октябрьской социалистической революции ассортимент отечественных строительных материалов был весьма ограничен (древесина, стекло, кирпич, черепица, известь, гипс). Материалы выпускались на мелких слабо механизированных предприятиях сезонного типа, размещенных лишь в крупных промышленных центрах европейской части России.

За годы Советской власти в нашей стране создана многоотраслевая промышленность строительных материалов. Уже до начала Великой Отечественной войны были коренным образом перевооружены и реконструированы действующие предприятия, построены десятки новых крупных заводов по производству кирпича, вяжущих материалов, стекла и начат выпуск более эффективных материалов (строительной керамики, силикатного кирпича, кровельного и облицовочного шифера, асбестоцементных труб, рубероида, изоляционных и других материалов). Началось освоение выпуска укрупненных деталей для индустриального строительства (шлакобетонных блоков, сухой гипсовой штукатурки и др.).

В послевоенный период темпы и масштабы развития строительства и его материальной базы резко возросли, был достигнут устойчивый опережающий рост производства промышленности строительных материалов по сравнению с объемами строительно-монтажных работ. Уже к концу первой послевоенной пятилетки (1950) уровень производства строительных материалов превышал довоенный примерно в 2 раза. Еще более быстрому темпу роста производства строительных материалов после 1950 г. способствовали постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР по вопросам строительства, принятые

в 1954—1955 гг. На основе значительных капиталовложений, повышения уровня концентрации производства, оснащения промышленности строительных материалов современной высокопроизводительной техникой и более равномерного и рационального размещения предприятий строительных материалов по территории СССР удалось достичь не только высоких темпов роста, но и обеспечить качественные изменения в составе продукции промышленности строительных материалов. Существенно возросло применение сборного железобетона. Если до 1958 г. крупнопанельное жилищное строительство было преимущественно экспериментальным, то в настоящее время его удельный вес в общем объеме жилищного строительства превысил 40 %.

Советский Союз производит в настоящее время цемента, асбестоцементных листовых материалов и труб, сборного железобетона, оконного стекла, стеновых материалов больше, чем любая страна мира.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, принятых XXVII съездом КПСС, определены задачи в области дальнейшего развития производства прогрессивных материалов и конструкций. В частности, предусмотрено увеличить производство цемента, улучшить его качество, наращивать выпуск новых строительных материалов, эффективных сборных строительных элементов, прогрессивных крупногабаритных конструкций и изделий с высокой степенью заводской готовности, обеспечивающих повышение уровня индустриализации, снижение материалоемкости и стоимости строительства, а также долговечность, комфортабельность и архитектурную выразительность зданий и сооружений. Шире использовать материалы попутной добычи, вторичное сырье и отходы других отраслей для производства строительных материалов, безотходные и энергосберегающие технологии. Расширить ассортимент и объем поставки высококачественной продукции для нужд населения, в том числе местных строительных материалов.

#### ■ Задачи курса строительных материалов.

Качество, долговечность и стоимость сооружений в большой мере зависят от правильного выбора и применения материалов. Для того чтобы рационально использовать строительные материалы, строитель должен

знать свойства и назначение каждого из них. Знание свойств и особенностей материалов дает возможность строителю: выбрать материал с соответствующими свойствами для каждой части сооружения с учетом эксплуатационной среды; правильно применить наилучшие приемы его обработки и укладки в сооружение; при необходимости заменить один материал на другой без ухудшения качества сооружения или принять меры по защите материалов от коррозии; наконец, организовать правильное транспортирование и хранение материала, чтобы не допустить понижения его качества. При решении этих задач строитель должен уметь оценивать свойства материалов числовыми показателями и хорошо разбираться в методических принципах их определения. Все эти вопросы изучаются в курсе «Строительные материалы», что подчеркивает его большое значение в общем плане подготовки специалистов-строителей. Курс базируется на ряде дисциплин общетеоретического цикла (химии, физике, геологии, математике, сопротивлении материалов), и, в свою очередь, тесно связан с другими специальными дисциплинами, являясь базой для их изучения (строительные конструкции, архитектура, технология строительного производства, экономика и др.).

Инженеры-преподаватели строительных дисциплин, для подготовки которых предназначен данный учебник, кроме углубленных знаний строительных материалов должны получить навыки по педагогическому восприятию и дальнейшей передаче этих знаний учащимся средних специальных учебных заведений и ПТУ. Поэтому им необходимо усвоить основы методики изложения дисциплины «Строительные материалы» с учетом ее многоплановости и сложности, в известной мере изучить технические средства обучения, методы контроля знаний и методические приемы организации самостоятельной работы учащихся.

### ■ Общая методика преподавания курса «Строительные материалы».

Многообразие материалов, применяемых в строительстве, делает изучение их свойств и особенностей применения достаточно сложным. Но общим для всех материалов является связь свойств материала с особенностями его строения и со свойствами тех веществ, из которых данный материал состоит. Поэтому для успешного изу-

чения курса строительных материалов необходимо прежде всего усвоить связь между свойствами, составом и строением материалов. Разные способы обработки одного и того же сырья дают материалы с различным строением и, следовательно, с разными свойствами, поэтому технологические приемы изготовления и обработки материалов в курсе строительных материалов следует рассматривать в такой подробности, чтобы оценить влияние этих приемов на строение и свойства получаемого материала. На основе глубокого изучения связи между свойствами материала и его составом и строением, сущности главнейших технологических процессов учащийся должен научиться грамотно оценивать качество материалов и находить области и практические приемы наиболее рационального их применения в практике строительства.

Начать изложение курса «Строительные материалы» целесообразно с рассказа о важности их в строительстве, основных направлениях технического прогресса, а также ознакомить учащихся с объемом дисциплины, планом ее изучения, видами занятий и контроля за самостоятельной работой. Здесь и далее на всех видах занятий нельзя забывать о воспитательном направлении курса, используя для этого примеры, показывающие большие достижения нашей промышленности, отечественных ученых и новаторов строительного производства, а также знакомя учащихся с развитием зарубежной науки и техники в области строительных материалов.

Ограниченное время, отводимое на изучение курса, обязывает выделить наиболее сложные темы для чтения лекций, проведения практических и лабораторных занятий, семинаров и экскурсий.

На лекциях необходимо разъяснить наиболее сложные вопросы дисциплины. Они должны носить методический характер и содержать рекомендации о том, каким образом учащийся должен работать с рекомендуемой литературой.

Учитывая контингент и целевую направленность подготовки учащихся средних специальных учебных заведений, особенно в ПТУ, многие вопросы курса «Строительные материалы» следует изучать на практических занятиях (в лаборатории, мастерских, на экскурсиях, семинарах). Во время этих занятий конкретизируются и закрепляются знания, полученные на лекциях и при самостоятельном изучении по рекомендуемой литературе.

На практических занятиях развиваются навыки и уме-

ния по применению методов данной дисциплины к решению задач в области рационального использования строительных материалов. Кроме того, на этих занятиях воспитываются инициатива, самостоятельность в работе, умение разбираться в исходных данных, анализировать и принимать решения. Задачи и примеры следует подбирать так, чтобы они отражали идеи метода при минимальном расходе времени на арифметические расчеты, графику и т. д. На практических занятиях и упражнениях учащиеся должны широко использовать справочники, ГОСТы, ТУ, а также разные наглядные пособия (плакаты, модели, макеты, образцы и т. п.). Перед началом практических занятий преподаватель проверяет готовность учащихся к ним (задает контрольные вопросы, просматривает выполнение домашних заданий, указывая на замеченные недостатки и пути их исправления).

Особое внимание должно быть уделено организации и проведению лабораторных занятий по курсу. На лабораторных занятиях учащиеся имеют возможность увязывать теорию с практикой, получают навыки научно-исследовательского характера, развивают наблюдательность, аккуратность, точность, приобретают навыки обращения с экспериментальной аппаратурой. Организовать проведение лабораторных работ следует так, чтобы все учащиеся вели самостоятельную работу. Они должны иметь план выполнения лабораторных работ и обязательно готовиться к их выполнению по указанной в плане литературе. Для большей эффективности лабораторных занятий целесообразно каждую лабораторную работу обеспечить методическими указаниями, в которых кратко изложить цель работы, описание и схему установки, отправные данные. Для занесения результатов наблюдений и подсчетов учащиеся должны обеспечиваться рабочими журналами или бланками, в которые включают ряд обязательных элементов (описание методики, способ расчета, оценку точности полученных результатов и т. д.).

Перед выполнением каждой лабораторной работы преподаватель проверяет теоретическую подготовку учащегося, уточняет методику, а затем наблюдает, консультирует, контролирует и оценивает работу каждого учащегося.

Важное значение при изучении курса «Строительные материалы» имеют экскурсии на передовые стройки и предприятия, строительные выставки и т. п., где уча-

щиеся могут познакомиться с реальными конструкциями и технологией их изготовления, организацией производства, контролем качества, мерами охраны труда и т. д. Перед каждой экскурсией преподаватель знакомит учащихся с объектом экскурсии, а после ее проведения проводит опрос учащихся, анализирует их отчеты и отвечает на возникшие вопросы.

Важным элементом в учебном процессе являются семинарские занятия, которые помогают учащимся в развитии и совершенствовании самостоятельной работы над курсом. В основе семинарских занятий должно быть углубление теоретических знаний учащихся без увлечения контрольными функциями, чтобы не появлялся вопросно-ответный стиль. План семинарских занятий целесообразно раздать учащимся заранее и организовать консультации, предварительные беседы, подготовку наглядных пособий, демонстрацию опытов.

Работая над курсом «Строительные материалы», учащиеся должны познакомиться со многими материалами, изучить их свойства, усвоить много новых терминов, наименований. Подобная работа требует запоминания, поэтому организация систематической работы учащихся с использованием всех методических приемов является первейшей обязанностью преподавателя. Помощь в этой работе могут оказать технические средства обучения и контроля.

Непрерывный контроль за самостоятельной работой учащихся и за их успеваемостью является одним из важнейших методических элементов овладения курсом, который побуждает учащихся к систематической работе над ним и в то же время позволяет преподавателю активно вмешиваться в самостоятельную работу учащихся и организовать им необходимую помощь. Заключительным этапом такого контроля являются зачеты и экзамены. Перед их проведением преподаватель должен разъяснить учащимся, как наилучшим образом подготовиться к ним и при необходимости повторить наиболее сложные части дисциплины.

Методические особенности преподавания каждой конкретной группы материалов изложены в соответствующих разделах курса.

## Глава 1

### ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1.1. Общие сведения

Чтобы легче ориентироваться в многообразии строительных материалов и изделий, их классифицируют по назначению, исходя из условий работы материалов в сооружениях, или по технологическому признаку, учитывая вид сырья, из которого получают материал, и способ изготовления.

По назначению материалы можно условно разделить на две группы: конструкционные и материалы специального назначения.

■ *Конструкционные материалы*, применяемые главным образом для несущих конструкций, различают следующие: 1) природные каменные; 2) вяжущие; 3) искусственные каменные, получаемые: а) омоноличиванием с помощью вяжущих веществ (бетон, железобетон, растворы); б) спеканием (керамические материалы); в) плавлением (стекло и ситаллы); 4) металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы); 5) полимеры; 6) древесные; 7) композиционные (асбестоцемент, бетонополимер, фибробетон, стеклопластик и др.).

■ Строительные материалы *специального назначения*, необходимые для защиты конструкций от вредных воздействий среды или повышения эксплуатационных свойств и создания комфорта, следующие: 1) теплоизоляционные; 2) акустические; 3) гидроизоляционные, кровельные и герметизирующие; 4) отделочные; 5) антикоррозионные; 6) огнеупорные; 7) материалы для защиты от радиационных воздействий и др.

Каждый материал обладает комплексом разнообразных свойств, определяющих область его рационального применения и возможность сочетания с другими материалами.

● *Свойство* — способность материала определенным образом реагировать на отдельный или чаще всего действующий в совокупности с другими внешний или внутренний фактор. Действие того или другого фактора обусловлено как составом и строением материала, так и эксплуатационными условиями материала в конструкции зданий и сооружений.

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

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

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

Плотность, пористость, прочность — это основные характеристики всех строительных материалов, служащие как для оценки качества и особенностей применения ма-

териала, так и для различных технико-экономических расчетов. Некоторые же свойства являются специальными и важными при выборе материала лишь для некоторых условий эксплуатации (стойкость против воздействия солей, кислот, щелочей, морозостойкость, теплопроводность и т. д.).

Специальные технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке. Например, для каменных материалов важной является способность шлифоваться и полироваться. Податливость к сравнительно легкой формовке глин и бетонных смесей при производстве строительных изделий является важной технологической характеристикой.

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

По ряду признаков часто выделяют четыре основные группы технических свойств: физические, механические, химические и технологические.

## 1.2. Связь состава, структуры и свойств

Свойства материалов в большей мере связаны с особенностями их строения и со свойствами тех веществ, из которых данный материал состоит. В свою очередь, строение материала зависит: для природных материалов — от их происхождения и условий образования, для искусственных — от технологии производства и обработки материала. Поэтому строителю при изучении курса строительных материалов необходимо прежде всего усвоить эту связь. При этом технологию и обработку материалов следует рассматривать с точки зрения влияния их на строение и свойства получаемого материала.

Строительный материал характеризуется химическим, минеральным и фазовым составами.

● В зависимости от *химического состава* все материалы делят: на *органические* (древесные, битум, пластмассы и т. п.), *минеральные* (бетон, цемент, кирпич, природный камень и т. п.) и *металлы* (сталь, чугун, алюминий). Каждая из этих групп имеет свои особенности. Так, все органические материалы горючи, а минеральные — огнестойки; металлы хорошо проводят электричество и теплоту. Химический состав позволяет судить и о других технических характеристиках (биостойкости, проч-

ности и т. д.). Химический состав некоторых материалов (неорганические вяжущие вещества, каменные материалы) часто выражают количеством содержащихся в них оксидов.

● Оксиды, химически связанные между собой, образуют минералы, которые характеризуют *минеральный состав* материала. Зная минералы и их количество в материале, можно судить о свойствах материала. Например, способность неорганических вяжущих веществ твердеть и сохранять прочность в водной среде, обусловлена присутствием в них минералов силикатов, алюминатов, ферритов кальция, причем при большом их количестве ускоряется процесс твердения и повышается прочность цементного камня.

● При характеристике *фазового состава* материала выделяют: твердые вещества, образующие стенки пор («каркас» материала), и поры, заполненные воздухом и водой. Фазовый состав материала и фазовые переходы воды в его порах оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации.

● Не меньшее влияние на свойства материала оказывают его *макро- и микроструктура* и *внутреннее строение веществ*, составляющих материал, на молекулярном уровне.

● *Макроструктура материала* — строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении. *Микроструктура материала* — строение, видимое под микроскопом. *Внутреннее строение веществ* изучают методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т. д.

● Во многом свойства материала определяют *количество, размер и характер пор*. Например, пористое стекло (пеностекло) в отличие от обычного непрозрачное и очень легкое.

Форма и размер частиц твердого вещества также влияют на свойства материала. Так, если из расплава обычного стекла вытянуть тонкие волокна, то получится легкая и мягкая стеклянная вата.

В зависимости от формы и размера частиц и их строения макроструктура твердых строительных материалов может быть зернистой (рыхлозернистой или конгломератной), ячеистой (мелкопористой), волокнистой и слоистой.

● *Рыхлозернистые* материалы состоят из отдельных, не связанных одно с другим зерен (песок, гравий, порошок

кообразные материалы для мастичной теплоизоляции и засыпок и др.).

● *Конгломератное строение*, когда зерна прочно соединены между собой, характерно для различных видов бетона, некоторых видов природных и керамических материалов и др.

● *Ячеистая* (мелкопористая) *структура* характеризуется наличием макро- и микропор, свойственных газопонобетонам, ячеистым пластмассам, некоторым керамическим материалам.

● *Волокнистые и слоистые материалы*, у которых волокна (слои) расположены параллельно одно другому, обладают различными свойствами вдоль и поперек волокон (слоев). Это явление называется анизотропией, а материалы, обладающие такими свойствами, — анизотропными. Волокнистая структура присуща древесине, изделиям из минеральной ваты, а слоистая — рулонным, листовым, плитным материалам со слоистым наполнителем (бумопласт, текстолит и др.).

● По взаимному расположению атомов и молекул материалы могут быть *кристаллическими и аморфными*. Неодинаковое строение кристаллических и аморфных веществ определяет и различия в их свойствах. Аморфные вещества, обладая нерастроченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны, чем кристаллические такого же состава (например, аморфные формы кремнезема — пемзы, туфы, трепелы, диатомиты и кристаллический кварц).

Существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании имеют определенную температуру плавления (при постоянном давлении), а аморфные размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние.

Прочность аморфных веществ, как правило, ниже кристаллических, поэтому для получения материалов повышенной прочности специально проводят кристаллизацию, например стекол при получении стеклокристаллических материалов — ситаллов и шлакоситаллов.

Неодинаковые свойства могут наблюдаться у кристаллических материалов одного и того же состава, если они формируются в разных кристаллических формах, называемых модификациями (явление полиморфизма). Например, полиморфные превращения кварца сопровождаются изменением объема. Изменением свойств материала

путем изменения кристаллической решетки пользуются при термической обработке металлов (закалке или отпуске).

### 1.3. Стандартизация свойств. Марки материалов

Свойства материалов оценивают количественно, т. е. по числовым показателям, устанавливаемым путем испытаний по специальным методикам, предусмотренным государственными стандартами или техническими условиями.

В нашей стране во всех отраслях народного хозяйства действует государственная система стандартизации (ГСС), чем создается эффективность действия стандартов как одного из средств ускорения научно-технического прогресса и повышения качества продукции.

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

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

● Основные положения строительного проектирования, производства строительных работ и требования к строительным материалам и изделиям регламентируются *Строительными нормами и правилами* (СНиП), обязательными для всех организаций и предприятий. СНиПы разработаны с учетом развития строительной индустрии, внедрения передовой техники в строительство, максимального использования в строительстве изделий и конструкций заводского изготовления. Решением постоянной комиссии СЭВ по строительству СНиП взят за основу унифицированных норм и правил в области строительства для всех стран — членов СЭВ.

● Методическую основу стандартизации размеров в проектировании, изготовлении строительных изделий

и возведении сооружений составляет *модульная координация размеров в строительстве* (МКРС), представляющая собой совокупность правил координации размеров элементов зданий и сооружений, строительных изделий и оборудования на базе основного модуля, равного 100 мм (обозначается 1 М). Применение МКРС позволяет унифицировать и сократить число типоразмеров строительных изделий из разных материалов или отличающихся по конструкции. В МКРС входят и производные модули, которые получают путем умножения основного модуля на целые или дробные коэффициенты. При умножении на целые коэффициенты образуются укрупненные модули (от 2М до 60М), а при умножении на коэффициенты менее единицы — дробные модули (от 1/2М до 1/100М).

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

Деление на марки по прочности является основным для материалов и изделий, из которых изготавливают несущие конструкции. СНиП устанавливает единую шкалу марок по пределу прочности при сжатии (МПа): 0,4; 0,7; 1,0; 1,5; 2,5; 3,5; 5; ...; 100. Для теплоизоляционных материалов ведущим признаком деления на марки принята плотность (кг/м<sup>3</sup>): 10; 15; 25; ...; 600. Для ряда материалов предусмотрена маркировка по показателю морозостойкости — количеству циклов, которое должен выдержать материал без допустимых признаков разрушения: F10, F25 и т. д.

● Некоторые материалы и изделия (отделочные материалы, лесные материалы и др.) по наличию внешних дефектов делят на *сорта*.

Определение показателей технических свойств связано с измерениями, т. е. со сравнением с другой, однородной величиной, принятой за единицу. Совокупность единиц, образованная по определенному принципу, называется системой единиц. В нашей стране принята Международная система единиц (СИ). Наряду с СИ еще используют и прежние системы — СГС и МКГСС.

#### 1.4. Физические свойства

■ **Свойства, характеризующие особенности физического состояния материалов.**

Физическое состояние строительных материалов до-

статочно полно характеризуется средней и истинной плотностью и пористостью.

● *Средняя плотность* (в дальнейшем изложении *плотность*, г/см<sup>3</sup>) — *масса единицы объема материала в естественном виде (вместе с порами)*

$$\rho_t = m/V, \quad (1.1)$$

где  $m$  — масса образца материала соответственно, г;  $V$  — объем образца в естественном виде, см<sup>3</sup>.

При изменении температуры и влажности среды, окружающей материал, меняются его влажность, а следовательно, и плотность. Поэтому показатель плотности определяют после предварительной просушки материала до постоянной массы или вычисляют по формуле

$$\rho_m = \rho_{mb}/(1 + \omega), \quad (1.2)$$

где  $\omega$  — количество воды в материале (доля от его массы).

● *Насыпная плотность*  $\rho_n$  (г/см<sup>3</sup>) — *отношение массы материала в насыпном состоянии к его объему*. Насыпную плотность определяют для сыпучих материалов (песка, щебня, цемента и т. п.). В ее величине отражается влияние не только пор в каждом зерне (или куске), но и межзерновых пустот в рыхлонасыпанном объеме материала.

Плотность материала является нужной характеристикой при расчете прочности сооружения с учетом собственной массы, для определения способа и стоимости перевозки материала, для расчета складов и подъемно-транспортного оборудования. По величине плотности косвенно судят о некоторых других свойствах материала. Например, для каменных материалов существует приближенная зависимость между плотностью и теплопроводностью, а для древесины и некоторых каменных материалов (известняков) — между прочностью и плотностью.

Плотность различных строительных материалов колеблется в очень широких пределах (табл. 1.1).

● *Истинная плотность*  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) — *масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии*. Истинная плотность каждого вещества — постоянная характеристика (физическая константа), которая не может быть изменена, как средняя плотность материала, без изменения его химического состава или молекулярной структуры. В этом заключается существенное отличие истинной плотности от средней.

Таблица 1.1. Плотность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м³	
	средняя	истинная
Сталь	7850	7800...7900
Гранит	2500...2900	2700...3000
Известняк (плотный)	1600...2400	2400...2600
Песок	1500...1700	2500...2600
Глина	1600...1800	2500...2700
Цемент	1100...1350	~3100
Кирпич керамический обыкновенный	1600...1900	2600...2700
Кирпич керамический пористый	600...1400	2600...2700
Бетон тяжелый	1800...2500	2500...2600
Сосна	400...600	1550...1600
Мипора	10...20	—

Истинная плотность

$$\rho = m/V_a, \quad (1.3)$$

где  $m$  — масса материала, г;  $V_a$  — объем в абсолютно плотном состоянии (без пор), см³;  $V_a = V - V_n$ ;  $V$  — объем материала в естественном состоянии;  $V_n$  — объем заключающихся в нем пор.

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

● Часто плотность материала относят к плотности воды при 4 °С, равной — 1 г/см³, и тогда определяемая плотность становится как бы безразмерной величиной, которую называют относительной плотностью  $d$ .

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

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

$$k_{пл} = V_a/V. \quad (1.4)$$

После подстановки в формулу значений  $V_a$  и  $V$

$$k_{пл} = \rho_m/\rho, \text{ или } k_{пл} = (\rho_m/\rho) 100\%. \quad (1.5)$$

● Пористость — относительная величина, показывающая, какая часть объема материала занята внутренними порами. По значению пористость дополняет коэффициент плотности до 1 или до 100 % и определяется по формуле

$$P = 1 - \rho_m/\rho \text{ или } P = (1 - \rho_m/\rho) 100\%. \quad (1.6)$$

Экспериментальный (прямой) метод определения пористости основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием и описан ранее.

● Поры представляют собой ячейки, не заполненные структурным материалом. По величине они могут быть от миллионных долей миллиметра до нескольких миллиметров.

● Более крупные поры, например между зернами сыпучих материалов, или полости, имеющиеся в некоторых изделиях (пустотелый кирпич, панели из железобетона), называют пустотами. Поры обычно заполнены воздухом или водой; в пустотах, особенно в широкополостных, вода не может задерживаться и вытекает.

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

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

Сведения о пористости материала позволяют определять целесообразные области его применения.

■ **Свойства, определяющие отношение материалов к различным физическим процессам.**

Среди физических процессов наибольшее значение в практике имеют воздействия водной и паровой среды, тепловые воздействия, распространение звуковых волн, электротока, ядерных излучений и т. п. Отношение материала к статическому или циклическому воздействию воды или пара характеризуется гидрофизическими свойствами (гигроскопичность, капиллярное всасывание, водопоглощение, водостойкость, водопроницаемость, паропроницаемость, влажностные деформации, морозостойкость).

● **Гигроскопичность** — способность материала поглощать и конденсировать водяные пары из воздуха. Гигроскопичность вызывается сорбцией, представляющей собой физико-химический процесс поглощения водяных паров из воздуха как в результате их адсорбции на внутренней поверхности материала, так и капиллярной конденсации. Капиллярная конденсация возможна только в капиллярах с малым радиусом (менее  $10^{-7}$  м), так как разность давлений насыщенного водяного пара над вогнутой поверхностью мениска и плоской поверхностью в капиллярах с большим радиусом незначительна. Гигроскопичность зависит как от свойств материала — величины и характера пористости, так и от условий внешней среды — температуры и относительной влажности, а для сыпучих материалов также от их растворимости в воде и дисперсности и снижением температуры воздуха. Этот процесс носит обратимый характер. Гигроскопичность характеризуется величиной отношения массы поглощенной материалом влаги, при относительной влажности воздуха 100 % и температуре  $20^\circ\text{C}$ , к массе сухого материала, выраженной в процентах.

● **Капиллярное всасывание (подъем) воды пористым материалом происходит по капиллярным порам, когда часть конструкции соприкасается с водой.** Например, грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Капиллярными называют поры с такими условными радиусами, при которых их капиллярный потенциал (потенциальная энергия поля капиллярных сил, отнесенных к единице массы жидкости) значительно больше потенциала поля тяжести.

Капиллярное всасывание характеризуется высотой поднятия уровня воды в капиллярах материала, коли-

чеством поглощенной воды и интенсивностью всасывания.

При качественном рассмотрении явления высоту поднятия жидкости  $h$  в капилляре можно определить по формуле Жюрена:

$$h = 2\sigma \cos \theta / (r\rho g), \quad (1.7)$$

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

Более точно, учитывая неправильную форму пор в материале и их изменяющееся поперечное сечение, высоту всасывания воды определяют экспериментально по методу «меченых атомов» либо по измерению электропроводности материала.

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

$$V^2 = Kt, \quad (1.8)$$

где  $K$  — константа всасывания.

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

● **Водопоглощение** — свойство материала поглощать и удерживать воду при непосредственном с ней соприкосновении. Количество поглощенной образцом материала воды, отнесенное к его массе в сухом состоянии, называют водопоглощением по массе, а отнесенные к его объему — водопоглощением по объему:

$$W_m = [(m_b - m_c) / m_c] 100\%, \quad (1.9)$$

$$W_c = [(m_b - m_c) / (\rho_b V)] 100\%, \quad (1.10)$$

где  $m_c$  и  $m_b$  — масса материала соответственно в сухом и насыщенном водой состоянии, кг;  $\rho_b$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

После почленного деления этих двух выражений устанавливается зависимость:

$$W_0 = W_m d. \quad (1.11)$$

Для оперативного контроля влажности преимущественно сыпучих материалов (например, заполнителей для бетона — песка, щебня) применяют диэлькометрический и нейтронный методы. Диэлькометрический метод измерения основан на зависимости между влажностью и диэлектрической проницаемостью материала. В нейтронном методе используется связь влажности и степени замедления быстрых нейтронов, проходящих через материал.

Водопоглощение по объему отражает степень заполнения пор материала водой. Так как вода проникает не во все замкнутые поры и не удерживается в открытых

пустотах, объемное водопоглощение меньше истинной пористости.

● *Коэффициент насыщения пор водой* — отношение водопоглощения по объему к пористости

$$k_n = W_0/P \quad (1.12)$$

позволяет оценить структуру материала. Он может изменяться от 0 (все поры в материале замкнуты) до 1 (все поры открыты, т. е.  $W_0 = P$ ). Уменьшение  $k_n$  (при той же пористости) свидетельствует о сокращении открытой пористости, что проявляется в повышении морозостойкости.

При насыщении материала водой существенно изменяются его свойства: увеличивается плотность и теплопроводность, происходят некоторые структурные изменения в материале, вызывающие появление в нем внутренних напряжений, что, как правило, приводит к снижению прочности материала.

● *Влажностные деформации* — изменение размеров и объема материала при изменении его влажности. Уменьшение размеров и объема материала при его высыхании называют усадкой (усушкой), а увеличение размеров и объема при увлажнении вплоть до полного насыщения материала водой — набуханием (разбуханием). Усадка возникает и увеличивается в результате уменьшения толщины слоев воды, окружающих частицы материала, и действием внутренних капиллярных сил, стремящихся сблизить частицы материала. Набухание связано с тем, что полярные молекулы воды, проникая между частицами или волокнами, слагающими материал, как бы расклинивают их, при этом утолщаются гидратные оболочки вокруг частиц исчезают внутренние мениски, а с ними и капиллярные силы. Материалы высокопористого и волокнистого строения, способные поглощать много воды, характеризуются большой усадкой (древесина поперек волокон 30...100 мм/м; ячеистый бетон 1...3 мм/м; кирпич керамический 0,03...0,1 мм/м; тяжелый бетон 0,3...0,7 мм/м; гранит 0,02...0,06 мм/м).

● *Водостойкость* — способность материала сохранять прочность при увлажнении. Числовой характеристикой водостойкости является коэффициент размягчения

$$k_p = R_b/R_c, \quad (1.13)$$

где  $R_b$  и  $R_c$  — предел прочности при сжатии соответственно водонасыщенного и сухого образца, МПа.

Этот коэффициент изменяется от 0 (полностью размокающие материалы, например необожженные глиняные материалы) до величины, близкой к 1 (сталь, стекло, гранит). К водостойким относятся строительные материалы, коэффициент размягчения которых больше 0,8. Эти материалы разрешается применять в сырых местах без специальных мер по защите их от увлажнения.

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

Многократное гигроскопическое увлажнение и высушивание вызывает в материале знакопеременные напряжения и со временем приводит к потере им несущей способности.

● *Влагоотдача* — свойство, характеризующее скорость высыхания материала, при наличии соответствующих условий в окружающей среде (понижение влажности, нагрев, движение воздуха). Влагоотдача обычно характеризуется количеством воды, которое материал теряет в сутки при относительной влажности воздуха 60 % и температуре 20 °С. В естественных условиях вследствие влагоотдачи, через некоторое время после строительства, устанавливается равновесие между влажностью строительных конструкций и окружающей средой. Такое состояние равновесия называют воздушно-сухим (воздушно-влажным) состоянием.

● *Водопроницаемость* — способность материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 с через 1 м<sup>2</sup> поверхности материала при заданном давлении воды. Для определения водопроницаемости используют различные устройства, позволяющие создавать нужное одностороннее давление воды на поверхность материала. Методика определения зависит от назначения и разновидности материала. Водопроницаемость зависит от плотности и строения материала. Чем больше в материале пор и чем эти поры крупнее, тем больше его водопроницаемость.

● При выборе материалов для специальных целей (кровельные материалы, бетоны для гидротехнических сооружений, трубы и др.) чаще оценивают не водопроницаемость, а *водонепроницаемость, характеризующуюся периодом времени, по истечении которого появляются признаки просачивания воды под определенным давлением*

через образец испытуемого материала (кровельные материалы), или предельной величиной давления воды ( $P_a$ ), при котором вода не проходит через образец (например, бетон).

● *Паропроницаемость и газопроницаемость* — способность материала пропускать через свою толщину водяной пар или газы (воздух). Паропроницаемость характеризуется коэффициентом паропроницаемости, численно равным количеству водяного пара, проникающего через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 с, и разностью парциальных давлений пара в 133,3 Па. Аналогичным коэффициентом оценивается и газопроницаемость (воздухопроницаемость). Эти характеристики определяются для комплексной оценки физических свойств строительного материала или при его специальном назначении. Материалы для стен жилых зданий должны обладать определенной проницаемостью (стена должна «дышать»), т. е. через наружные стены происходит естественная вентиляция. Наоборот, стены и покрытия влажных помещений необходимо защищать с внутренней стороны от проникновения в них водяного пара, особенно зимой, когда содержание пара внутри помещения значительно больше, чем снаружи, и пар, проникая в холодную зону ограждения, конденсируется, резко повышает влажность в этих местах. В ряде случаев необходима практически полная газонепроницаемость (емкости для хранения газов и др.).

● *Морозостойкость* — свойство материала, насыщенного водой, выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без значительных признаков разрушения и снижения прочности. От морозостойкости в основном зависит долговечность материалов, применяемых в наружных зонах конструкций различных зданий и сооружений. Разрушение материала при таких циклических воздействиях связано с появлением в нем напряжений, вызванных как односторонним давлением растущих кристаллов льда в порах материала, так и всесторонним гидростатическим давлением воды, вызванным увеличением объема при образовании льда примерно на 9 % (плотность воды равна 1, а льда — 0,917). При этом давление на стенки пор может достигать при некоторых условиях сотен МПа. Очевидно, что при полном заполнении всех пор и капилляров пористого материала водой разрушение может наступить даже при однократном замораживании. Однако у многих пористых

материалов вода не может заполнить весь объем доступных пор, поэтому образующийся при замерзании воды лед имеет свободное пространство для расширения. При насыщении пористого материала в воде в основном заполняются водой макрокапилляры, микрокапилляры при этом заполняются водой частично и служат резервными порами, куда отжимается вода в процессе замораживания.

При работе пористого материала в атмосферных условиях (наземные конструкции) водой заполняются в основном микрокапилляры за счет сорбции водяных паров из окружающего воздуха; крупные же поры и макрокапилляры являются резервными. Следовательно, морозостойкость пористых материалов определяется величиной и характером пористости и условиями эксплуатации изготовленных из них конструкций. Она тем выше, чем меньше водопоглощение и больше прочность материала при растяжении. Учитывая неоднородность строения материала и неравномерность распределения в нем воды, удовлетворительную морозостойкость можно ожидать у пористых материалов, имеющих объемное водопоглощение не более 80 % объема пор ( $k_n < 0,8$ ). Разрушение материала наступает только после многократного попеременного замораживания и оттаивания.

Морозостойкость характеризуется числом циклов попеременного замораживания при  $-15$ ,  $-17$  °С и оттаивания в воде при температуре около 20 °С. Выбор температуры замораживания не выше  $-15$ ,  $-17$  °С вызван тем, что при более высокой температуре вода, находящаяся в мелких порах и капиллярах, не может вся замерзнуть. Число циклов (марка), которые должен выдерживать материал, зависит от условий его будущей службы в сооружении, климатических условий и указывается в СНиПах и ГОСТах на материалы.

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

Для определения морозостойкости иногда используют ускоренный метод, например с помощью сернистого натрия. Кристаллизация этой соли из насыщенных паров при ее высыхании в порах образцов воспроизводит механическое действие замерзающей воды,

но в более сильной степени, так как образующиеся кристаллы крупнее (значительное увеличение объема). Один цикл таких испытаний приравнивается 5...10 и даже 20 циклам прямых испытаний замораживанием. С некоторым приближением о морозостойкости можно косвенно судить по величине коэффициента размягчения. Большое понижение прочности вследствие размягчения материала (больше 10 %) указывает, что в материале есть глинистые или другие размокающие частицы, что отрицательно сказывается и на морозостойкости материала.

Отношение материала к постоянному или переменному тепловому воздействию характеризуется его теплопроводностью, теплоемкостью, термической стойкостью, огнестойкостью, огнеупорностью.

● *Теплопроводность — свойство материала передавать теплоту через толщину от одной поверхности к другой.* Теплопроводность  $\lambda$  [Вт/(м·°С)] характеризуется количеством теплоты (Дж), проходящей через материал толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup> в течение 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях материала 1 °С.

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

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

связь между теплопроводностью и относительной плотностью  $d$  (формула В. П. Некрасова):

$$\lambda = 1,16 \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16. \quad (1.14)$$

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

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

Теплопроводность материалов учитывается при теплотехнических расчетах толщины стен и перекрытий отапливаемых зданий, а также при определении требуемой толщины тепловой изоляции горячих поверхностей и холодильников. Она связана с *термическим сопротивлением* слоя материала  $R$  (м<sup>2</sup>·°С/Вт), которое определяется по формуле

$$R = \delta/\lambda, \quad (1.15)$$

где  $\delta$  — толщина слоя, м;  $\lambda$  — теплопроводность слоя материала, Вт/(м·°С).

От термического сопротивления зависят толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий. В табл. 1.2 приведены значения теплопроводности некоторых строительных материалов в воздушно-сухом состоянии.

Таблица 1.2. Теплопроводность некоторых строительных материалов

Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Наименование материала	Теплопроводность, Вт/(м·°С)
Сталь	58	Бетон легкий	0,35...0,8
Гранит	2,9...3,3	Пенобетон	0,12...0,15
Бетон тяжелый	1,28...1,55	Фибролит	0,09...0,17
Кирпич керамический сплошной	0,81...0,87	Минеральная вата	0,06...0,09
Вода (для сравнения)	0,59	Древесноволокнистые плиты	0,08
Известняк	0,52...0,98	Мипора	0,04...0,05

● *Теплоемкость* — свойство материала *аккумулировать теплоту при нагревании*. Материалы с высокой теплоемкостью могут выделять больше теплоты при последующем охлаждении. Поэтому при использовании материалов с повышенной теплоемкостью для стен, пола, перегородок и других частей помещений температура в комнатах может сохраняться устойчивой длительное время. Теплоемкость оценивают *коэффициентом теплоемкости* (удельной теплоемкостью), т. е. количеством теплоты, необходимой для нагревания 1 кг материала на 1 °С.

Строительные материалы имеют коэффициент теплоемкости меньше, чем у воды, которая обладает наибольшей теплоемкостью [4,2 кДж/(кг·°С)]. Например, коэффициент теплоемкости *лесных материалов* 2,39...2,72 кДж/(кг·°С), *природных и искусственных каменных материалов* — 0,75...0,92 кДж/(кг·°С), *стали* — 0,48 кДж/(кг·°С). Поэтому с увлажнением материалов их теплоемкость возрастает, но вместе с тем возрастает и теплопроводность.

Коэффициент теплоемкости материалов используют при расчетах теплоустойчивости ограждающих конструкций (стен, перекрытий), подогрева материала при зимних работах (бетонных, каменных и т. д.), а также при расчете печей. В некоторых случаях приходится рассчитывать размеры печи, используя *удельную объемную теплоемкость*, которая представляет собой количество тепла, необходимого для нагревания 1 м<sup>3</sup> материала на 1 °С.

● *Термическая стойкость* — способность материала *выдерживать чередование (циклы) резких тепловых изменений*. Это свойство в значительной степени зависит от однородности материала и коэффициента теплового расширения составляющих его веществ. *Коэффициент линейного температурного расширения* характеризует удлинение 1 м материала при нагревании его на 1 °С, *коэффициент объемного расширения* характеризует увеличение объема 1 м<sup>3</sup> материала при нагревании его на 1 °С. Чем меньше эти коэффициенты и выше однородность материала, тем выше и его термическая стойкость, т. е. большое количество циклов резких смен температуры он может выдержать. Так, каменные материалы из мономинеральных горных пород (мрамор) более термостойки, чем породы, сложенные из нескольких минералов (например, гранит). При жестком соединении мате-

риалов с различными коэффициентами линейного расширения в конструкциях могут возникнуть большие напряжения и, как результат, — коробление и растрескивание материала. Во избежание этого конструкции большой протяженности разрезают деформационными швами.

● *Огнестойкость* — свойство материала *противостоять действию высоких температур и воды в условиях пожара без значительной потери несущей способности*. По степени огнестойкости строительные материалы делят на негорючие, трудногорючие и горючие. *Негорючие материалы* в условиях высоких температур не подвержены воспламенению, тлению или обугливанию. При этом некоторые материалы почти не деформируются (кирпич, черепица), другие могут деформироваться сильно (сталь) или растрескиваться (гранит). Поэтому стальные конструкции часто требуется защищать другими, более огнестойкими материалами. *Трудногорючие материалы* под воздействием высоких температур с трудом воспламеняются, тлеют и обугливаются, но только в присутствии огня. При удалении огня процессы горения, тления и обугливания прекращаются (фибробетон, асфальтовый бетон и др.). *Сгораемые материалы* под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются и горят или тлеют и после удаления источника огня (древесина, войлок, битумы, смолы и др.).

● *Огнеупорность* — свойство материала *выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не деформируясь и не расплавляясь*. Материалы, выдерживающие температуру более 1580 °С, называют *огнеупорными*, от 1350 до 1580 °С — *тугоплавкими*, ниже 1350 °С — *легкоплавкими*. Материалы, которые способны длительное время выдерживать воздействие температур до 1000 °С без потери или с незначительной потерей прочности, относят к *жаростойким* (жаростойкие бетон, кирпич и др.).

● *Радиационная стойкость* — свойство материала *сохранять свою структуру и физико-механические характеристики после воздействия ионизирующих излучений*. Уровни радиации вокруг современных источников ионизирующих излучений настолько велики, что может произойти глубокое изменение структуры материала (например, происходит аморфизация структуры кристаллических минералов, которая сопровождается объемными изменениями и возникновением внутренних напряжений). Для сравнительной оценки защитных свойств материа-

ла используют «толщину слоя половинного ослабления», равную толщине слоя защитного материала, необходимой для ослабления интенсивности излучения в 2 раза.

● *Акустические свойства* — это свойства, связанные с взаимодействием материала и звука. Звук (звуковые волны) — это механические колебания, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах. Строителя интересуют две стороны взаимодействия звука и материала: *звукпроводность* — способность материала проводить звук сквозь свою толщину и *звукопоглощение* — способность материала поглощать и отражать падающий на него звук. Звукпроводность зависит от массы материала и его строения. Если масса материала велика, то энергии звуковых волн не хватает, чтобы пройти сквозь него, так как для этого надо привести материал в колебание. Поэтому чем больше масса материала, тем меньше он проводит звук. Плохо проводят звук пористые и волокнистые материалы, так как звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала, переходя при этом в тепловую энергию. Звукопоглощение зависит от характера поверхности и пористости материала. Материалы с гладкой поверхностью отражают значительную часть падающего на них звука (эффект зеркала), поэтому в помещении с гладкими стенами из-за многократного отражения от них звука создается постоянный шум. Если же поверхность материала имеет открытую пористость, то звуковые колебания, входя в поры, поглощаются материалом, а не отражаются. Так, мягкая мебель, ковры, специальные штукатурки и облицовки с мелкими открытыми порами хорошо заглушают звук.

### 1.5. Механические свойства

● *Механические свойства* отражают способность материала сопротивляться силовым, тепловым, усадочным или другим внутренним напряжениям без нарушения установившейся структуры.

Механические свойства материалов детально изучаются в курсе сопротивления материалов. Ниже излагаются лишь общие понятия о деформациях и прочности материалов, необходимые для комплексной оценки свойств материалов.

Внешние силы, действующие на материал, стремятся деформировать его (изменить взаимное расположение

составляющих частиц) и довести эти деформации до величины, при которой материал разрушится. После снятия нагрузки материал, если он не был разрушен, может восстанавливать размеры и форму или оставаться в деформированном виде. Деформации, исчезающие при прекращении действия на материал факторов, их вызвавших, называют *обратимыми*. Обратимые деформации называют *упругими*, если они исчезают мгновенно после снятия факторов, их вызвавших, и *эластическими*, если они, оставаясь полностью обратимыми, спадают в течение более или менее длительного периода времени. *Необратимые (остаточные) или пластические деформации* накапливаются за период действия силовых, тепловых и других факторов, под влиянием которых они возникли, и сохраняются после прекращения действия этих факторов.

Все виды деформаций могут иметь место у одного и того же строительного материала, но при разных величинах нагрузок, или быть у разных материалов при одинаковой и тем более разных нагрузках. Характер и величина деформации зависят также от скорости нагружения и температуры материала. Чаще всего с повышением скорости нагружения (скорости деформирования) и с понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упругопластическим.

● *Пластическая деформация, медленно нарастающая без увеличения напряжений, характеризует текучесть материала.*

● *Пластическая деформация, медленно нарастающая длительное время (месяцы и годы), при нагрузках, меньше тех, которые способны вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдения, называется деформацией ползучести, а процесс такого деформирования — ползучестью или крипом.* Ползучесть необходимо учитывать при расчете и изготовлении строительных конструкций.

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

счет межмолекулярных перемещений и переориентации внутримолекулярной структуры.

Время, в течение которого первоначальная величина напряжения снижается в  $e=2,718$  раза ( $e$  — основание натуральных логарифмов), называют *периодом релаксации*. Период релаксации меняется от  $10^{-10}$  с у материалов жидкой консистенции до  $2 \cdot 10^{10}$  с (десятки лет и более) — у твердых материалов (чем меньше, тем более деформативен материал).

● *Упругость* — свойство материала принимать после снятия нагрузки первоначальную форму и размеры. Количественно упругость характеризуют пределом упругости, который условно приравнивают напряжению, при котором материал начинает получать остаточные деформации очень малой величины, устанавливаемой в технических условиях для данного материала.

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

$$\epsilon = \sigma/E. \quad (1.16)$$

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

● *Пластичность* — свойство материала при нагружении в значительных пределах изменять размеры и форму без образования трещин и разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки. Это свойство важно учитывать при выборе материалов для несущих конструкций, а также выборе технологии изготовления некоторых изделий (например, керамических). Наиболее желательными для несущих конструкций являются материалы, которые наряду с большой упругостью перед разрушением обладают высокой пластичностью. Разрушение в подобных материалах не будет происходить внезапно (например, у стали).

● *Хрупкость* — свойство материала под действием нагрузки разрушаться без заметной пластической деформации. Так как для развития пластических деформаций

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

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

Теоретическая прочность однородного материала характеризуется напряжением, необходимым для разделения двух примыкающих друг к другу слоев атомов. Приближенно ее можно вычислить, используя уравнение Орована-Келли:

$$\sigma_T = \sqrt{E\mathcal{E}/a}, \quad (1.17)$$

где  $E$  — модуль упругости;  $\mathcal{E}$  — поверхностная энергия твердого тела на  $1 \text{ см}^2$ ;  $a$  — межатомное расстояние (в среднем  $2 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ ).

Формула получена из условия, что в момент разрушения материала вся энергия упругой деформации, накопленная в объеме между двумя слоями атомов, переходит в энергию двух новых поверхностей, образовавшихся при разрушении материала. В соответствии с приведенным выражением прочность твердого тела должна находиться между значениями  $E/5$  и  $E/10$ . Например, теоретическая прочность стали 30 000 МПа, а фактически прочность обычной стали около 400 МПа; теоретическая прочность стекла при комнатной температуре 14 000 МПа, а фактически прочность обыкновенного стекла только 70...150 МПа. Следовательно, используется только сравнительно небольшая доля потенциальной прочности материала. Это объясняется тем, что в реальных материалах много дефектов самого различного уровня (начиная от молекулярных и кончая макродефектами, например порами и трещинами).

● *Прочность материала оценивают пределом прочности ( $\text{Па}$ ), который условно равен максимальному напря-*

жению, соответствующему нагрузке, вызвавшей разрушение материала:

$$R = F/A, \quad (1.18)$$

где  $F$  — разрушающая сила, Н;  $A$  — площадь сечения образца до испытания, м<sup>2</sup>.

Практически предел прочности определяют путем разрушения (нагружения) стандартных образцов (рис. 1.1) на специальных прессах (рис. 1.2) или разрывных машинах.

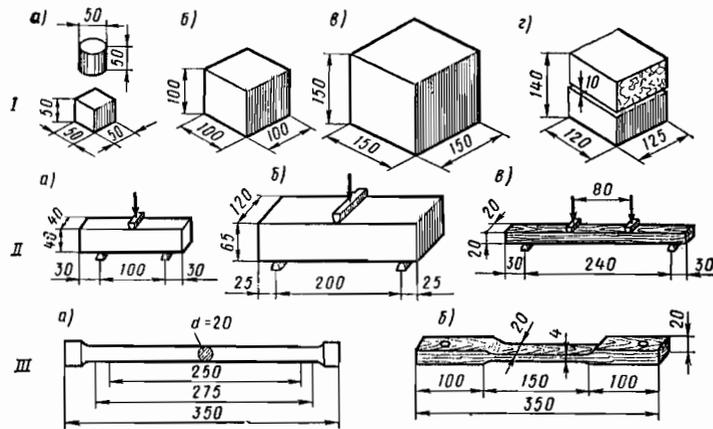


Рис. 1.1. Стандартные образцы для испытания материалов:

I — на сжатие; а — плотный природный камень; б — пористый природный камень; в — бетон; г — кирпич (куб склеен из двух половинок); II — на изгиб; а — цементный раствор; б — кирпич; в — древесина; III — на растяжение; а — сталь; б — древесина

Для некоторых материалов (бетона, кирпича, природных каменных материалов) предел прочности на растяжение ( $R_p$ ) ориентировочно можно определить путем раскалывания цилиндров или призм (рис. 1.3) и вычислять по формуле

$$R_p = 2F/(\pi ld), \quad (1.19)$$

где  $l$  — длина или ширина призмы, плиты, м;  $d$  — диаметр цилиндра или толщина призмы, плиты, м.

На изгиб испытывают образцы материалов в виде балочек, расположенных на двух опорах. В зависимости от схемы загрузки образца (см. рис. 1.1) расчет пре-

дела прочности при изгибе ( $R_a$ ) производят по формулам:

при одном грузе по середине балки прямоугольного сечения

$$R_a = 3Fl/(2bh^2); \quad (1.20)$$

при двух равных грузах, расположенных симметрично горизонтальной оси балки,

$$R_a = 3F(l-a)/(bh^2), \quad (1.21)$$

где  $F$  — разрушающая сила, Н;  $l$  — расстояние между опорами, м;  $a$  — расстояние между грузами, м;  $b$  и  $h$  — ширина и высота балки в поперечном сечении, м.

Вышеуказанные характеристики прочности в значительной степени являются условными: 1) они не учитывают фактора времени, т. е. продолжительности действия напряжений, что искажает величину истинной прочности материала; 2) размеры, форма, характер поверхности образцов материала, скорость нагружения, при-

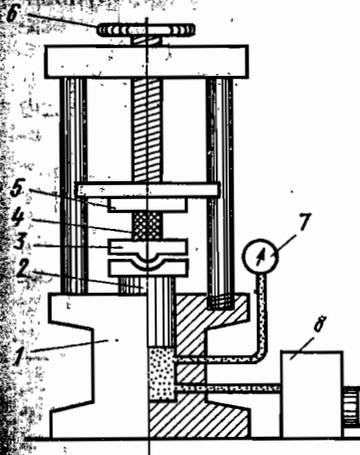


Рис. 1.2. Схема гидравлического пресса:

1 — станина; 2 — поршень; 3 — нижняя опорная плита с шаровой поверхностью; 4 — испытуемый образец; 5 — верхняя опорная плита; 6 — винтовое приспособление для зажима образца; 7 — манометр; 8 — масляный насос

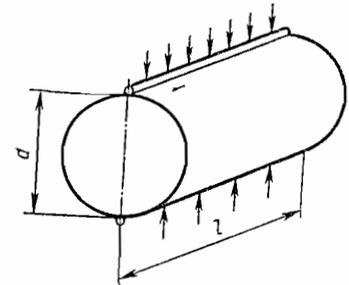


Рис. 1.3. Схема испытания на растяжение путем раскалывания

боры и другие исходные данные в принятых методах условны. Предел прочности одного и того же материала может иметь различную величину в зависимости от размера образца, его формы, скорости приложения нагрузки и конструкции прибора, на котором испытывались об-

разцы. Однако у большинства материалов, применяемых в строительстве, период релаксации весьма большой по сравнению с временем действия нагрузки. Поэтому для определения прочностных характеристик вполне допустимы условные методы, получившие широкое распространение в инженерной практике. При этом важно строго соблюдать все условия испытаний, установленные для данного материала в соответствующих ГОСТах.

Наряду с описанными методами оценки прочности строительных материалов, при которых специально изготовленные образцы материалов или взятые из партии готовые изделия доводят до разрушения, применяют методы контроля прочности без разрушения. Этими методами можно испытывать изделия и конструкции при их изготовлении или после установки в зданиях и сооружениях. Наибольшее распространение из неразрушающих методов испытаний получили акустические, в частности импульсный и резонансный. Оценка свойств материала или изделия при этом производится по косвенным показателям — скорости распространения ультразвука, а также частоте собственных колебаний материала и характеристике их затухания путем использования корреляционной связи этих параметров с прочностью или динамическим модулем упругости, выражаемой обычно тарировочными кривыми или эмпирическими формулами. Без определения прочности можно также установить степень однородности материала в конструкции по скорости распространения ультразвука в различных ее частях. Однородность прочности материала — это важнейшее техническое и экономическое требование.

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

Для строительных материалов, работающих в сооружениях, действующее напряжение должно быть меньше величины предела его прочности. В результате создается запас прочности. Необходимость создания запаса проч-

ности вызывается рядом причин: неоднородностью материала, возможностью значительной деформации еще до предела прочности и появления трещин, усталостью материала при переменных нагрузках, «старением» материала под влиянием окружающей среды и т. д. Запас прочности устанавливается нормативными требованиями в зависимости от вида и качества материала, долговечности и класса сооружения.

Для оценки прочностной эффективности материала часто используют *коэффициент конструктивного качества* (к. к. к.). Величина этого коэффициента определяется делением предела прочности при сжатии на относительную плотность  $R/d$  материала. Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность.

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

● *Ударная вязкость (ударная или динамическая прочность)* — свойство материала сопротивляться ударным нагрузкам. Испытания производят на приборах — копрах. Характеристикой этого свойства является работа, затраченная на разрушение стандартного образца (Дж), отнесенная к единице его объема ( $m^3$ ) или площади ( $m^2$ ). Отношение динамической прочности к статической называют *динамическим коэффициентом*.

● *Твердость* — свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого материала. Для определения твердости материалов в зависимости от их вида и назначения существует ряд методов. Твердость каменных материалов однородного строения определяют по шкале Мооса, которая составлена из 10 минералов с условным показателем твердости от 1 до 10 (самый мягкий тальк — 1, самый твердый алмаз — 10). Показатель твердости испытуемого материала находится между показателями твердости двух соседних минералов, из которых один царапает испытываемый материал, а другой оставляет черту на образце материала. Твердость металла, бетона, пластмасс определяют вдавливанием в испытуемый образец под определенной нагрузкой и в течение

определенного времени стандартного стального шарика. За характеристику твердости в этом случае принимают отношение нагрузки к площади отпечатка. Показатели твердости, полученные разными способами; нельзя сравнивать друг с другом. Высокая прочность материала не всегда говорит о его твердости (например, древесина по прочности при сжатии равнозначна бетону, а ее твердость значительно меньше, чем у бетона). Для некоторых материалов (например, для металлов) существует определенная связь между твердостью и прочностью, для других материалов (однородные каменные материалы) — между твердостью и истираемостью.

● *Истираемость* — свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Одновременное воздействие истирания и удара характеризует износостойкость материала. Оба эти свойства определяют различными условными методами: истираемость — на специальных кругах истирания, а износ — с помощью вращающихся барабанов, куда вместе с пробой материала часто загружают определенное количество металлических шаров, усиливающих эффект измельчения. За характеристику истираемости принимают потерю массы или объема материала, отнесенные к  $1 \text{ см}^2$  площади истирания, а за характеристику износа — относительную потерю массы образца в процентах от пробы материала.

Допустимые показатели истираемости и износа нормируются в соответствующих стандартах.

## 1.6. Химические и технологические свойства

### ■ Химические и физико-химические свойства.

● *Химические свойства характеризуют способность материала вступать в химическое взаимодействие с веществами внешней среды, в которой он находится, или сохранять свой состав и структуру в условиях инертной окружающей среды.* Последнее связано с тем, что некоторые материалы за счет неустановившегося равновесия внутренних химических связей склонны к самопроизвольным структурным изменениям («старению»). Оба явления могут изменить первоначальные основные свойства материала, иногда улучшая (например, взаимодействие вяжущих веществ с водой), а в большинстве случаев ухудшая показатели свойств, что приводит к уменьшению срока нормальной службы конструкций или сооружений (например, разрушение бетонных конструкций

агрессивными жидкостями и газами, старение пластмасс).

Некоторые из этих свойств (растворимость, кристаллизация) известны студентам из курса химии, другие (твердение, старение, контракция, стойкость против гниения, горючесть, температура размягчения, скорость отверждения) будут описаны в соответствующих разделах книги. Здесь же ограничимся лишь описанием кратких сведений о дисперсности, адгезии, реологических свойствах и химической стойкости материалов.

● *Дисперсность* — характеристика размеров твердых частиц и капель жидкости. Многие строительные материалы (гипсовые вяжущие, цемент, глины, пигменты и т. п.) находятся в тонкоизмельченном (дисперсном) состоянии и обладают большой суммарной поверхностью частиц. Величина, характеризующая степень раздробленности материала и развитости его поверхности, называется удельной поверхностью  $s_{уд}$  — поверхность единицы объема ( $\text{см}^2/\text{см}^3$ ) или массы ( $\text{см}^2/\text{г}$ ) материала.

Физико-химические свойства поверхностного слоя дисперсных частиц сильно отличаются от свойств этого же вещества «в массе». Причина этого в том, что атомы (молекулы) вещества, находящиеся внутри материала, уравновешены действием окружающих атомов (молекул), в то время как атомы (молекулы) на поверхности вещества находятся в неуравновешенном состоянии и обладают особым запасом энергии. С увеличением удельной поверхности вещества возрастает его химическая активность (например, цемент с удельной поверхностью  $3000...3500 \text{ см}^2/\text{г}$  через 1 сут твердения связывает  $10...13\%$  воды, а с удельной поверхностью  $4500...5000 \text{ см}^2/\text{г}$  — около  $18\%$ ).

● *Адгезия* — свойство одного материала прилипать к поверхности другого. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы и состояния поверхности, условий контакта и т. д. Она появляется и развивается в результате сложных поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз, и характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого. Важное значение адгезионные свойства имеют при получении композиционных материалов и изделий (бетонов разных видов, клееных изделий и конструкций, отделочных материалов).

Многие строительные материалы в процессе их изготовления и применения проходят стадию пластично-вяз-

кого состояния (гипсовое, цементное, глиняное тесто, свежеприготовленные растворные и бетонные смеси, мастики, формируемые материалы из полимеров и т. д.). По своим физическим свойствам пластично-вязкие тела занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми телами. Так тесто можно разрезать ножом (что нельзя сделать с жидкостью), но вместе с тем это же тесто принимает форму сосуда, в который оно помещено, т. е. ведет себя, как жидкость. Пластично-вязкие смеси характеризуют реологическими показателями — структурной прочностью, вязкостью и тиксотропией.

● **Структурная прочность** — прочность внутренних связей между частицами материала. Ее оценивают предельным напряжением сдвига, соответствующим напряжению в материале, при котором он начинает течь подобно жидкости ( $\sigma_c$ ). Это происходит тогда, когда в материале нарушаются внутренние связи между его частицами — разрушается его структура.

● **Вязкость** — способность материала поглощать механическую энергию при деформировании образцов. Когда пластично-вязкий материал начинает течь, напряжения в материале зависят уже от скорости его деформации. Коэффициент пропорциональности, связывающий скорость деформации и необходимое для этого напряжение, называют вязкостью  $\eta$  (Па·с).

Модель упругопластично-вязкого материала (рис. 1.4) можно представить себе как систему последовательно соединенных элементов: пружины (характеризует упругие свойства материала), груза, лежащего на плоскости (пластические свойства), и поршня, движущегося в цилиндре с маслом (вязкость). Если начать тянуть за пружину с возрастающей силой  $F$ , то сначала растягивается пружина, а остальные элементы остаются в покое (если силу убрать, система вернется к исходному состоянию). Когда сила  $F$  станет равной силе трения  $F_0$ , то вся система начнет двигаться. При этом, чтобы увеличить скорость движения, надо преодолеть возрастающее сопротивление масла в поршне, т. е. увеличить силу  $F$ .

● **Тиксотропия** — способность пластично-вязких смесей обратимо восстанавливать свою структуру, разрушенную механическими воздействиями. Физическая основа тиксотропии — разрушение структурных связей внутри пластично-вязкого материала, при этом материал теряет структурную прочность и превращается в вязкую жидкость, а после прекращения механического воздействия материал обретает структурную прочность. Явление тиксотропии используют при виброуплотнении бетонных

и растворных смесей, при нанесении мастичных и окрасочных составов шпателем или кистью и т. д.

● **Химическая стойкость** — свойство материала сопротивляться действию агрессивной среды. Агрессивная среда (кислоты, щелочи, растворы солей, газы) взаимодействуя с материалом, может вызывать его разрушение (коррозию). Степень разрушения зависит от многих факторов и прежде всего от состава материала и его плотности. Коррозионную стойкость оценивают химическим анализом. Для приближенной оценки химической стойкости материала в кислых и щелочных средах можно воспользоваться модулем основности  $M_o$ :

$$M_o = \frac{\%CaO + \%MgO + \%Na_2O(K_2O)}{\%SiO_2 + \%Al_2O_3}$$

При небольшом модуле основности, когда в неорганическом материале преобладает кремнезем, наблюдается высокая стойкость к кислотам. Когда в составе неорганического материала преобладают основные оксиды и модуль основности достаточно высок, то этот материал обычно нестойк к кислотам, но щелочами не разрушается. Органические материалы (древесина, битумы, пластмассы) при обычных температурах относительно стойки к действию слабых кислот и щелочной среды. Однако значительная часть строительных материалов не обладает достаточной стойкостью к действию агрессивной среды и требует специальной защиты от коррозии.

#### ■ Технологические свойства.

Технологические свойства характеризуют способность материала к восприятию некоторых технологических операций, изменяющих состояние материала, структуру его поверхности, придающих нужную форму и размеры, и т. п. Такие технологические свойства, как обрабатываемость, распиливаемость, шлифуемость, гвоздим�сть

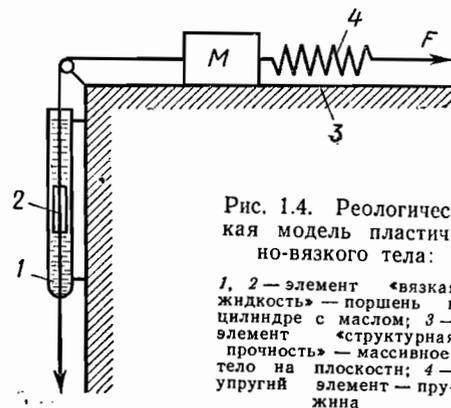


Рис. 1.4. Реологическая модель пластично-вязкого тела:

1, 2 — элемент «вязкая жидкость» — поршень в цилиндре с маслом; 3 — элемент «структурная прочность» — массивное тело на плоскости; 4 — упругий элемент — пружина

и т. п., имеют важное практическое значение, ибо от них зависят качество и стоимость готовых изделий и конструкций. Для оценки технологических свойств некоторых материалов разработаны числовые показатели и методы их определения (например, дробимость каменных материалов, подвижность и удобоукладываемость бетонных смесей, укрывистость красочных составов и др.). Для большинства же материалов установлены лишь качественные характеристики технологических свойств.

### 1.7. Методика преподавания свойств строительных материалов

Методика преподавания курса строительных материалов вообще и их свойств, в частности, вытекает из основных задач, которые должен знать или уметь решать выпускник среднего специального учебного заведения строительного профиля. Изучению различных видов материалов и их свойств должна предшествовать классификация свойств на определенные группы, исходя из условий работы материалов и действующих на них факторов в реальных условиях эксплуатации. Важным методическим принципом при изложении основных свойств материалов является четкое определение каждого свойства, способ его оценки и раскрытие связи свойств с составом и строением материала, а также взаимосвязей свойств друг с другом. Это возможно осуществить, если опираться на сведения из курсов физики, химии, сопротивления материалов и других дисциплин. Такое изложение материала позволит учащимся избавиться от формального запоминания свойств, обеспечит их понимание. В будущем это поможет правильно и свободно пользоваться ГОСТами, ТУ, справочниками и другой нормативной литературой, где изложены конкретные данные о том или другом материале.

Для учащихся производственно-технических училищ и других учебных заведений, готовящих квалифицированных рабочих для строительства и строительной индустрии, при изложении материаловедения надо придерживаться схемы: состав — строение материала — свойства. Однако объем рассматриваемых групп материалов и их свойств должен выбираться исходя из профиля рабочей специальности. При этом выбранные свойства и материал в целом изучаются детально, с целью привития учащимся не только знаний, но и навыков умения

оценки свойств материалов, их обработки и укладки в дело. Так, при подготовке каменщиков, штукатуров, бетонщиков подробнее изучаются такие свойства, как водопоглощение, водостойкость, теплопроводность, морозостойкость, удобоукладываемость и др., а при подготовке плотников, столяров необходимо научить учащихся умению оценивать влажность древесины и ее влияние на усушку и набухание, механические свойства, стойкость против гниения и т. д.

Особо необходимо обратить внимание на общие свойства всех материалов: пористость, плотность, прочность. Эти свойства должен знать и уметь определять учащийся любой строительной специальности, так как они являются основными свойствами при оценке материала. В значительной степени зависят физические, химические и технологические свойства.

Оценка технических свойств и сравнение материалов между собой возможны по показателям и параметрам, которые определяются при испытаниях материалов в полевых, заводских или лабораторных условиях. Поэтому теоретическое изучение свойств и методов их определения должно быть подкреплено практическими и лабораторными занятиями с использованием ГОСТов, ТУ и другой нормативной литературы.

Для успешного усвоения свойств материалов целесообразно также иллюстрировать важнейшие свойства материалов путем сопоставлений на лекции различных материалов и проведения простейших опытов. Для закрепления и контроля знаний рекомендуется составить специальные карточки с вопросами и ответами и использовать их при устном собеседовании с учащимися, а также применять обучающие и контролирующие машины.

## Глава 2

### ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 2.1. Общие сведения

Сырьем для получения природных каменных материалов служат горные породы.

● *Горные породы — это значительные по объему скопления минералов в земной коре, образовавшиеся под влиянием одинаковых условий.*

● *Минералы* — это вещества, являющиеся продуктами физико-химических процессов, происходящих в земной коре, и обладающие определенным химическим составом, однородным строением и характерными физическими свойствами. В природе известно несколько тысяч минералов, но в образовании горных пород участвуют лишь около 50, их называют породообразующими. Горные породы могут состоять из одного минерала (мономинеральные) или нескольких (полиминеральные).

● *Природные каменные материалы и изделия* получают путем механической обработки горных пород, т. е. дробления, раскалывания, распиловки, отески, шлифовки (щебень, плиты, штучные камни, архитектурно-декоративные детали) или даже без обработки (песок, гравий). Свойства горной породы, из которой они получены, сохраняются почти полностью. Строительные свойства горных пород и каменных изделий из них в значительной степени определяются химическим составом и физическими и механическими свойствами породообразующих минералов.

Большое влияние на свойства пород оказывает и их строение (структура), предопределяемое условиями образования каждой группы пород. Поэтому для оценки свойств и определения целесообразных условий обработки и применения природных материалов в строительных конструкциях необходимо познакомиться с составом и строением горных пород, из которых они получены. Знание этих вопросов важно и потому, что горные породы широко используют также в промышленности строительных материалов в качестве сырья для изготовления вяжущих веществ (известки, гипса, цемента), искусственных каменных материалов (керамических, теплоизоляционных, бетонов и др.).

Наша страна богата разнообразными и многочисленными видами горных пород. Такие районы, как Кольский полуостров и Карелия, Урал и Украина, Кавказ и Дальний Восток, содержат в своих недрах богатейшие запасы изверженных горных пород. Практически неисчислимы запасы осадочных горных пород (глины, песка, известняков, песчаников) и другого минерального сырья имеются почти в любом районе Советского Союза.

Широкий диапазон физико-механических свойств и распространенность природных каменных материалов обусловили их широкое применение в строительстве для различных целей. Их используют для возведения фундаментов и стен зданий, защитных и декоративных обли-

цовок строительных конструкций, полов и лестниц, в качестве дорожных покрытий и т. п. Сотни миллионов кубометров каменных материалов в виде песка, гравия и щебня применяют ежегодно для изготовления бетонов, а также оснований при строительстве железных и автомобильных дорог.

Относительно большое разнообразие горных пород, применяемых в строительстве, удобно и логично изучать, если их классифицировать по условиям образования (генезису), ибо уже это дает известное представление об их строении и свойствах. Генетическая классификация разработана акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессингом и А. П. Карпинским и в схематическом виде приведена в табл. 2.1.

● *Магматические (первичные) горные породы* образовались при охлаждении и отвердевании магмы.

● *Осадочные (вторичные) горные породы* образовались в результате естественного процесса разрушения

Таблица 2.1. Генетическая классификация горных пород

Магматические породы (первичные)	<p>Массивные:</p> <p>глубинные: граниты, сиениты, диориты, габбро;</p> <p>излившиеся: порфиры, андезиты, трахиты, диабазы, базальты</p> <p>Обломочные:</p> <p>рыхлые: вулканические пеплы, пемзы и др.;</p> <p>цементированные: вулканические туфы, трассы, туфовая лава</p>
Осадочные породы (вторичные)	<p>Механические отложения:</p> <p>рыхлые: пески, гравий, глины, природный щебень;</p> <p>цементированные: песчаники, конгломераты, брекчии</p>
Метаморфические (видоизмененные) породы	<p>Химические осадки:</p> <p>некоторые виды известняков, известковые туфы, магнезиты, доломиты, гипс, ангидрит</p> <p>Органогенные отложения:</p> <p>мел, большинство известняков, трепелы, диатомиты, опоки</p> <p>Измененные изверженные породы:</p> <p>гнейсы (из гранитов)</p> <p>Измененные осадочные породы:</p> <p>глинистые сланцы (из глины), мраморы (из известняков), кварциты (из песчаников)</p>

первичных и других пород под влиянием различных и многообразных причин, действующих в природе (механических воздействий, химического и физического влияния внешней среды).

● **Метаморфические (видоизмененные) горные породы образовались в результате последующих изменений первичных и вторичных пород, связанных со сложными физико-химическими процессами, происходившими в земной коре.**

## 2.2. Магматические породы

### ■ Классификация магматических пород.

Вследствие различия в химическом составе магм и различных условий и сред, в которых происходило остывание и затвердевание магмы, образовывались магматические породы разного строения и свойств — глубинные и излившиеся (плотные и пористые).

● **Глубинные породы образовались в результате медленного и равномерного остывания магмы под большим давлением.** Такие условия могли возникнуть в природе тогда, когда магма остывала и оставалась на большой глубине в земной коре. Эти условия благоприятствовали образованию в данной породе минералов с зернисто-кристаллической структурой, прочно сросшихся между собой без всякого цементирующего вещества (гранитное строение). Характерным для этих пород является массивность залегания, высокая плотность, а следовательно, большая прочность при сжатии, малое водопоглощение, значительная морозостойкость и высокая теплопроводность.

● **Излившиеся породы образовались в результате менее равномерного и более быстрого охлаждения магмы при относительно быстром и неравномерном сбросе давления или даже при атмосферном давлении.** Такие условия могли возникнуть в случае, когда магма остывала, излившись в виде лавы на поверхность земли или близко к поверхности. В этих условиях охлаждения крупные кристаллические зерна образоваться не успевали и возникали другие генетические структуры: скрытокристаллическая, стекловатая (аморфная), порфировая. Для порфировой структуры характерно неоднородное строение, когда в аморфную или мелкокристаллическую массу включены крупные кристаллические соединения —

«**акрапленники**», образовавшиеся в магме еще в глубинных слоях во время ее поднятия к поверхности земли.

Из сказанного видно, что из одной и той же магмы, но при различных условиях остывания могут образоваться глубинные и излившиеся породы (называемые аналогами), близкие по химическому составу, но отличающиеся друг от друга структурой и свойствами (см. табл. 2.2). В тех случаях, когда излившиеся породы образовались в большой толще, их строение и свойства сходны с глубинными породами. Если же образование излившихся пород происходило в сравнительно тонком слое и ближе к поверхности или на поверхности земли, то они имеют неоднородное, стекловатое и сравнительно пористое строение.

Разновидностью излившихся горных пород являются породы, образовавшиеся при извержении вулканов. В этом случае магма под большим давлением в виде раздробленных частиц выбрасывалась в атмосферу и, увлекаемая газами, очень быстро охлаждалась и падала на поверхность земли в виде затвердевших частиц и кусков разной крупности, образуя обломочные рыхлые породы пористой и стекловатой структуры (вулканический пепел, песок, пемза). Некоторая часть этих рыхлых пород слеживалась, спекалась или перемешивалась с лавой, образуя цементированные вулканические породы мелкопористого строения (вулканические туфы, трассы, туфовую лаву).

### ● Химический и минеральный составы магматических пород.

Большинство магматических пород, применяемых в строительстве, содержит химические соединения трех типов — кремнезем, силикаты и алюмосиликаты в виде породообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, слюда и железисто-магнезиальные минералы). Каждый минерал кроме химического состава характеризуется определенными и различными физическими свойствами (плотностью, твердостью, прочностью, стойкостью, наличием спайности\*, блеском, цветом и др.). Поэтому преобладание в породе тех или других минералов, их размеры и расположение отражаются на строительных свойствах каменного материала.

\* Спайность — способность некоторых минералов при ударе раскалываться по гладким, блестящим плоскостям, которые называются плоскостями спайности.

● *Кварц — диоксид кремния (SiO<sub>2</sub>) в кристаллической форме.* Он отличается высокой плотностью — около 2650 кг/м<sup>3</sup>, твердостью — 7, прочностью при сжатии — до 2000 МПа и стойкостью. При выветривании магматических пород стойкие зерна кварца не разрушаются и образуют пески. Кварц обладает несовершенной спайностью, имеет различную окраску (бесцветную, желтую, молочную) и стеклянный блеск. При обычной температуре кварц не взаимодействует с кислотами (кроме плавиковой и горячей фосфорной) и щелочами. При повышенных температурах в среде насыщенного пара кварц взаимодействует со щелочами, например с Ca(OH)<sub>2</sub>, образуя гидросиликаты (см. гл. 8). При нагревании до 575 и 870 °С он переходит в другие кристаллические формы, скачкообразно увеличиваясь в объеме. Плавится кварц при 1710 °С и при быстром охлаждении расплава дает кварцевое стекло.

● *Полевые шпаты — алюмосиликаты, образовавшиеся в результате взаимодействия оксидов кремния и алюминия с оксидами щелочных металлов.* Характерная особенность полевых шпатов — ярко выраженная спайность по двум направлениям. Наиболее распространенными разновидностями полевых шпатов являются: *ортоклаз* (прямораскалывающийся) K<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub> и *плаггиоклазы* (косораскалывающиеся) в виде *альбита* Na<sub>2</sub>O·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6SiO<sub>2</sub> и *анортита* CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> и их смеси. Полевые шпаты входят в состав большинства магматических (до 2/3 их массы), многих метаморфических и некоторых осадочных горных пород. Они имеют различную окраску от белого и серого до розового и темно-красного цветов, плотность 2500...2760 кг/м<sup>3</sup>, твердость 6, предел прочности при сжатии до 170 МПа, температуру плавления 1170...1550 °С. Стойкость полевых шпатов значительно ниже, чем кварца. Под влиянием многократных резких смен температуры и воздействия воды и углекислоты полевые шпаты разрушаются (выветриваются).

● *Слюды — минералы с весьма совершенной спайностью в одном направлении, которые способны расщепляться на тончайшие упругие пластинки.* По химическому составу они представляют собой водные алюмосиликаты сложного состава. Наиболее часто в составе горных пород присутствуют две разновидности слюд — *мусковит* (светлая алюминиевая слюда) и *биотит* (железисто-магнезиальная слюда темного цвета). Плотность слюд 2760...3200 кг/м<sup>3</sup>, твердость 2...3, стойкость биоти-

та меньше, чем мусковита. При выветривании биотит переходит в гидратированную разновидность слюды — *вермикулит*. Присутствие слюд в горных породах снижает прочность и стойкость породы, затрудняет ее шлифовку и полировку.

● *Железисто-магнезиальные минералы за их темный цвет (от темно-зеленого до черного) называют темнокрашенными минералами.* По химическому составу они представляют собой железисто-магнезиальные силикаты. Среди минералов этой группы наиболее распространенными породообразующими минералами являются *амфиболы* (чаще роговые обманки), *пироксены* (например, *авгиты*) и *оливины*. Минералы этой группы отличаются большой плотностью 3000...3600 кг/м<sup>3</sup>, твердостью 5,5...7,5, высокой ударной вязкостью, повышенной стойкостью против выветривания (кроме оливина). Эти же свойства они придают и содержащим их горным породам.

#### ■ Важнейшие виды магматических пород и их строительные свойства.

Краткая характеристика важнейших для строительства видов и свойств плотных магматических пород приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Характеристика важнейших магматических горных пород

Характеристика по содержанию SiO <sub>2</sub> , %	Породы		Важнейшие породообразующие материалы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа
	глубинные	изливные			
Кислые (65...76)	Гранит	Кварцевый порфир, липарит	Кварц, полевые шпаты, слюда	2600...2800	100...250
Средние (52...65)	Сиенит	Бескварцевый порфир, трахит	Полевые шпаты, слюда	2600...2800	100...280
	Диорит	Андезит, порфирит	Полевые шпаты, темнокрашенные минералы	2800...3000	150...300
Основные (<52)	Габбро, лабрадорит	Диабаз, базальт	Темнокрашенные минералы, полевые шпаты	2900...3300	200...500

Подразделение изверженных пород по содержанию  $\text{SiO}_2$  на кислые, средние и основные имеет практическое значение. Так, с уменьшением содержания  $\text{SiO}_2$ , т. е. по мере перехода от гранитов к габбро или от порфиров к диабазам, возрастают плотность, прочность, ударная вязкость, понижается температура плавления этих пород, а цвет становится темнее.

Кроме перечисленных в табл. 2.2 в природе существуют переходные породы, например гранопорфиры, граносиениты, габбродиабазы и т. д.

● Гранит и близкие к нему переходные породы (гранитоиды) состоят из кварца, полевых шпатов, слюды, иногда роговой обманки или авгита. Это самые распространенные из всех магматических пород (до  $\frac{2}{3}$  всех глубинных пород). Цвет породы определяется цветом полевых шпатов (от серого до красного оттенков). Имея высокие показатели плотности и прочности при сжатии (см. табл. 2.2), гранит является хрупким, так как его прочность при растяжении в 40...60 раз меньше прочности при сжатии. У гранита малое водопоглощение — менее 1%, высокая морозостойкость — более 200 циклов, хорошая сопротивляемость истиранию, высокая теплопроводность. Граниты хорошо обрабатываются (обтесываются, шлифуются и полируются). Наиболее высокими показателями свойств обладают мелкозернистые граниты. Гранит используют для облицовки монументальных зданий и гидротехнических сооружений, плит для полов, ступеней, материалов для дорог, крупного заполнителя для бетонов, бутового камня и т. п.

● Сиенит в отличие от гранита не содержит кварца, а состоит в основном из полевого шпата и темноокрашенных минералов (до 15%). По внешнему виду сиенит похож на гранит, но в нем выражена среднезернистая структура, а окраска несколько темнее. Свойства сиенита близки к свойствам гранита, но он менее стоек к выветриванию и легче обрабатывается.

● Диорит примерно на  $\frac{3}{4}$  состоит из полевых шпатов и до 25% содержит темноокрашенных минералов. Диорит характеризуется мелко- и среднезернистым строением и серо-зеленым или темно-зеленым цветом. По строительным свойствам диорит не уступает гранитам, обладает высокой ударной вязкостью и хорошо полируется. Чаще всего диорит применяют при облицовочных работах и в дорожном строительстве.

● Габбро состоит в основном из полевого шпата (до

60%) и темноокрашенных минералов, чаще авгита, а также роговой обманки, оливина. Габбро представляет собой поликристаллическую породу от темно-серого до черного цвета. Габбро, состоящее из известково-натриевого плагиоклаза — лабрадора, называется лабрадоритом. Характерной особенностью этой породы является ориентация лабрадора (синего, голубого, золотистого цветов) на плоскостях спайности или поверхности полированной породы. Габбро применяют в виде штучных изделий для облицовок, дорожных покрытий, щебня для бетонов и других целей. Лабрадорит используют для особо ценных облицовок (например, он применен при строительстве Мавзолея В. И. Ленина).

● Порфиры — излившиеся горные породы, близкие по минеральному составу к гранитам (кварцевый порфир), сиенитам (бескварцевый порфир), диоритам (порфирит) и характеризующиеся порфировой структурой. Вследствие неоднородного строения порфиры менее устойчивы к выветриванию, слабее сопротивляются истиранию, чем глубинные породы. Другие строительные свойства порфиров близки к свойствам глубинных пород.

● Трахит — излившаяся порода, имеющая тот же минеральный состав, что и сиениты, но более пористая, так как отвердевала на поверхности земли. Его применяют в качестве стенового материала и щебня для бетонов. Разновидность трахита — бештаунит — используют как заполнитель в кислотостойких бетонах.

● Андезит — аналог диорита, но отличается от них порфировой структурой. Плотные андезиты применяют в виде кислотоупорных плит и щебня для кислотоупорного бетона.

● Диабаз по минеральному составу аналогичен габбро. Окраска — от темно-зеленой до черной. Структура кристаллическая с зернами разной крупности, иногда порфировая. Диабазы, особенно мелкозернистые (например, онежские), имеют высокую прочность — до 50 МПа, большую ударную вязкость и малую истираемость, способны раскалываться на куски сравнительно правильной формы. Используют диабаз для изготовления дорожных материалов (брусчатки, шашки, бортового камня), щебня для бетона, иногда для облицовочных работ, а также в качестве сырья для каменного литья и кислотоупорных изделий.

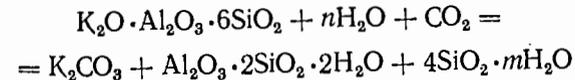
● Базальт (как и диабаз, аналог габбро) представляет собой плотную тяжелую породу, имеющую скрыто-

### ■ Классификация осадочных горных пород.

В составе литосферы на долю осадочных пород приходится лишь около 5 %, однако они занимают до 75 % площади поверхности Земли. Характерным для осадочных пород является слоистость залегания (их называют пластовыми) и в большинстве случаев более пористое строение и меньшая прочность, чем у плотных магматических пород. В зависимости от условий образования осадочные породы подразделяют на три группы: механические отложения (обломочные), химические осадки, органогенные отложения.

● Механические отложения (рыхлые и цементированные) образовались в результате разрушения других пород под воздействием процесса выветривания (действие воды, ветра, колебаний температуры, замораживания и оттаивания и других атмосферных факторов). В результате даже самые прочные массивные магматические породы разрушаются, образуя обломки разных размеров: глыбы, куски и более мелкие частицы.

Наряду с механическими разрушениями в результате взаимодействия составных частей горных пород с веществами, находящимися в окружающей среде, может происходить химическое разрушение. Так, полевые шпаты под действием воды, содержащей диоксид углерода, разрушаются, образуя водные силикаты алюминия, в частности минерал каолинит —  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ , водный кремнезем и углекислые соли калия, натрия, кальция:



Продукты разрушения остаются на месте или чаще переносятся водными потоками, ветром, ледниками в другие места и после осаждения образуют рыхлые скопления пластов обломочных осадочных пород (песка, глины, гравия, природного щебня). Некоторые из них в последующем подвергаются цементированию природными цементами, выпавшими в толще рыхлых осадков из омывающих их растворов, образуя сплошные (цементированные) горные породы различной плотности (песчаники, конгломераты, брекчин).

кристаллическое или стекловатое, а иногда порфиоровое строение. Базальт имеет темно-серый или почти черный цвет, характеризуется высокой прочностью до 500 МПа. Вследствие наличия в стекловатой массе трещин и пор, возникших при остывании магмы, или при порфиоровой структуре прочность базальтов может резко колебаться, иногда снижаясь до 100 МПа. Большая твердость и хрупкость базальтов затрудняет их обработку. Их широко используют как дорожный материал, в качестве щебня для бетона, для кислотоупорных материалов, а также каменного литья и производства минеральной ваты.

● Порошкообразные частицы (до 1 мм) называют вулканическими пеплами, крупностью до 5 мм — вулканическими песками, а от 5 до 30 мм (реже крупнее) — пемзой. Эти породы имеют пористое строение, небольшую плотность и малую теплопроводность — 0,13...0,23 Вт/(м·°С), прочность при сжатии — 2...3 МПа.

Пемзу и пемзовые пески используют как наполнитель в легких бетонах, при производстве тепло- и звукоизоляционных материалов и в качестве шлифующего материала. Так как эти породы состоят из аморфного кремнезема и вулканического стекла, то в тонкоизмельченном виде их используют в качестве активных добавок к минеральным вяжущим веществам (см. гл. 5).

● Вулканические туфы образовались в результате последующего уплотнения, спекания или цементации природными цементами вулканического пепла. К наиболее уплотненным вулканическим туфам относятся трассы. Если же при извержении к жидкой лаве примешивается значительное количество вулканических пеплов и песков, то образуются породы, называемые туфовой лавой. Большинство вулканических туфов и туфовых лав имеет пористое строение, небольшую плотность и малую теплопроводность. Эти породы обладают разнообразной окраской и легко поддаются технологической обработке. Одним из их типичных представителей является арктиский туф, добываемый в Армени. Арктиский туф имеет розовато-фиолетовую окраску, плотность 750...1400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 6...10 МПа, теплопроводность около 0,34 Вт/(м·°С); достаточную морозостойкость.

Туфы применяют для кладки стен в виде пиленых камней правильной формы и бута, а в дробленном виде — в качестве наполнителей для легких бетонов.

● *Химические осадки образовались в результате выпадения в осадок веществ, перешедших в состав водных растворов в процессе разрушения горных пород.* Они являются следствием изменения условий среды, взаимодействия растворов различного состава и испарения (гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известковые туфы).

● *Органогенные отложения — породы, образующиеся в результате отложения отмирающего растительного мира и мелких животных организмов водных бассейнов.* Многие морские организмы при жизни извлекают из воды соли кальция, растворенный кремнезем для построения своих скелетов, раковин, панцирей, стеблей. После отмирания, осаждаясь на дно и уплотняясь, они образуют пластовые отложения органогенных пород. Для строительных целей используют мел, известняки разных видов, диатомиты и трепелы.

■ **Химический и минеральный составы осадочных пород.**

Средневаловой химический состав всех осадочных пород близок к составу магматических пород, но между собой отдельные осадочные породы различаются значительно больше, чем магматические. Осадочные породы, применяемые для строительных целей, чаще всего содержат следующие химические соединения: кремнезем в кристаллическом и аморфном состояниях (безводный и водный), алюмосиликаты (главным образом водные карбонаты (безводные), сульфаты (безводные и водные)).

Из этих соединений и состоят основные минералы осадочных пород, используемых в строительном деле: кварц, опал, каолинит, кальцит, магнезит, доломит, гипс, ангидрит.

● *Кварц* (кристаллический кремнезем) благодаря высокой стойкости при выветривании остается химически неизменным и входит в состав многих осадочных пород (песков, песчаников, глин и др.). В аморфном состоянии кремнезем в осадочных породах встречается в виде микрального опала.

● *Опал* ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) менее плотен ( $\rho_m = 1900 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$ ), прочен и стоек, чем кварц. Он отличается повышенной внутренней микропористостью и высокодисперсной структурой, обладает большой реакционной способностью к гидроксиду кальция и другим основным оксидам. Это свойство аморфного кремнезема широко ис-

пользуют при изготовлении минеральных смешанных вяжущих веществ.

● *Каолинит* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) — водный силикат алюминия, образуется при выветривании полевых шпатов и слюд. Цвет каолинита без примесей — белый, плотность —  $2600 \text{ кг/м}^3$ , твердость — 1. Каолинит и другие водные алюмосиликаты типа  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  являются основными при образовании глин. Они часто встречаются в виде примесей в известняках, песчаниках, песчаных и других осадочных породах. Наличие этих примесей понижает водо- и морозостойкость пород.

● *Кальцит* ( $\text{CaCO}_3$ ) имеет совершенную спайность в трех направлениях, плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$ , твердость 3. Кальцит растворяется в кислотах, в обычной воде — медленно (около  $0,03 \text{ г/л}$ ). Это распространенный минерал, встречающийся в различных видах известняков. Окраска белая, иногда он прозрачен.

● *Магнезит* ( $\text{MgCO}_3$ ) имеет плотность  $2900 \dots 3100 \text{ кг/м}^3$ , твердость  $3,5 \dots 4,5$ . Он распространен значительно меньше кальцита и образует породу того же названия.

● *Доломит* ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) по физическим свойствам близок к кальциту, но более тверд —  $3,5 \dots 4$ , плотен ( $\rho_m = 2900 \text{ кг/м}^3$ ) и прочен. Цвет доломита от белого до темно-серого в зависимости от примесей. Он встречается чаще, чем магнезит, образуя породу того же названия или входя в состав известняков и других осадочных пород.

● *Гипс* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) — минерал кристаллического строения, его кристаллы имеют зернистое, столбчатое, пластинчатое, игольчатое или волокнистое строение. Он белого цвета, иногда окрашен примесями. Обладает совершенной спайностью в одном направлении. Плотность гипса  $2300 \text{ кг/м}^3$ , твердость 2, сравнительно легко растворяется в воде. Гипс образует породу того же названия.

● *Ангидрит* ( $\text{CaSO}_4$ ) — безводная разновидность гипса, образует породы одноименного названия. Плотность ангидрита  $2900 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$ , твердость  $3 \dots 3,5$ .

■ **Важнейшие виды осадочных пород и их строительные свойства.**

Многие осадочные породы используют как сырье для получения других строительных материалов, а некоторые для непосредственного применения в качестве строительного камня.

● *Песок и гравий* — горные породы, образовавшиеся

в результате выветривания различных горных пород. Размер зерен песка 0,16...5 мм, гравия — 5...70 мм и более (подробнее см. гл. 6).

● *Глины* являются тонкообломочными отложениями, образовавшимися в результате выветривания полевошпатовых горных пород (граниты, гнейсы и др.). По составу глины представляют собой смесь минералов каолиновой группы с зернами кварца, слюдой, оксидами железа, карбонатами кальция и магния. Каолиновые глины (каолин) имеют белый цвет, другие глины в зависимости от вида и количества примесей могут иметь разный цвет, вплоть до черного. Глина при увлажнении приобретает пластические свойства и после обжига переходит в камневидное состояние. Она является основным сырьем в керамической промышленности и при производстве цемента (см. гл. 3 и 5).

● *Гипс и ангидрит* — породы химического происхождения, состоящие в основном из минерала гипса и ангидрита. Внешне и по своим физико-механическим свойствам они мало отличаются друг от друга. Их применяют для производства вяжущих веществ, а некоторые разновидности — для внутренней облицовки зданий.

● *Магнезит* — порода химического происхождения, состоящая в основном из минерала магнезита. Его применяют для изготовления огнеупорных изделий, частично для получения вяжущих веществ (каустического магнезита).

● *Мел* — порода органогенного происхождения, обычно белого цвета, землистого сложения, представлена микроскопическими раковинами простейших организмов. По химическому составу почти целиком состоит из карбоната кальция, имеет небольшую прочность. Применяют в качестве белого пигмента в красочных составах, приготовлении замазки, а также при производстве извести и портландцемента.

● *Диатомит* — органогенная порода, образовавшаяся из панцирей диатомовых водорослей и отчасти из скелетов радиолярий и губок, между которыми осаждались тончайший ил и глина. Состоит в основном из аморфного кремнезема в виде минерала опала,

● *Трепел* — порода, образовавшаяся раньше диатомита, и в отличие от него состоит из аморфного кремнезема в виде мельчайших шариков опала, сцементированного опаловым же цементом. Диатомит и трепел близки и по свойствам. Их пористость 60...70 %, плотность 350...

950 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,17...0,23 Вт/(м·°С). Содержание активного кремнезема составляет 75...96 %. Трепел и диатомит используют для изготовления теплоизоляционных материалов, в качестве активных минеральных добавок к вяжущим веществам. С течением времени трепел превращается в тонкопористую или плотную, трудно размокающую породу — *опоку*, почти полностью состоящую из аморфного кремнезема.

В качестве строительного камня главным образом применяют известняки различных видов, доломиты и песчаники. Состав и некоторые свойства этих пород приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Состав и свойства некоторых осадочных пород

Порода	Основные минералы	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Предел прочности при сжатии, МПа
		истинная	средняя	
Известняк плотный	Кальцит, доломит	2600...2800	1800...2600	15...100 (иногда до 180)
Известняк пористый:	То же Кальцит	2600...2800	900...1800	0,4...15 5...15 (некоторые до 80)
ракушечник известковый туф		2600...2800	1400...1800	
Доломит	Доломит	2500...2900	2200...2800	15...200
Песчаник: кремнистый	Кварц, опал	2500...2900	2300...2600	30...200 и более
известковый	Кварц, кальцит			

● *Известняки* в большинстве случаев являются органогенными породами, но встречаются известняки химического происхождения (известковые туфы). Известняки в основном сложены из минерала кальцита, но часто содержат различные примеси (кремнезем, глину, доломит, оксиды железа, органические соединения), в зависимости от которых цвет известняков может быть от белого до темно-серого с различными оттенками.

При содержании глины не более 6 % породу называют *известняком*; при наличии 6...20 % глинистых примесей — *мергелистым известняком*, а при большем содержании глины — *мергелем*. Мергель неводостоек и неморозостоек, поэтому как строительный камень не

применяется, но является ценным сырьем для производства цемента.

Примесь глины в известняках, применяемых в качестве строительного камня, даже в небольшом количестве (3...4 %) резко уменьшает их водо- и морозостойкость. Вредное влияние на строительные свойства известняков оказывает также пирит  $FeS_2$ . Известняки, содержащие некоторое количество кремнезема, более прочны и стойки, чем другие виды известняков. Известняки, в которых присутствует доломит, называют доломитизированными.

● *Плотные известняки* (плотность более  $1800 \text{ кг/м}^3$ ), состоящие из мелких зерен кальцита, связанных непосредственным сцеплением кристаллов или различными природными цементами (известковым, известково-кремнистым), используемые в виде бутового камня (для фундаментов, стен неотапливаемых зданий или жилых домов в районах с теплым климатом), плит и фасонных деталей для облицовки стен, цоколей и карнизов, ступеней, а также в качестве щебня для бетона, основания для дорог и сырья для получения извести и портландцемента.

*Известняки-ракушечники* — пористые горные породы характеризуются небольшой плотностью, низкой прочностью и малой теплопроводностью (см. табл. 2.3). Их применяют в виде камней правильной формы для кладки стен, а наиболее плотные разновидности — для облицовки стен, а также в качестве щебня для легкого бетона.

● *Известковые туфы* — пористые известняки химического происхождения. Несмотря на значительную пористость, известковые туфы характеризуются достаточной морозостойкостью, так как они вследствие ячеистого строения (поры замкнутые или крупные) имеют относительно низкое водопоглощение. Разновидность известкового туфа — травертин, имеющий мелкопороватое строение и высокую прочность при сжатии (до  $80 \text{ МПа}$ ), применяют для облицовки зданий.

● *Доломит* — порода химического происхождения, состоящая из минерала доломита. Свойства его близки к известняку плотному. Применяют доломит для тех же целей, что и известняки, а также для производства огнеупоров и теплоизоляционных материалов.

● *Песчаники, конгломераты и брекчии* — породы, образовавшиеся из рыхлых отложений разрушившихся горных пород в результате цементации их различными природными цементами (известковым, кремнистым, глини-

стым, железистым и др.). В результате цементации песков образуются песчаники, зерен гравия — конгломераты, природного щебня — брекчии. В качестве строительного камня применяют наиболее прочные и стойкие известковые и кремнистые песчаники, а также конгломераты и брекчии на этих природных цементах. Большинство песчаников — плотные, тяжелые и теплопроводные материалы. Их используют главным образом для кладки фундаментов, стен неотапливаемых зданий, ступеней, тротуаров, облицовки зданий, а также в виде щебня для бетонов и других целей. Конгломераты и брекчии, обладающие декоративностью, используют в качестве облицовочного камня.

#### 2.4. Важнейшие метаморфические породы

Метаморфические (видоизмененные) породы образуются в природе в результате изменения состава и строения осадочных и изверженных пород. Процессы метаморфизма проходят при повышенных температурах без расплавления или растворения, при воздействии высоких давлений и сдвиговых деформаций. Такие условия возникают тогда, когда исходные породы в результате горообразовательных процессов могут переместиться с поверхности в глубь земной коры. В результате может произойти перекристаллизация минералов, глубоко измениться строение, т. е. образоваться совершенно новые породы, более плотные и в большинстве случаев с ясно выраженной кристаллической структурой. Эти породы могут быть целиком видоизмененными (например, мрамор) или с заметным содержанием исходной породы (мраморовидные известняки).

Минеральный состав метаморфических пород часто идентичен исходным магматическим или осадочным породам.

Текстура метаморфических пород может быть сланцеватой (гнейсы, глинистые сланцы) и массивной (мрамор и кварциты). *Сланцеватое строение* характерно для видоизмененных пород, образовавшихся в условиях одностороннего давления. Сланцеватость понижает строительные свойства метаморфических пород, в частности морозостойкость и прочность в направлении, параллельном сланцеватости, но придает им способность относительно легко раскалываться по плоскостям сланцеватости на более или менее тонкие слои. *Массивная зерни-*

тая текстура характерна для пород, образовавшихся при многостороннем давлении, когда исходная осадочная порода в результате перекристаллизации и уплотнения становится монолитной, состоящей из тесно сросшихся кристаллических зерен. Такие породы отличаются очень высокой плотностью по сравнению с осадочными породами, из которых они образовались.

В строительстве из метаморфических пород применяют гнейсы, глинистые сланцы, мраморы, кварциты.

● *Гнейсы* по минеральному составу и свойствам сходны с породами гранитного типа, из которых они образовались. Из-за сланцеватого строения менее долговечны. В строительстве их чаще всего используют в виде бутовых плит для кладки фундаментов, устройства тротуаров, облицовки набережных, каналов.

● *Глинистые сланцы* — типичные сланцевые метаморфические породы, образовавшиеся из глин; цвет черный или темно-серый. Глинистые сланцы не размокают в воде, стойки против выветривания, легко раскалываются на тонкие ровные плитки (3...10 мм), применяемые как кровельный материал (природный шифер).

● *Мраморы* образовались в результате видоизменения известняков (реже доломитов) и состоят из прочно сросшихся кристаллов кальцита, иногда с примесями зерен доломита, марганцевых, железистых и углеродистых соединений, придающих им различную окраску. При неравномерном распределении примесей мраморы имеют пеструю окраску с различными узорами, придающими камню декоративность. Мраморы отличаются высокой плотностью — до 2900 кг/м<sup>3</sup>, малым водопоглощением — до 0,7 %, большой прочностью при сжатии — до 300 МПа, но обладают небольшой твердостью — 3. Мрамор хорошо шлифуется и полируется, распиливается на тонкие плиты. Его широко применяют для внутренней облицовки стен, изготовления ступеней, подоконных досок и других изделий. Разновидности мрамора, непригодные для штучных изделий, или отходы при обработке мрамора в виде крошки используют в качестве заполнителя для отделочных растворов и бетонов. Для наружной облицовки зданий большинство мраморов применять не рекомендуется, так как под влиянием атмосферных агентов (воды, сернистого газа, изменений температуры и др.) поверхность мрамора теряет декоративный вид и подвергается заметной коррозии (становится тусклой, шероховатой и более пористой).

● *Кварциты* образовались в результате видоизменения кремнистых песчаников. Они имеют плотную структуру и состоят из перекристаллизованных зерен кварца, сцементированных кварцевым цементом. Окраска — белая, красная, темно-вишневая. Кварциты обладают высокой плотностью — около 2700 кг/м<sup>3</sup>, небольшим водопоглощением — менее 0,2 %, значительной прочностью при сжатии — до 400 МПа, большой твердостью — 7 и долговечностью. Кварциты применяют для наружной облицовки повышенной стойкости, подферменных камней в мостах, иногда в виде щебня и бута, а также как сырье для изготовления динасовых огнеупоров.

## 2.5. Материалы и изделия из природного камня

■ **Виды материалов и изделий. Технические требования к ним.**

Каменные материалы разделяют по плотности: на тяжелые — плотностью более 1800 кг/м<sup>3</sup> и легкие — менее 1800 кг/м<sup>3</sup>; по *пределу прочности при сжатии* (МПа) — на марки: для тяжелых — от 10 до 100, для легких — от 0,4 до 20; по *морозостойкости* — на марки: Мрз 15...500 (тяжелые) и Мрз 10...25 (легкие); по *водостойкости* — на группы с коэффициентом размягчения не ниже 0,6; 0,75; 0,9 и 1.

В зависимости от назначения и условий применения природные каменные материалы оценивают также по *твердости, истираемости и сопротивлению ударным нагрузкам* (например, дорожные материалы), *стойкости против различных химических воздействий* внешней среды и т. п.

По *степени обработки* различают каменные материалы: *грубообработанные* (бутовый камень, щебень, гравий, песок) и *профилированные* (пиленые штучные камни и блоки для стен; камни, плиты и профильные изделия для наружной и внутренней облицовки зданий и сооружений, полов; дорожного строительства и т. п.).

■ *Бутовый камень* (бут) — куски камня размером 150...500 мм по наибольшему измерению. Рваный бут (неправильной формы) добывается преимущественно взрывным способом, а плитняковый (постелистый) получают из пород пластового залегания раскалыванием камнекольным инструментом. Из бута возводят плоты, подпорные стенки, фундаменты и стены неотопляемых зданий. Вследствие неправильной формы камней

бутовая кладка трудоемка и требует повышенного расхода раствора. В индустриальном строительстве ее заменяют сборными бетонными и железобетонными элементами. В связи с этим значительную часть добываемого бута перерабатывают в щебень или используют в бутобетонах (бетон с включением в его состав бута камня).

● **Щебень** — куски камня размером 5...70 мм (для гидротехнического строительства до 150 мм). Получают его дроблением из прочных и морозостойких горных пород. Встречается и природный щебень, называемый дресвой.

● **Стеновые камни и блоки** изготавливают из пористых известняков, вулканических туфов и других горных пород плотностью до 2100 кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии 2,5...40 МПа. Правильную геометрическую форму камней и блоков получают, как правило, выпиливая их из массива с помощью камнерезных машин; значительно реже выпускают колотые штучные камни. Размеры камней и блоков должны быть кратны установленному в СССР единому строительному модулю 100 мм.

С учетом толщины швов камня и блоки бывают высотой 38...302 см, шириной 82...100 см, толщиной 30...50 см. Урупнение камней позволяет уменьшить затраты труда при кладке и повысить индустриальность строительства. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> природного стенового камня в среднем по СССР в 2 раза ниже себестоимости 1 м<sup>3</sup> керамического кирпича, а удельные капитальные вложения на организацию добычи пиленого камня в 2...2,5 раз меньше, чем кирпича. Особо эффективно использовать природные стеновые камни там, где они являются местными материалами (в Крыму, Молдавии, Закавказье и др.).

● **Облицовочные плиты, камни и профильные изделия** изготавливают распиловкой или раскалыванием блоков горных пород с последующей их механической обработкой для придания правильной формы, размеров и получения определенной фактуры лицевой поверхности (рис. 2.1).

**Плиты для наружной облицовки** зданий, набережных, опор мостов, гидротехнических сооружений, для долговечных и декоративных полов общественных зданий с интенсивными людскими потоками изготавливают из плотных горных пород, в которых не допускаются трещины и содержание глинистых и других примесей.

**Для внутренней облицовки** применяют мраморы и мраморовидные известняки, ангидрит и другие мягкие, хорошо распиливающиеся породы.

Толщина колотых и тесаных плит для облицовки

стен — 100...250 мм, пиленых — 12...80 мм. Распиловка горных пород алмазными инструментами дает возможность изготавливать плиты толщиной менее 10 мм. Стоимость 1 м<sup>2</sup> таких плит в 2...4 раза ниже, чем обычных. Пилёные плиты обладают большей атмосферостойкостью, чем тесаные, так как удары при теске дробят кристаллы, создавая микротрещины. Из тех же горных пород изготавливают и профильные детали (цокольные плиты и камни, детали порталов, плинтусы, пояски, карнизы, подоконные и угловые плиты), а также элементы лестниц и площадок. Высокая долговечность облицовок из природного камня в 5...8 раз сокращает трудовые затраты на их эксплуатацию по сравнению со зданиями, отделанными цветными растворами и бетонами или окрашенными силикатными и известковыми красками.

**Материалы и изделия для дорожного строительства** изготавливают из магматических и осадочных горных пород, которые имеют высокую прочность, малое водопоглощение, хорошо сопротивляются ударным и истирающим воздействиям, морозостойких и незатронутых выветриванием.

● **Бортовые камни** (рис. 2.2) изготавливают обколкой и обтеской пород, причем верхнюю часть бортового камня, выступающую над дорожным покрытием, обтесывают чисто, а нижнюю — грубо. Стоимость таких камней выше, чем бетонных бортовых, но они значительно долговечнее. Эти камни разрешается применять взамен бетонных только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

● **Брусчатку и шашку** (рис. 2.2, б, в) изготавливают машинным способом (раскалыванием) главным обра-

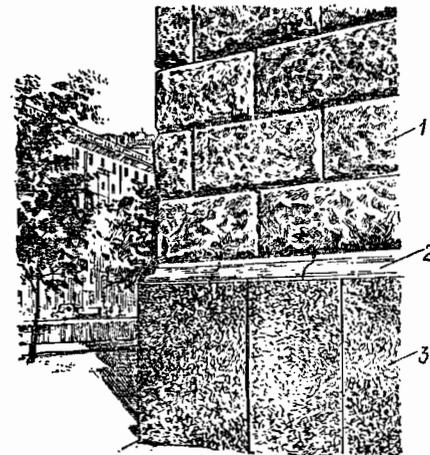


Рис. 2.1. Облицовка зданий гранитными плитами:

1 — с фактурой «скала»; 2 — карниз; 3 — с полированной фактурой

зом из диабаз и гранита и применяют при устройстве мостовых, трамвайного полотна и т. п.

● **Жаростойкие и химически стойкие материалы и изделия** 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, шпаклевок и т. п. Для материалов и изделий, работающих в условиях высоких температур, используют базальт, диабаз, андезит, туф, хромит.

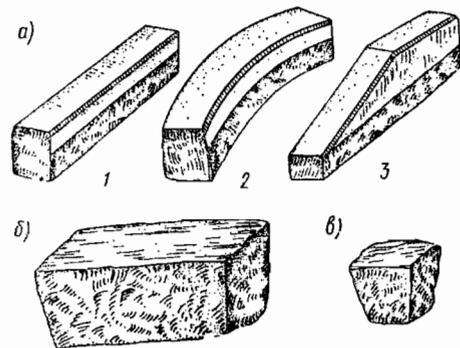


Рис. 2.2. Изделия для дорожного строительства;

а — бортовой камень; 1 — прямой; 2 — лекальный; 3 — для съездов; б — брусчатка; в — шашка

песчаников. Важным условием службы каменных материалов в агрессивных средах является их высокая плотность. Для эксплуатации в таких условиях они должны иметь плотность и предел прочности при сжатии соответственно не менее  $2300 \text{ кг/м}^3$  и  $30 \text{ МПа}$  для осадочных пород и не менее  $2400 \text{ кг/м}^3$  и  $100 \text{ МПа}$  для магматических, коэффициент размягчения  $0,8...0,9$ , кислотостойкость не менее  $93...95 \%$ .

#### ■ Добыча и обработка каменных материалов.

Технология каменных материалов и изделий включает добычу горной породы и ее обработку.

● **Рыхлые горные породы** (песок, гравий, глину) добывают открытым способом, применяя одно- и многоковшовые экскаваторы или с помощью гидромеханизации. В последнем случае вода, подаваемая гидромонитором под большим давлением, размывает породу и далее из легкой текучей смеси воды и породы (пульпы)

в специально отведенных местах происходит осаждение песка или гравия и их сортировка.

● **Плотные горные породы**, используемые для получения рваного бута, щебня или сырья для других строительных материалов, обычно разрабатывают взрывным способом.

● **Пористые породы** (известняки-ракушечники, туфы), используемые для штучных стеновых камней и блоков, разрабатывают обычно специальными камнерезными

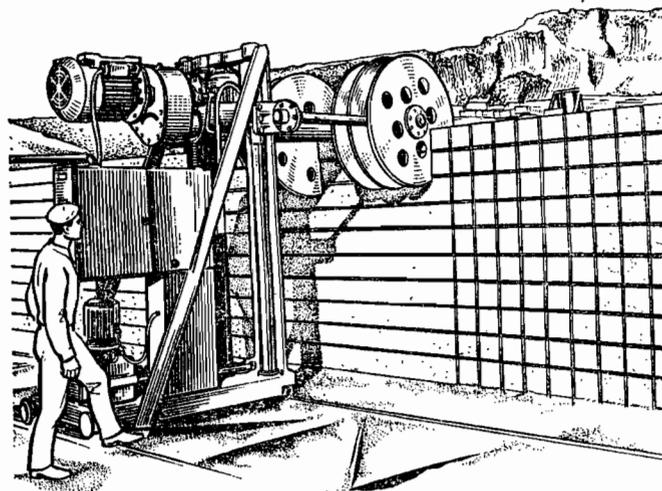


Рис. 2.3. Камнерезная машина с дисковыми пилами

ми машинами (рис. 2.3), основными режущими элементами которых являются дисковые пилы, имеющие на ободе резцы, армированные твердыми сплавами или алмазами. Для получения более крупных блоков применяют машины с бесконечными режущими цепями или машины, в которых диски заменены кольцевыми фрезами.

Разработка и обработка пород, предназначенных для облицовки, предусматривают следующие операции: отделение от массива блоков-полуфабрикатов крупных размеров (4...5 м); распиливание или раскалывание блоков на плиты или другие формы изделий; обработка кромок и поверхности изделий.

При добыче блоков применяют буроклиновой, абра-

зивный и термический способы. Буроклиновой способ используют при добыче очень твердых и прочных пород (гранита и других изверженных пород). Абразивный способ (распиливание) применяют при вырезке блоков из более мягких пород (мрамора, известняка, туфа). При термическом способе на разрабатываемую породу направляют высокотемпературную (свыше 2500 °С) газовую струю. Эта струя выбрасывается из камеры сго-

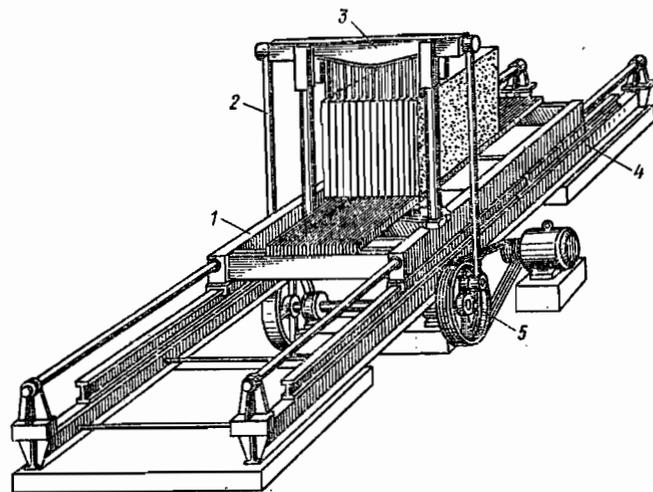


Рис. 2.4. Вертикально-распиловочная рамная пила:

1 — стол; 2 — шатун; 3 — пильная рама; 4 — станина; 5 — привод

рания керосина в кислороде или бензина в воздушной среде со сверхзвуковой скоростью (около 2000 м/с) и разрушает породу.

Распиловку блоков на плиты производят чаще рамными пилами (рис. 2.4), реже канатными. В обоих случаях используют абразивный порошок (кварцевый песок, порошок из закаленной стали и др.), подаваемый вместе с водой под полотна пил (канатов), который собственно и осуществляет распиливание, либо применяют пилы, армированные твердосплавными или алмазными вставками.

Для обрезки плит и получения профилированных изделий (поясков, карнизов и т. п.) применяют фрезерные и профилирующие машины. Режущим элементом в этих

машинах являются истирающие диски или профилирующие детали, изготовленные из особотвердых абразивов.

Поверхностям плит и других каменных материалов придают ту или иную фактуру (рельеф поверхности). Для этого применяют ударную обработку твердых пород (скальвание их поверхности ударами) различными камнетесными инструментами (рис. 2.5) или абразивную обработку (распиливание, шлифовку, полировку), а так-

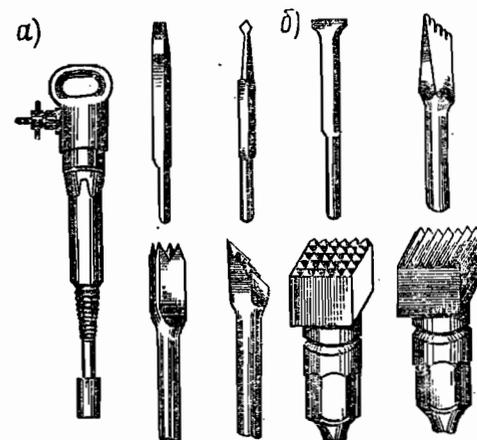


Рис. 2.5. Пневматический молоток с набором ударных наконечников:

а — молоток; б — набор сменных наконечников

же термическую обработку (см. с. 68). Описание видов фактур приведено в табл. 2.4.

Шлифованную, лошеную и зеркальную фактуры получают на специальных шлифовально-полировальных станках. Применение при шлифовке и полировке в качестве абразивного материала мелкого и пылевидного алмазов, как и при резании, резко увеличивает производительность станков, улучшает качество изделий и снижает их стоимость.

■ **Меры защиты каменных материалов от выветривания в сооружениях.**

Непременным условием длительной службы каменных материалов в сооружениях является правильный их выбор с учетом эксплуатационной среды, химико-минералогического состава и структуры материала. Однако даже самые прочные породы, из которых выпол-

Таблица 2.4. Виды фактур каменных материалов

Способ обработки	Фактура	Краткое описание фактуры
Ударный (скальвание ударами)	Скала	Вид как при расколе породы (крупные бугры и впадины) без следов инструмента на поверхности
	Рифленая	Правильное чередование гребней и впадин глубиной до 2 мм
	Бороздчатая (кованая)	Равномерно шероховатая с прерывистыми бороздками глубиной 0,5...1 мм
	Точечная	Равномерно шероховатая с точечными углублениями 0,5...2 мм
Абразивный (обработка абразивными материалами)	Пиленая	Неравномерное распределение бороздок глубиной до 2 мм
	Шлифованная	Равномерная шероховатость с глубиной рельефа до 0,5 мм
	Лощеная	Гладкая бархатисто-матовая с выявленным рисунком и цветом камня
	Зеркальная	Зеркально-блестящая с полностью выявившимся цветом и рисунком камня

нен материал, под непрерывным механическим и химическим воздействием атмосферных факторов и различных микроорганизмов разрушаются. Этот процесс по аналогии с разрушением горных пород на земной поверхности называют выветриванием.

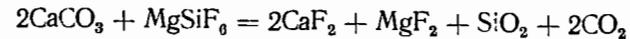
Основные причины выветривания природных каменных материалов в сооружениях: замерзание воды в порах и трещинах, вызывающее внутреннее напряжение; частое изменение температуры и влажности, вызывающее появление микротрещин; растворяющее действие воды и понижение прочности при водонасыщении; химическая коррозия под действием газов ( $O_2$ ,  $CO_2$  и др.), содержащихся в атмосфере, и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде. Различные микроорганизмы и растения (мхи, лишайники), поселяясь в порах и трещинах камня, извлекают для своего питания щелочные соли и выделяют органические кислоты, вызывающие биологическое разрушение камня.

Стойкость материалов против выветривания тем выше, чем меньше их пористость и растворимость. Поэтому все мероприятия по защите каменных материалов от

выветривания направлены на предохранение их от воздействия воды и на повышение поверхностной плотности. Эти меры могут быть конструктивными и химическими.

● Конструктивно защиту конструкций от увлажнения осуществляют путем устройства надлежащих стоков воды, придания каменным материалам гладкой поверхности и такой формы, при которой вода, попадающая на них, не задерживается и не проникает внутрь материала.

● К химическим мероприятиям относят создание на лицевой поверхности камня плотного водонепроницаемого слоя или ее гидрофобизацию. Одним из способов повышения поверхностной плотности является флюатирование, при котором карбонатные породы пропитывают солями кремнефтористоводородной кислоты (флюатами), например флюатами магния. В результате происходящей реакции:



в поверхностных порах камня выделяются практически нерастворимые в воде фториды кальция и магния и кремнезем, уменьшая пористость и водопоглощение поверхностного слоя и несколько препятствуя загрязнению облицовки пылью. Некарбонатные пористые породы предварительно обрабатывают водными растворами кальциевых солей, например хлористым кальцием, а после просушки — содой, затем флюатом.

Гидрофобизация, т.е. пропитка пористого каменного материала гидрофобными (водоотталкивающими) составами, препятствующими проникновению влаги в материал, также повышает их стойкость против выветривания. Хорошие результаты дает пропитка кремнийорганическими жидкостями и другими полимерными материалами, а также растворами парафина, стеарина или металлических мыл (алюминиевого, цинкового и др.) в легкоиспаряющихся органических растворителях (бензине, лаковом керосине и т.д.).

Долговечность пористого камня значительно увеличивает пропитка его поверхностного слоя раствором мономера с последующей полимеризацией мономера в порах камня при термокаталитической или радиационной обработке.

## 2.6. Методика преподавания природных каменных материалов

Широкое использование горных пород для строительных целей, в том числе и в качестве сырья для производства других важнейших строительных материалов, обусловило необходимость изучения этой группы материалов во всех учебных заведениях строительного профиля. Поэтому в начале изложения этого раздела необходимо показать широту и разнообразие областей их применения и перспективы дальнейшего развития.

Учащийся независимо от того, кем он будет — техником-строителем, техником-технологом или квалифицированным рабочим, должен хорошо знать свойства этой группы материалов, чтобы грамотно использовать их в строительном процессе или при изготовлении строительных материалов и изделий на заводах. Для того чтобы знать свойства, а не просто их запомнить, нужно изучить состав и строение природных материалов, которые, в свою очередь, зависят от условий образования горной породы, используемой для их получения. Поэтому при изложении и изучении этого раздела целесообразно придерживаться логического ряда: условия образования породы (материала) — состав и строение — свойства — области и особенности применения.

Степень подробности рассмотрения каждого элемента в зависимости от будущей специальности учащихся различна. Для будущих техников-строителей и квалифицированных рабочих некоторых специальностей достаточно изложить лишь общие принципиальные понятия об условиях образования материала, его составе и строении, а главное внимание уделить свойствам, методам их оценки и основным особенностям применения, обработки и укладки материалов и изделий в различных частях зданий и при разных эксплуатационных условиях. Для технологов необходимо более подробное изложение и изучение всех элементов логического ряда и установление взаимной связи между ними.

Чтобы оценить значение тех или иных свойств каменного материала, следует рассмотреть требования, которые могут быть предъявлены к камню, применяемому для разных частей сооружений. Это особенно полезно потому, что на примере природных камней можно ознакомиться с общим характером требований, предъявляемых строителями к материалам, применяемым для раз-

личных частей сооружения. Кроме того, это позволит учащемуся практически применить сведения, полученные при изучении общих свойств материалов.

После изложения теоретических и принципиальных основ материаловедения этой группы материалов методически целесообразно сообщить учащимся сведения о номенклатуре основных каменных природных материалов и изделий, принципы их разработки и обработки, а также методы повышения долговечности. Для учащихся ПТУ эти сведения должны быть изложены подробно, вплоть до рецептов, конкретных приемов обработки и укладки и применяемых приспособлений и инструментов. При этом изучение указанных вопросов должно проводиться в основном в процессе практических и лабораторных занятий, а также непосредственно на рабочем месте и в увязке с другими дисциплинами (например, «Строительные работы»). Эта особенность вызвана тем, что будущий рабочий должен не только знать, но и уметь, что и как делать.

Изложение материала на лекциях и практических занятиях необходимо сопровождать показом образцов каменных материалов, примеров их применения в натуре, используя плакаты, диапозитивы, слайды, кино, а также экскурсии.

Для контроля и закрепления знаний по данному разделу кроме опросов на практических и лабораторных занятиях необходимо планировать проведение одного-двух коллоквиумов или контрольных работ. Такие мероприятия нужны не только для оценки знаний, но они имеют более важное значение. В период подготовки к ним учащийся не просто повторяет и дорабатывает материал, а делает обзор по всему разделу, обобщает свои знания. Из отдельных деталей, разобранных сведений у него создается общая картина, становится понятной методология раздела и предмета в целом, его система. Значительную помощь учащимся в этом деле могут оказать обучающие и контролирующие машины с хорошо составленными программами, которые должен подготовить преподаватель.

## 3.1. Общие сведения

● *Керамическими называют искусственные каменные материалы, изготовляемые из минерального сырья путем формования и последующего обжига при высоких температурах.*

Изготовление строительной керамики (кирпича, а затем черепицы) началось около 5000 лет назад. Развитие керамической промышленности в нашей стране неразрывно связано с научными исследованиями советских ученых. Глубокое изучение месторождений, свойств глинистого сырья выполнено акад. В. И. Вернадским и проф. А. П. Земятченским. Улучшению керамического производства способствовали работы акад. П. П. Будникова, профессоров Г. В. Куколева, Д. Н. Полубояринова, А. И. Августинки и др.

Материал, из которого состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют *керамическим черепком*.

По структуре различают керамические изделия с *пористым* и *со спекшимся* (плотным) черепком. Пористыми условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка по массе превышает 5 % (в среднем 8...20 %): кирпич сплошной, пустотелый и легкий, керамические камни, черепица, облицовочные плитки, дренажные трубы и т. п. Спекшимся считают черепок с водопоглощением меньше 5 % (чаще 2...4 %), как правило, он практически водонепроницаем. К плотным изделиям относят дорожный кирпич, плитки для полов, фарфоровые изделия.

Распространенность глин в природе, а также большая прочность, значительная долговечность, красивый внешний вид многих видов керамики позволили применять керамические материалы почти во всех конструктивных элементах зданий и сооружений.

По конструктивному назначению различают керамические изделия: для стен (кирпич и керамические камни); облицовки фасадов (лицевой кирпич и камни, плитки); внутренней облицовки стен и полов (плитки); перекрытий (пустотелые камни); кровли (черепица); санитарно-техническое оборудование (изделия из строительного фаянса); дорог и подземных коммуникаций (дорожный кирпич, трубы и т. п.); теплоизоляции (лег-

кий кирпич, фасонные изделия); кислотоупорные изделия (кирпич, плитки, трубы и т. п.); огнеупоры, а также заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит).

## 3.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий

Сырьевую массу для изготовления керамических изделий обычно составляют из пластичных материалов (глины, каолины) и непластичных материалов (отошающих и выгорающих добавок, плавней). Глины и каолины объединяют общим названием — глинистые материалы. В производстве некоторых искусственных обжиговых материалов используют диатомиты, трепелы, а также шлаки, золы, сланцы в чистом виде или с добавкой глин, порообразующих и других добавок.

■ **Глинистые материалы и их керамические свойства.**

● *Глины представляют собой осадочные горные породы тонкоземлистого строения, которые независимо от их минерального и химического состава способны при смешивании с водой образовывать пластичное тесто, переходящее после обжига в водостойкое и прочное каменевидное тело.* Образовавшись в результате выветривания главным образом полевошпатовых пород, глины состоят из плотной смеси различных глинистых минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты со слоистой кристаллической структурой. Наиболее распространенными из них являются *каолинитовые* (каолинит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и галлуазит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), *монтмориллонитовые* (монтмориллонит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , бейделлит  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) и *гидрослюдастые* (в основном продукты разной степени гидратации слюд).

Наряду с глинообразующими минералами в глинах встречаются: кварцы, полевоый шпат, серный колчедан, гидроксиды железа, карбонаты кальция и магния, соединения титана, ванадия, органические примеси. Перечисленные примеси влияют как на технологию керамических изделий, так и на их свойства. Например, тонко распределенный углекислый кальций и оксиды железа понижают огнеупорность глин. Если в глине имеются крупные зерна углекислого кальция, то при обжиге из них образуются включения извести, которые гидратируют с увеличением объема («дутики»), что вызывает образование трещин или разрушение изделий.

Наиболее чистые глины, состоящие преимущественно из каолинита, называют *каолинами*; после обжига они сохраняют белый цвет.

*Бентонитами* называют высокодисперсные породы с преобладающим содержанием монтмориллонита.

В состав глин входят различные по крупности зерна, но характерные для глин высокие пластичность и связующая способность обусловлены наличием в них очень мелких частиц пластинчатой формы, размер которых не превышает 0,005 мм. Эти частицы называют глинистым веществом. Малая величина частиц и, следовательно, большая суммарная поверхность, а также их пластинчатая форма обеспечивают сцепление частиц и позволяют им сдвигаться относительно друг друга без потери сцепления. Чем больше в глине содержится глинистого вещества, тем она пластичнее. Высокопластичные глины содержат частиц менее 0,005 мм — 80...90 %. В большинстве глин имеются и более крупные частицы, не обладающие свойством пластичности. При величине зерен 0,005...0,05 мм их относят к пыли, а при размерах 0,05...2 мм — к песку.

Керамические свойства глин характеризуются пластичностью, связностью и связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

● *Пластичность* — способность глиняного теста деформироваться под влиянием внешних механических воздействий без нарушения сплошности (без разрыва или образования трещин) и сохранять полученную форму после прекращения этих воздействий. На этом свойстве и основана возможность формования изделий.

При смачивании сухой глины молекулы воды (диполи) втягиваются между чешуйчатыми частицами глинистых минералов (рис. 3.1) и адсорбируются на их поверхности, образуя тонкие слои воды и вызывая набухание глин. Эти слои воды играют роль смазки, облегчающей скольжение, поэтому глина, смешанная с водой, дает легко формуемую пластичную массу. Чем пластичнее глины, тем больше они требуют воды для получения удобоформируемого глиняного теста и тем выше их воздушная усадка. Высокопластичные глины имеют водопотребность более 28 % и воздушную усадку 10...15 %. Глины средней пластичности характеризуются водопотребностью 20...28 % и воздушной усадкой 7...10 %. У малопластичных глин водопотребность менее 20 %, а воздушная усадка 5...7 %.

Техническим показателем пластичности является число пластичности:

$$Pl = w_T - w_p, \quad (3.1)$$

где  $w_T$  и  $w_p$  — значения влажности, соответствующие пределу текучести и пределу раскатывания глинистого жгута (рис. 3.2), %.

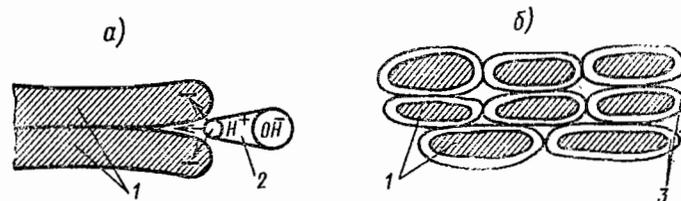


Рис. 3.1. Схема расклинивающего действия адсорбированной воды: а — в начале увлажнения; б — в увлажненной глине; 1 — слившиеся глинистые частицы с отрицательными зарядами на концах; 2 — дипольная молекула воды; 3 — адсорбированный слой воды

Изделия из весьма пластичных глин ( $Pl > 15$ ) при высыхании сильно уменьшаются в объеме и дают трещины, что в производстве недопустимо. Малопластичные (тощие) глины ( $Pl < 7$ ) неудобны в работе, так как тесто из таких глин с трудом формируется, поэтому нередко приходится регулировать пластичность глин. Излишняя пластичность глин может быть устранена путем введения в них непластичных (отощающих) добавок или добавлением малопластичных глин. При недостаточной пластичности глину отмучивают, освобождают ее от песка, подвергают вылеживанию на открытом воздухе, измельчают на специальных машинах, обрабатывают паром, вакуумируют, а также добавляют пластичную глину. В результате повышается дисперсность глин, улучшается их набухаемость и повышаются пластичность и формовочная способность.

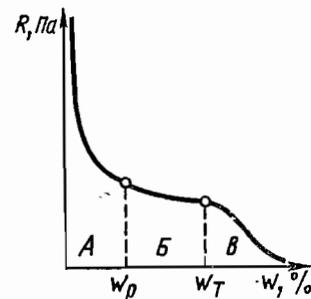


Рис. 3.2. Изменение деформативных свойств глины в зависимости от ее влажности:

А — область хрупкого состояния; Б — пластичного; В — вязкотекучего

● **Связность** — *усилие, необходимое для разъединения частиц глины.* Как уже указывалось, связность глин обусловлена малой величиной и пластинчатой формой частиц глинистого вещества. Высокой связностью обладают глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций.

● **Связующая способность глины** *выражается в том, что глина может связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высушке достаточно прочное изделие — сырец.*

● **Воздушная усадка (усушка) глин** — *уменьшение размеров и объема сырцового изделия.* В процессе сушки вода испаряется, толщина водных оболочек вокруг глинистых частиц сокращается и отдельные частицы глины сближаются между собой, в результате чего происходит воздушная усадка. Воздушную усадку выражают в процентах от первоначального размера сырцового изделия.

● **Огневая усадка глин** — *изменение размеров и объема при обжиге изделия.* При обжиге наиболее легкоплавкие соединения глины переходят в состояние жидкости, которая обволакивает нерасплавившиеся частицы и частично заполняет промежутки между ними. Частичное плавление глины и действие сил поверхностного натяжения жидкой фазы вызывают сближение твердых частиц обжигаемой глины и объем ее уменьшается, т. е. происходит огневая усадка. При большом содержании в глине кварцевого песка может не быть усадки или даже произойдет расширение материала, что связано с переходом кварца при нагревании в другую кристаллическую форму с увеличением объема. Огневая усадка глин может быть 2...6 %. Полной усадкой глин называют сумму воздушной и огневой усадок. Полная усадка обычно составляет 5...18 %. Для получения изделий с заданными размерами полную усадку учитывают при формовании, соответственно увеличивая размеры сырца.

● **Огнеупорность** — *свойство глин выдерживать действие высокой температуры без деформации.* Глины вследствие неоднородности состава не имеют определенной температуры плавления. При действии высоких температур они размягчаются и постепенно деформируются. По огнеупорности различают глины трех групп: огнеупорные (огнеупорность выше 1580 °С), тугоплавкие (1350...1580 °С) и легкоплавкие (ниже 1350 °С).

К огнеупорным относятся каолиновые глины, содержащие мало примесей. Такие глины используют для производства фарфора, фаянса и огнеупорных изделий. Тугоплавкие глины содержат оксиды железа, кварцевый песок и другие примеси в значительно большем количестве, чем огнеупорные. Их применяют для производства тугоплавкого, облицовочного и лицевого кирпича, плиток для полов и канализационных труб. Легкоплавкие глины наиболее разнообразны по минеральному составу, содержат значительное количество примесей. Их используют в производстве кирпича, черепицы, легких заполнителей и т. д.

### ■ **Непластичные материалы.**

Для придания необходимых свойств как глинам, так и изделиям из них в глину вводят различные добавки.

● **Отощающие материалы** *добавляют к пластичным глинам для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях.* Для этих целей используют дегидратированную глину, шамот, шлаки и золы, а также некоторые природные материалы (кварцевый песок, пылевидный кварц). Дегидратированную глину получают нагреванием глины обычно до 600...700 °С (при этой температуре она теряет свойство пластичности). Шамот изготавливают обжигом огнеупорных или тугоплавких глин при 1000...1400 °С с последующим их помолом (зерна 0,16...2 мм).

● **Порообразующие материалы** *вводят в сырьевую массу для получения легких керамических изделий с повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью.* Для этого используют вещества, которые при обжиге диссоциируют (мел, молотый доломит и др.) с выделением газа, например CO<sub>2</sub>, или выгорают (древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль и др.). Такие добавки одновременно являются и отощающими.

● **Плавни** *добавляют в глину в тех случаях, когда необходимо понизить температуру ее спекания (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк и др.).*

Для получения некоторых видов цветной керамики в сырьевую массу добавляют оксиды металлов (железа, кобальта, хрома и др.).

### ■ **Глазури и ангобы.**

Для придания стойкости к внешним воздействиям, водонепроницаемости и определенного декоративного вида поверхность некоторых керамических изделий покрывают глазурью или ангобом.

● **Стекловидный слой глазури, нанесенный на поверхность керамического материала, закрепляют на нем обжигом при высокой температуре.** Глазури могут быть

прозрачными и непрозрачными (глухими) различного цвета. Для изготовления глазури используют: кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных и щелочно-земельных металлов, оксиды свинца или стронция, борную кислоту, буру и др. Их применяют в сыром виде или сплавленными в виде фритты; размалывают в порошок, разводят водой и в виде суспензии наносят на поверхность изделий перед обжигом.

● Ангоб изготовляют из белой или цветной глины и наносят тонким слоем на поверхность сырцового изделия. В отличие от глазури ангоб не дает при обжиге расплава, т. е. не образует стекловидного слоя, и поэтому цветная поверхность получается матовой. По свойствам ангоб должен быть близок к основному черепку.

### 3.3. Общая схема производства керамических изделий

Керамические изделия вследствие их разнообразия изготовляют разными технологическими приемами, но основные этапы их производства примерно одинаковы и состоят из добычи глины, подготовки массы для формования, формования сырца, сушки и обжига изделий.

#### ■ Добыча глины, подготовка керамической массы и формование изделий.

В большинстве случаев глину добывают открытым способом, для чего используют одно- или многоковшовые экскаваторы, скреперы и другие механизмы. На завод глину доставляют рельсовым транспортом, автотранспортом, ленточными транспортерами, подвесными дорогами, люлочными конвейерами.

Карьерная глина обычно непригодна для получения изделий. Поэтому технология любого керамического изделия начинается с приготовления так называемой *керамической*, или рабочей, массы. Цель этой стадии производства — разрушить природную структуру глиняного сырья, удалить из него вредные примеси, крупные куски измельчить, а затем обеспечить равномерное смешивание всех компонентов с водой до получения однородной и удобоформуемой керамической массы. В зависимости от вида изготавливаемой продукции и свойств исходного сырья керамическую массу получают пластическим, полусухим и шликерным (мокрым) способами. В связи с этим выбирают и способ формования изделий — пластическое формование, полусухое или сухое прессование, литье.

● При пластическом способе подготовки массы и формования исходные материалы при естественной влажности или предварительно высушенные смешивают друг с другом с добавкой воды до получения теста. Влажность получаемой массы колеблется от 15 до 25 % и более. Подготовленная глиняная масса поступает в формующий пресс, чаще всего в ленточный обычный или снабженный вакуум-камерой (рис. 3.3). Разрежение

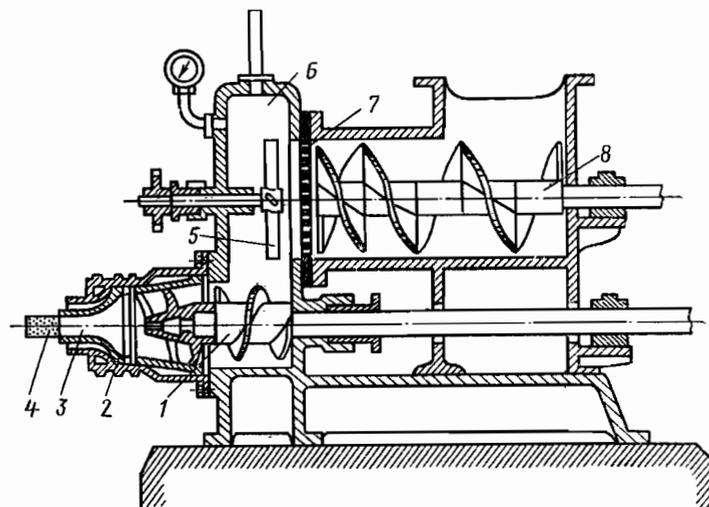


Рис. 3.3. Ленточный вакуум-пресс:

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

способствует удалению воздуха из глины и сближению ее частиц, что повышает однородность и формуемость массы и прочность сырца. Глиняный брус требуемого сечения, выходящий через мундштук пресса, разрезают резательным аппаратом на изделия (сырцовые изделия). Пластический способ подготовки массы и формования наиболее распространен при выпуске массовых материалов (кирпича сплошного и пустотелого, камней, черепицы, облицовочных плиток и т. п.).

● При полусухом способе подготовки сырьевые материалы вначале подсушивают, дробят, размалывают в порошок, а затем перемешивают и увлажняют водой или,

что лучше, паром, так как при этом облегчается превращение глины в однородную массу, улучшаются ее набухаемость и формовочная способность. Керамическая масса представляет собой малопластичный пресспорошок с небольшой влажностью: 8...12 % при полусухом и 2...8 % (чаще 4...6 %) при сухом способе формования. Поэтому изделия из таких масс формируют под большим давлением (15...40 МПа) на специальных автоматических прессах. Изделия после прессования иногда можно сразу обжигать без предварительной сушки, что ведет к ускорению производства, сокращению расхода топлива и удешевлению продукции. В отличие от пластического способа формования можно использовать малопластичные глины, что расширяет сырьевую базу производства. Полусухим способом прессования изготавливают кирпич сплошной и пустотелый, облицовочные плитки, а сухим способом — плотные керамические изделия (плитки для полов, дорожный кирпич, материалы из фаянса и фарфора).

● По шликерному способу исходные материалы предварительно измельчают и тщательно смешивают с большим количеством воды (влажность смеси до 40 %) до получения однородной текучей массы (шликера). Шликер используют непосредственно для изготовления изделий (способ литья) или для приготовления пресспорошка, высушивая его в распылительных башенных сушилках. Шликерный способ применяют в технологии фарфоровых и фаянсовых изделий, облицовочных плиток.

#### ■ Сушка изделий.

Сушка — весьма ответственный этап технологии, так как трещины обычно возникают именно на этом этапе, а при обжиге они лишь окончательно выявляются. Обычно достаточным является высушивание сырца до остаточной влажности — 6...8 %.

В процессе сушки продвижение влаги из толщи керамического изделия к наружным слоям происходит значительно медленнее, чем влагоотдача с поверхности, особенно это проявляется в ребрах и углах изделий. При этом возникает различная степень усадки внутренних и внешних слоев, а следовательно, создаются напряжения, которые могут привести к растрескиванию материала. Для предотвращения этого к жирным глинам прибавляют отошители, которые образуют жесткий скелет, препятствующий сближению глинистых частиц, увеличи-

вают пористость изделия, что способствует продвижению воды из его внутренних слоев к наружным. Для уменьшения чувствительности глин к сушке применяют также паропрогрев и вакуумирование глин, используют некоторые органические вещества в малых дозах ЛСТ, дегтевые и битуминозные вещества и др. (см. гл. 5).

Прежде сырец сушили преимущественно в естественных условиях (в сушильных сараях). Естественная сушка, хотя и не требует затрат топлива, но в значительной степени зависит от погоды и длится очень долго (10...20 сут). В настоящее время сушку сырца, как правило, производят искусственно в специальных сушилках периодического или непрерывного действия. В качестве теплоносителя используют дымовые газы обжигательных печей или горячий воздух из калориферов. Срок сушки сокращается до 2...3 сут, а иногда до нескольких часов.

#### ■ Обжиг изделий.

Обжиг — важная и завершающая стадия технологического процесса керамических изделий. Суммарные затраты на обжиг достигают 35...40 % себестоимости товарной продукции. При обжиге сырца образуется искусственный каменный материал, который в отличие от глины не размывается водой и обладает относительно высокой прочностью. Это объясняется физико-химическими процессами, происходящими в глине под влиянием повышенных температур.

При нагреве сырых керамических изделий до 110 °C удаляется свободная вода и керамическая масса становится непластичной. Но если добавить воду, пластические свойства массы восстанавливаются. С повышением температуры до 500...700 °C выгорают органические примеси и удаляется химически связанная вода, находящаяся в глинистых минералах и других соединениях керамической массы, а керамическая масса безвозвратно теряет свои пластические свойства. Затем происходит разложение глинистых минералов вплоть до полного распада кристаллической решетки и образования аморфной смеси  $Al_2O_3$  и  $SiO_2$ . При дальнейшем нагреве до 1000 °C вследствие реакций в твердой фазе возможно образование новых кристаллических силикатов, например *силлиманита*  $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ , и далее при 1200...1300 °C переход его в *муллит*  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Одновременно с этим легкоплавкие соединения керамической массы и минералы плавни создают некоторое количество расплава (жидкой фазы). Расплав обволакивает нерасплавившиеся части-

цы, частично заполняет поры между ними и, обладая силой поверхностного натяжения, стягивает их, вызывая сближение и уплотнение. После остывания образуется камнеподобный черепок. Этот процесс называют спеканием. Результатом процесса спекания является уплотнение обжигаемого материала и, как следствие, уменьшение его открытой пористости. Поэтому степень спекания

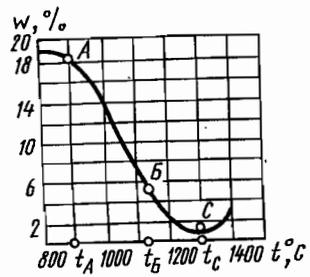


Рис. 3.4. Зависимость изменения водопоглощения керамического материала от температуры обжига:  
 А, Б, С — интервалы водопоглощения;  $t_C - t_A$  — интервал спекания

контролируется водопоглощением керамического черепка, и спекшимся считается черепок, имеющий водопоглощение не более 5%. Температурный интервал между огнеупорностью и началом спекания называют *интервалом спекания глин* (рис. 3.4). Интервал спекания зависит от состава глин. Чем он шире, тем меньше опасность деформации изделия при обжиге. Большинство легкоплавких глин имеет узкий интервал спекания. Обжиг изделий из них обычно ведут при температуре 900—1000 °C. Огнеупорные и тугоплавкие глины имеют большой интервал спекания (более 100 °C) и при-

меняются для получения изделий с плотным спекшимся черепком; обжигают их при 1150...1400 °C.

Для обжига керамических материалов используют специальные печи (кольцевые, туннельные, щелевые, ролликовые и др.).

После обжига изделия охлаждают постепенно, чтобы предотвратить образование трещин.

Обожженные изделия могут различаться между собой как по степени обжига, так и по наличию внешних дефектов. После выгрузки из печи их сортируют с учетом ГОСТов.

### 3.4. Стеновые материалы

Несмотря на определенные успехи в производстве индустриальных стеновых материалов (крупных блоков, панелей), на долю мелкоштучных изделий (кирпича и мелких блоков) приходится все еще около 2/3 общего

выпуска каменных стеновых материалов, в том числе выпуск керамического кирпича составляет почти половину всех стеновых материалов.

Наряду с кирпичом керамическим обыкновенным в группу стеновых керамических материалов входят различные виды более эффективных керамических материалов (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий, пустотелые камни), а также крупноразмерные стеновые кирпичные блоки и панели заводского изготовления.

По плотности и теплотехническим свойствам керамические кирпич и камни для стен делят на три группы (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Деление стеновых керамических материалов по степени эффективности

Степень эффективности	Средняя плотность, кг/м³	
	кирпича	керамических камней
Обыкновенный	Не менее 1600	—
Условно-эффективный	1400...1600	1450...1600
Эффективный	Не более 1400	Не более 1450

Эффективные керамические изделия имеют меньшую среднюю плотность и более низкую теплопроводность, чем сплошной кирпич. Они обладают достаточной прочностью, а некоторые из них (камни) имеют большие размеры, чем обыкновенный кирпич. Применение эффективных изделий дает возможность снизить толщину и массу ограждающих конструкций, расход керамических материалов и раствора для кладки и снизить стоимость строительства. Например, применение высокопустотного керамического камня позволяет сократить толщину наружных стен с 64 до 38 см, т. е. на 40%.

Но кирпич, в том числе и эффективный, и мелкие камни являются мелкоштучным материалом. Изготовление же из них стеновых панелей и крупных блоков в заводских условиях позволяет получать индустриальные изделия.

Стеновые керамические материалы характеризуются пористостью, которая контролируется водопоглощением (по ГОСТу не менее 6...8% в зависимости от вида стенового керамического изделия и его марки). Это требование стандарта означает, что керамический материал, имеющий водопоглощение меньше указанной величины,

недостаточно порист и отличается повышенной теплопроводностью и будет плохо сцепляться со строительным раствором. Морозостойкость стеновых керамических материалов должна быть не менее 15 циклов, кроме кирпича строительного легкого, который должен выдерживать не менее 10 циклов.

■ **Кирпич керамический обыкновенный.**

● **Кирпич** имеет форму прямоугольного параллелепипеда с равными гранями и прямыми ребрами и углами размером 250×120×65(88) мм, реже 288×138×65 (модульный). Для кирпича толщиной 88 мм и модульного обязательно наличие круглых или щелевых пустот, чтобы масса одного кирпича не превышала 4 кг. Формуют кирпич пластическим и реже полусухим способами. Плотность кирпича 1600...1900 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность 0,70...0,82 Вт/(м·°С). Более высокие показатели этих свойств относятся к кирпичу полусухого прессования. Прочность кирпича характеризуется пределом прочности при сжатии и изгибе и обозначается марками: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250 и 300 (табл. 3.2). По морозостойкости кирпич подразделяют на четыре марки: F 15, 25, 35 и 50.

Кирпич должен быть нормально обожжен, так как недожог (алый кирпич) обладает недостаточной прочно-

Таблица 3.2. Требования ГОСТ 530—80 к прочности керамического кирпича

Марка кирпича	Предел прочности, МПа, не менее					
	при сжатии		при изгибе			
	для кирпича всех видов и камней		для полнотелого кирпича пластического формования		для полнотелого кирпича полусухого формования и пустотелого кирпича	
	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7
250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1
150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9
100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7

стью, малой водостойкостью и морозостойкостью, а пережженный кирпич (железняк) отличается повышенными плотностью, теплопроводностью и, как правило, имеет искаженную форму. По внешнему виду кирпич дол-

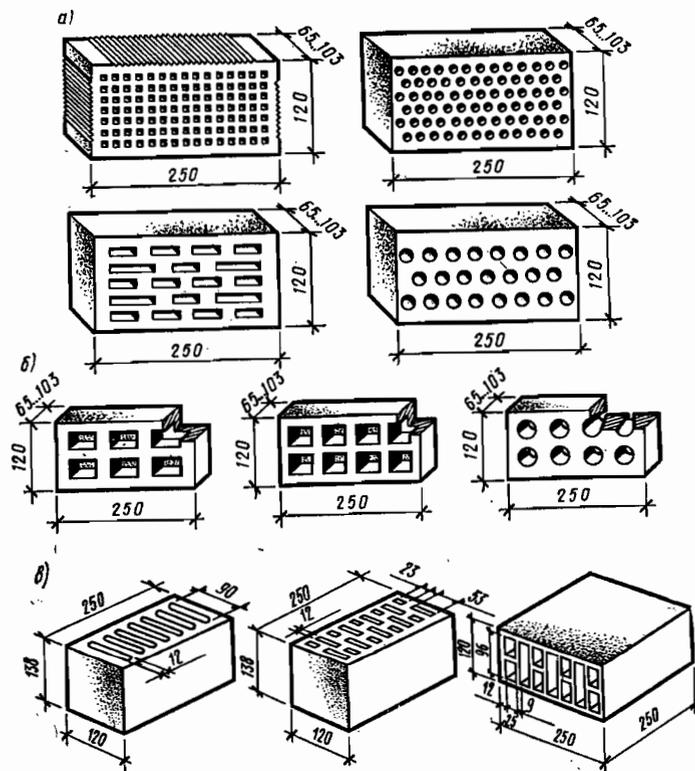


Рис. 3.5. Типы пустотелого кирпича и керамических камней:

а — кирпич пластического формования; б — кирпич полусухого прессования; в — камни с 7 и 18 вертикальными и с 11 горизонтальными пустотами

жен удовлетворять требованиям стандарта. Это устанавливают путем осмотра и обмера определенного количества кирпича от каждой партии (0,5 %, но не менее 100 шт.) по отклонениям от установленных размеров, непрямолинейности ребер и граней, отбитости углов и ребер, наличию сквозных трещин, проходящих по постели кирпича.

Кирпич применяют для кладки наружных и внутренних стен, изготовления стеновых блоков и панелей, кладки печей и дымовых труб в зонах, где температура не превышает температуры обжига кирпича. Кирпич полусухого прессования не допускается использовать для кладки фундаментов и цоколей ниже гидроизоляционного слоя.

■ **Эффективные стеновые керамические изделия.**

● **Пустотелый кирпич** пластического формования имеет сквозные щелевидные или круглые отверстия, а полусухого прессования — сквозные или несквозные пустоты различной формы (рис. 3.5).

● **Пористо-пустотелый кирпич** получают аналогично пустотелому, но в состав керамической массы вводят выгорающие добавки.

● **Керамические стеновые камни** выпускают больших размеров и объемов, чем кирпич. Технология производства их незначительно отличается от технологии пустотелого кирпича пластического формования (рис. 3.5). По плотности эти виды кирпича и камней подразделяют на условно-эффективные, улучшающие теплотехнические свойства стен, и эффективные, позволяющие уменьшить толщину стен по сравнению с толщиной стен из обычного кирпича (см. табл. 3.1).

Наличие пустот не только снижает плотность и массу таких изделий, но и ускоряет процессы их сушки и обжига, так как изделие прогревается быстрее и равномернее через наружные и внутренние поверхности. Поэтому пустотелые кирпич и камни имеют меньше дефектов, а прочность (марка) их, несмотря на большой процент пустот (до 37%), такая же, как у обыкновенного кирпича (табл. 3.2), кроме камней с горизонтальными пустотами, у которых марка значительно ниже (25...50). Пустотелые кирпич и камни применяют наравне со сплошным, за исключением кладки фундаментов, подземных частей стен, печей, дымовых каналов и стен помещений с влажным режимом эксплуатации.

■ **Кирпич строительный легкий** изготавливают из сырьевой массы, основу которой составляют легкие пористые кремнеземистые породы (диатомит, трепел) с выгорающими добавками. По плотности легкий кирпич разделяют на три класса: класс А — 700...1000 кг/м<sup>3</sup>; класс Б — 1001...1300 кг/м<sup>3</sup>; класс В — свыше 1300 кг/м<sup>3</sup>, каждому из которых соответствуют определенные марки по проч-

ности — от 50 до 100. Применяют легкий кирпич для стен зданий с нормальной влажностью.

● **Крупные стеновые керамические изделия** (панели) для наружных стен

выпускают трех-, двух- и однослойные, размером на комнату. Трехслойная панель состоит из двух кирпичных наружных слоев каждый толщиной 65 мм, утеплителя (минераловатных плит, пеностекла, фибролита) и трех слоев цементного раствора. Фасадная сторона может быть отделана керамической плиткой. Двухслойная панель состоит из одного слоя в 1/2 кирпича (120 мм) и слоя утеплителя. Однослойные наружные панели изготавливают из пустотелых керамических камней, а для внутренних стен — из кирпича. Для обеспечения прочности панели при монтаже и транспортировании их армируют стальными каркасами из проволоки по периметру оконного проема и панели. Монтажные петли закладывают на всю высоту панели. Для ускорения твердения применяют тепловлажностную обработку. Монтируют панели на строительстве с помощью крана (рис. 3.6).

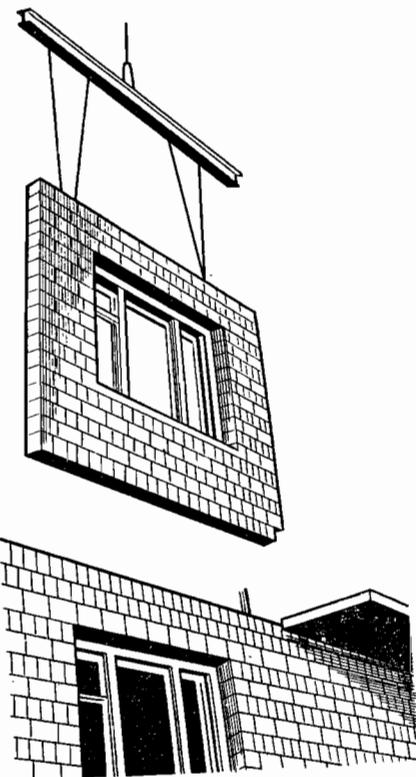


Рис. 3.6. Монтаж дома из керамических панелей

### 3.5. Облицовочные материалы и изделия

■ **Фасадные облицовочные изделия.**

Керамические изделия для облицовки фасадов подразделяют на кирпич лицевой (сплошной и пустотелый)

и камни лицевые (пустотелые), ковровую керамику, малогабаритные плитки, фасонные детали для устройства сливов, карнизов, тяг и т. п. Фасадные изделия могут иметь лицевую поверхность терракотового цвета (естественно окрашенный черепок) и глазурованную, а по фактуре — гладкую, рифленую, орнаментированную, блестящую или матовую. Обратную (тыльную) сторону плиток делают рифленой для более прочного сцепления с раствором. Фасадные изделия должны иметь водопоглощение 6...14 % и морозостойкость не ниже 25.

● *Кирпич и камни керамические лицевые* характеризуются точностью формы и размеров, а также однородностью цвета и оттенка в данной партии. Эти материалы изготавливают из высококачественных легкоплавких глин по технологии, аналогичной производству обыкновенного кирпича. Подбирая керамические массы и регулируя сроки и температуру обжига, получают кирпич от белого, слегка кремового тона до красноватых и коричневых цветов. На заводах, не располагающих высококачественным сырьем, лицевой кирпич получают торкретированием сухой минеральной крошки или нанесением на его лицевые поверхности ангоба или глазури. Разработана также технология двухслойного кирпича с лицевым слоем из белой глины. Лицевые кирпич и камни укладывают в стену здания вперевязку с обыкновенными, и они несут одинаковую с ними нагрузку.

● *Ковровая керамика* представляет собой мелкогабаритные керамические плитки различного цвета, глазурованные и неглазурованные. Заводы выпускают мозаичные плитки с наклейкой их лицевой стороной на крафт-бумагу, в результате чего образуется ковер. Размеры плиток полусухого прессования  $48 \times 48$ ,  $22 \times 22$ ,  $48 \times 22$  мм при толщине 3...4 мм.

Значительное развитие получило производство коврово-мозаичных плиток методом литья на конвейере. Полная автоматизация, короткий цикл производственного процесса (около 2 ч), отсутствие прессового оборудования и возможность уменьшения толщины плитки до 2 мм позволили снизить массу и стоимость плитки и обусловили перспективность этого метода. Литые керамические облицовочные плитки выпускают квадратной и прямоугольной формы со сторонами 25...125 мм.

Ковровая керамика является одним из наиболее индустриальных керамических материалов и ее широко используют на заводах для облицовки наружных панелей и блоков для стен вестибюлей, лестничных клеток (рис.

3.7, а, б), а также санузлов и кухонь вместо штучных облицовочных глазурованных плиток (см. с. 92).

● *Фасадные малогабаритные плитки* выпускают разных размеров и назначения. Плитки типа «кабанчик» размером  $120 \times 65 \times 7$  мм по технологии изготовления во многом сходны с коврово-мозаичной плиткой. Такие

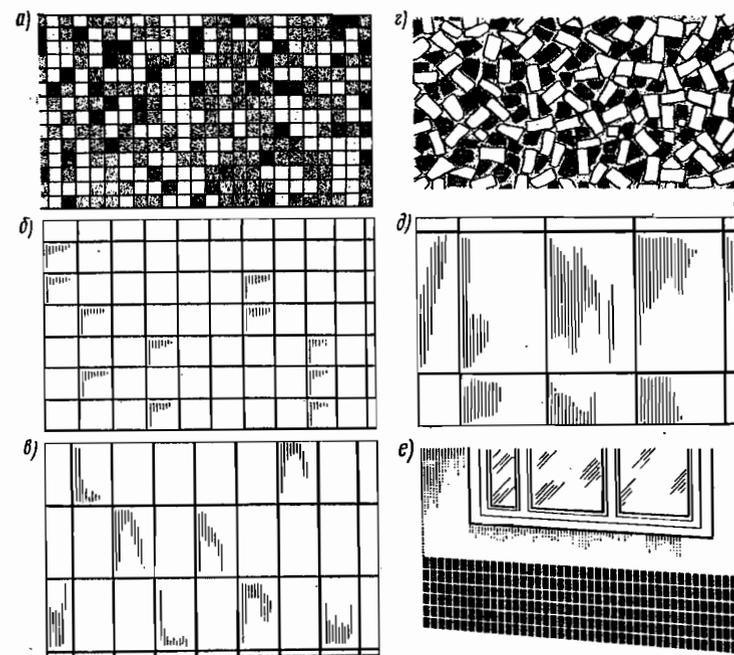


Рис. 3.7. Облицовка фасадов керамической плиткой:

а, б — коврово-мозаичной плиткой  $22 \times 22$  и  $48 \times 48$  мм; в — плиткой типа «кабанчик»; г — типа «брекчия»; д — малогабаритной плиткой  $250 \times 140$  мм; е — цокольной плиткой

плитки изготавливают из светложгущихся глин неглазурованными и глазурованными и применяют как для облицовки панелей, будучи наклеенными на бумагу (в виде ковров), так и для облицовки готовых фасадных поверхностей (рис. 3.7, в). Фасадная облицовка в виде ковров, набранных из боя некондиционных глазурованных и неглазурованных плиток (брекчия), придает своеобразный облик отделяемым ею зданиям (рис. 3.7, г).

Плитки размером  $250 \times 140 \times 10$  мм — наиболее крупные из всех фасадных керамических плиток, изготавливают неглазурованными и глазурованными из беложгущихся тугоплавких или огнеупорных глин методом прессования. Их применяют как изделия прислонного крепления для облицовки фасадных поверхностей, в том числе при изготовлении панелей (рис. 3.7, д).

Цокольные глазурованные плитки размером  $150 \times 75 \times 7$  мм являются изделиями штучного прислонного крепления (в виде наборных ковров их не выпускают). Эти плитки изготавливают со спекшимся черепком и покрывают прозрачной или глухой глазурью. Такие плитки применяют преимущественно для фасадной облицовки цоколей зданий и подземных переходов (рис. 3.7, е).

● В последние годы стали выпускать универсального назначения крупноразмерные облицовочные керамические плиты типа «плинк». Плиты бывают глазурованные и неглазурованные размером  $1200 \times 1500 \times 10$  мм. Водопоглощение плит менее 1%; морозостойкость более 50 циклов; предел прочности при сжатии более 130 МПа. Масса 1 м<sup>2</sup> плиты около 20 кг. Плиты типа «плинк» обладают высокими декоративными свойствами. Их применяют также для облицовки внутренних стен и цоколей общественных и производственных зданий, подземных переходов и проездов.

#### ■ Керамические изделия для внутренней облицовки.

Керамические изделия для внутренней облицовки могут быть двух видов: для облицовки стен и для покрытия полов.

● Плитки для внутренней облицовки стен изготавливают из легкоплавких мергелистых глин (майоликовые плитки) или из огнеупорных глин с добавкой песка и плавней (фаянсовые плитки) способом полусухого прессования. При обжиге плиток получается пористый черепок, лицевая поверхность которого покрывается глазурью. Ассортимент облицовочных плиток разнообразен (49 типоразмеров): рядовые квадратные ( $150 \times 150$  мм) и прямоугольные ( $150 \times 100 \times 75$  мм), карнизные и плитусные и др. (рис. 3.8). Толщина рядовых фаянсовых плиток не более 6 мм, глиняных и плитусных до 10 мм. Водопоглощение плиток — не более 16%. По характеру поверхности они могут быть плоскими, рельефными или с многоцветным рисунком, наносимым сериографическим методом (рис. 3.9). Плитки для внутренней облицовки стен применяют в помещениях сани-

тарных узлов, кухонь, бань, прачечных, торговых пищевых и химических предприятий, станций метрополитена и т. д.

● Плитки для полов изготавливают из каолиновых глин с добавкой отошающих веществ, плавней и, если требуется, окрашивающих примесей; формуют их прессованием полусухой массы, обжигают до спекания. Водопоглощение плиток не должно превышать 4%. Полы из керамических плиток практически водонепроницаемы, характеризуются малой истираемостью, не дают пыли, легко моются, долговечны, обладают стойкостью к действию кислот и щелочей. Недостатками таких полов являются хрупкость и большая теплопроводность.

Различают керамические и мозаичные плитки для полов; последние называют плитками ковровой керамики.

Керамические плитки для полов изготавливают размером (длина граней) 50...300 мм, толщиной 10...15 мм. Различная форма и цвет плиток позволяют создавать разнообразные композиции пола (рис. 3.10).

Мозаичные плитки для полов выпускают квадратной и прямоугольной формы со стороной 23 и 48 мм при толщине 4...6 мм. Из таких плиток на заводе получают разнообразные рисунки пола (рис. 3.10, д, е). Трудоемкость настила полов из ковровой мозаичной плитки по сравнению со штучной плиткой значительно ниже.

Плитки применяют для полов в помещениях с влажным режимом и повышенной интенсивностью движения (бани, ванны комнаты, кухни, вестибюли, коридоры, станции метрополитена, промышленные здания и т. п.).

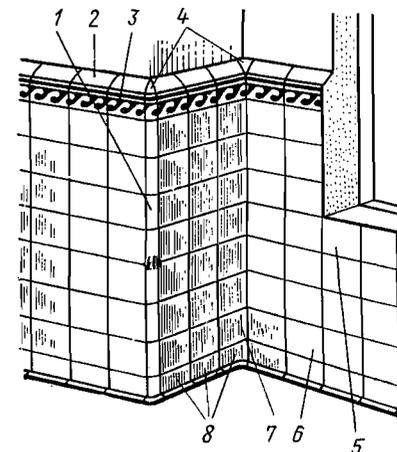


Рис. 3.8. Внутренняя облицовка глазурованной керамической плиткой:

1 — внешний уголок; 2 — карнизная плитка; 3 — пояс; 4 — уголки карниза; 5 — плитка с завалом (закруглением); 6 — квадратная рядовая плитка; 7 — внутренняя уголок; 8 — плитусные уголки

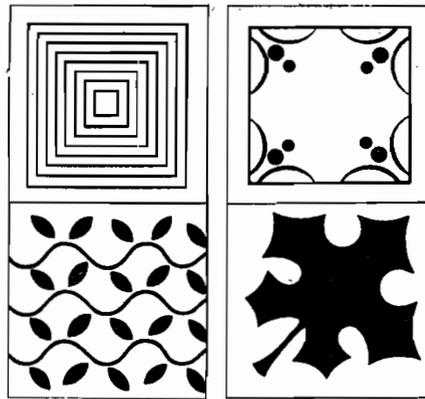


Рис. 3.9. Разновидность плиток с сериографическим рисунком.

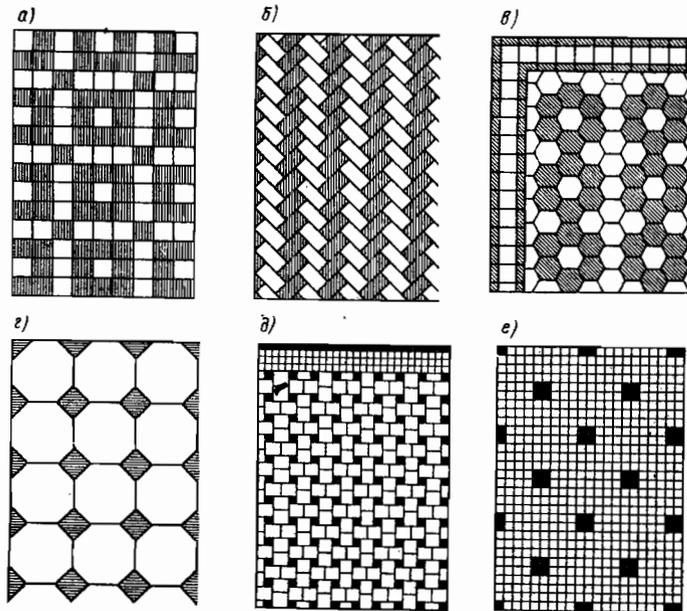


Рис. 3.10. Виды отделки пола керамической многоцветной плиткой:

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

### 3.6. Керамические материалы и изделия различного назначения

#### ■ Кирпичи и камни керамические специального назначения.

● Для кладки и футеровки промышленных дымовых труб выпускают *лекальный кирпич*, отличающийся от обычного кривизной.

● Для устройства подземных коллекторов выпускают *камни трапециевидальной формы*, а для мощения дорог и улиц, полов промышленных зданий, облицовки набережных и т. п. — *дорожный кирпич* (клинкерный). Эти изделия отличаются высокой плотностью, прочностью до 100 МПа и морозостойкостью не менее 30...100 циклов.

#### ■ Кровельные материалы.

● *Глиняная черепица* — старейший вид кровельных материалов. Наиболее распространена черепица штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская и коньковая (рис. 3.11). Для производства черепицы используют те же глины, что и для кирпича. Ленточную черепицу изготавливают пластическим формованием на ленточных прессах со специальным мундштуком, а штампованную пазовую — полусухим прессованием в металлических или гипсовых формах на специальных прессах. Черепица может иметь красновато-розовую или светло-желтую окраску. Специальные виды черепицы покрывают глазурью различных тонов. Черепица долговечна и огнестойка. Недостатками черепицы являются большая масса (до 65 кг/м<sup>2</sup> покрытия), хрупкость, а также большая трудоемкость возведения черепичной кровли и необходимость ее устройства с большим уклоном (более 30°) для быстрого стока воды.

#### ■ Керамические трубы.

● *Канализационные керамические трубы* изготавливают из огнеупорных или тугоплавких глин без добавок или с отошающими добавками. Поверхность труб снаружи и внутри покрывают кислотоустойчивой глазурью. Канализационные трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,2 МПа. Их применяют для отвода сточных вод, кислотных и щелочных растворов на химических заводах, а также для дворовой канализации.

● *Дренажные трубы* выпускают с внутренним диаметром 25...250 мм и длиной до 500 мм неглазурованными без раструбов или же глазурованными с раструбом

и перфорацией на стенках. Для изготовления труб используют кирпичные глины повышенной пластичности или глины с добавками. Водопоглощение черепка труб — не более 15 %, морозостойкость — не менее 15 циклов. Их применяют при ирригационных работах, а также для осушения грунтового основания под зданиями и сооружениями.

#### ■ Санитарно-техническая керамика.

К санитарно-техническим относят изделия из фаянса

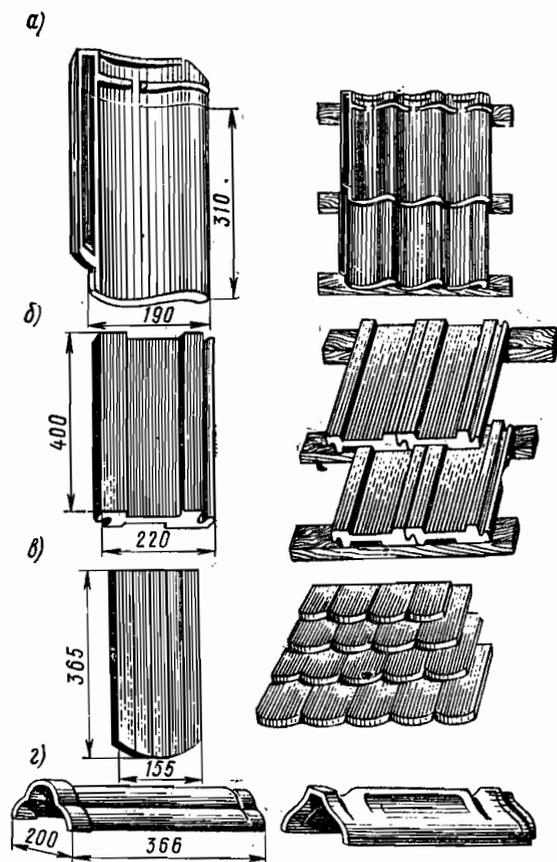


Рис. 3.11. Типы черепицы и примеры ее укладки на кровлю:

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

полуфарфора и фарфора. Для производства этих трех разновидностей керамических материалов, обладающих различной пористостью, используют беложгущиеся огнеупорные глины и каолины (около 50 % состава формовочной массы), кварц (для устойчивости при обжиге) и полевоы шпат (для лучшей спекаемости) в различных соотношениях для каждого вида изделий. Формуют санитарно-технические изделия преимущественно методом литья. Изделия из фаянса (унитазы, умывальники, смывные бачки и др.) имеют пористый черепок с водопоглощением 10...12 % и пределом прочности при сжатии около 100 МПа. По сравнению с фаянсом черепок полуфарфора более спекшийся с водопоглощением 3...5 % и прочностью при сжатии 150...200 МПа. Фарфор отличается еще большей плотностью, что позволяет изготавливать из него тонкостенные изделия водопоглощением 0,2...0,5 % и прочностью до 500 МПа. Изделия покрывают глазурью.

#### ■ Теплоизоляционные керамические изделия.

В эту группу керамических изделий входят кирпич легкий, трепельный (диатомовый), ячеистые штучные изделия, керамзит.

● *Теплоизоляционные трепельные* (диатомовые) изделия изготавливают пластическим методом из трепела или диатомита, иногда с выгорающими добавками. По средней плотности изделия подразделяют на марки 500, 600, 700. Теплопроводность таких изделий при температуре 350 °С — 0,18...0,27 Вт/(м·°С). Их применяют для теплоизоляции до 900 °С.

● *Пенодиатомовые изделия* изготавливают из трепелов или диатомитов путем приготовления из порошка этих материалов теста и добавления в тесто устойчивой пены. Полученную пеномассу разливают по формам. После сушки изделия обжигают. Плотность пенодиатомовых изделий 350...450 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 25 °С составляет 0,08...0,12 Вт/(м·°С).

● *Керамзит* представляет собой ячеистый материал в виде гравия. Сырьем для его производства служат глины, содержащие оксиды железа и органические примеси. При обжиге газы (кислород, образующийся при раскислении высших оксидов железа, оксид углерода, образующийся при горении органических примесей и диссоциации карбонатов, водяной пар, образующийся при дегидратации глинистых минералов) вспучивают глину в момент ее перехода в пиропластическое состояние. Насып-

ная плотность керамзитового гравия (марка) 250...600 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение 8...25 %, морозостойкость не менее 15 циклов. Предел прочности при сжатии (при сдавливании в цилиндре) в зависимости от марки гравия не менее 0,6...2,5 МПа. Керамзит используют как заполнитель для легкого бетона и железобетона (см. гл. 6), а также в качестве теплоизоляционных засыпок.

#### ■ Кислотоупорные керамические изделия.

● По свойствам и назначению их подразделяют на изделия с *грубо- и тонкозернистым черепком*. К грубозернистым относят кислотоупорные кирпич и плитки, термокислотоупорные плитки, к тонкозернистым — трубы кислотоупорные и фасонные части к ним, различную аппаратуру и ее детали (сосуды, насосы, мельницы, сифоны). Для производства керамических кислотоупорных изделий служат пластичные глины без примесей карбонатов, серного колчедана, гипса, понижающих химическую стойкость. Кислотоупорные трубы и некоторые другие изделия покрывают с обеих сторон глазурью. Кислотоупорные керамические изделия отличаются высокой плотностью — водопоглощение у кирпича не более 12 %, а у других изделий не более 5...9 %, прочностью 15...40 МПа и кислотостойкостью 92...98 % (кроме HF). Кислотоупорные кирпич и плитки применяют для футеровки башен и резервуаров на химических заводах, печей, а также устройства полов в цехах с агрессивными средами, а кислотоупорные трубы — для перемещения кислот и газов при разрежении или давлении до 0,3 МПа.

#### ■ Огнеупорные материалы.

Огнеупорные материалы изготавливают в виде кирпича, блоков, плит и фасонных элементов из различных сырьевых компонентов по технологии, близкой к керамической (формование или прессование, сушка, обжиг). Их разделяют на *огнеупорные* (1580...1770 °С), *высокоогнеупорные* (1770...2000 °С) и *высшей огнеупорности* (выше 2000 °С), а в зависимости от химико-минерального состава — на *кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, углеродистые*. Наибольшее распространение в строительстве получили кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупорные изделия.

● *Кремнеземистые (динасовые) огнеупоры* изготавливают из кварцевых пород (кварц, кварцит, кварцевый песок) с добавкой глины. Эти огнеупоры имеют высокую огнеупорность (до 1730 °С), достаточную прочность (15...35 МПа), но малую термическую стойкость. Приме-

няют динасовые изделия для кладки сводов и стен мартеновских и стекловаренных печей.

● *Алюмосиликатные огнеупоры* в зависимости от содержания SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в обожженном продукте разделяют на три вида: *полуокислые, шамотные, высокоглиноземистые*. *Полуокислые* огнеупоры изготавливают обжигом кварцевых пород на глинистой или каолиновой связке или обжигом глин и каолинов с большим содержанием кварцевого песка. Огнеупорность изделий на каолиновой связке не ниже 1710 °С, на глиняной — не ниже 1580 °С. Их применяют для футеровки коксовых печей, вагранок и др. *Шамотные огнеупоры* получают из огнеупорных глин и каолинов, отощенных шамотом из той же глины. Огнеупорность шамотных материалов 1730 °С, а прочность при сжатии 10...12,5 МПа. Они отличаются термической стойкостью и шлакоустойчивостью. Применяют их для кладки доменных печей, стен и пода керамических печей, облицовки топок паровых котлов, дымоходов и т. д. *Высокоглиноземистые огнеупоры* изготавливают из высокоглиноземистого глинистого сырья с содержанием глинозема более 45 % (бокситы, диаспор, корунд и др.) обжигом для спекания или методом литья из расплава. Эти изделия имеют огнеупорность до 2000 °С и высокую шлако- и стеклоустойчивость. Применяют их для кладки стекловаренных печей.

● *Магнезиальные изделия* состоят в основном из периклаза MgO — 80...85 %, огнеупорность их достигает 2000 °С.

● *Легковесные огнеупоры* — материалы с высокой пористостью (45...85 %) и малой плотностью (1,3...0,4 г/см<sup>3</sup>), обладают высокой огнеупорностью, малой теплопроводностью и достаточной прочностью. Их применяют для футеровки промышленных печей разного назначения. При этом значительно (в 2...4 раза) сокращается продолжительность разогрева (холостой ход печи), в 2...3 раза уменьшается толщина ограждающих стен и на 20...70 % снижаются удельные расходы топлива на тепловые процессы.

Для этих же целей используют алюмосиликатные и другие волокна, обладающие высокой прочностью, термической стойкостью и малой теплопроводностью.

### 3.7. Методика преподавания керамических материалов и изделий

Изучение керамических материалов и изделий целесообразно начать с общих сведений — определения керамических материалов, кратких сведений о развитии их производства и применения, роли отечественных ученых. Далее следует систематизировать многочисленные виды керамических изделий по общепринятым классификационным признакам — пористости черепка и назначению. Здесь уместно сообщить о наиболее перспективных в современном строительстве группах керамических материалов и изделий и масштабах их производства и применения в индустриальном строительстве.

Несмотря на большое разнообразие керамических материалов и изделий, у них много общего, поэтому вначале следует познакомить учащихся с общими вопросами — сырьевыми материалами и основными принципами керамической технологии.

При изложении сырьевых материалов для производства керамических материалов следует подчеркнуть, что основным компонентом керамических масс для формования являются глины и каолины (глинистые материалы). Поэтому учащиеся должны иметь общие представления о составе глин (минеральном, гранулометрическом), строении и свойствах глинистых материалов (пластичности, связующей способности, воздушной и огневой усадке, огнеупорности) и о влиянии этих факторов на свойства готовых керамических материалов, а также об основных технологических приемах регулирования свойств формовочных масс и изделий.

Рассматривая общую схему производства керамических изделий, следует обратить внимание на необходимость тщательной подготовки керамической массы, роль вводимых добавок, способы формования изделий из полусухих, пластичных и литых масс. Особое внимание необходимо уделить процессам сушки сырцовых изделий и заключительной стадии производства — обжигу. Надо стремиться к тому, чтобы учащийся уяснил сущность процессов, происходящих при сушке и обжиге, и понимал, что температура и длительность обжига оказывают решающее влияние на плотность керамического черепка и превращение неводостойкого сырца в водостойкий и прочный каменный материал.

После уяснения общих вопросов можно перейти к ча-

стным вопросам, относящимся к каждому отдельному виду керамических изделий. При этом рекомендуется изучение вести по следующей схеме: понятие об особенностях сырья и производства данного вида изделий — основные свойства (плотность, теплопроводность, водопоглощение, морозостойкость, марка по прочности и др.) — области и особенности применения данных изделий.

Выбор номенклатуры материалов и изделий и степень подробности их изучения зависят от вида учебного заведения и профиля будущей специальности учащегося, но во всех случаях строитель должен четко разбираться в выбранных для изучения материалах и изделиях, используя для этого не только учебную литературу, но и специальную литературу и нормативные документы (технические условия, ГОСТы и т. д.). Знакомиться с нормативной литературой целесообразно на практических и лабораторных занятиях, а также в процессе производственных практик и экскурсий. В заключение изучения этой группы материалов и изделий рекомендуется провести итоговое занятие.

## Глава 4

### МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ СИЛИКАТНЫХ РАСПЛАВОВ

#### 4.1. Общие сведения

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

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

Стеклоделие возникло в Египте за 3000—4000 лет до н. э. В России стеклоделие как ремесло появилось в X в. (а по некоторым данным раскопок значительно раньше). Первый стекольный завод в России создан в 1638 г., а в начале XX в. их было уже 275. После Великой Октябрьской революции стекольная промышленность превратилась в высокотехнологизированную отрасль народного хозяйства, обеспечившую нашей стране первое место в мире по производству стекла.

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

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

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

Вещество в стеклообразном состоянии обладает повышенной внутренней энергией — скрытой энергией кристаллизации, т. е. оно термодинамически неустойчиво (метастабильно). Поэтому стекло под влиянием некоторых воздействий (ультрафиолетовое или рентгеновское облучение и др.), а иногда и самопроизвольно может кристаллизоваться. В стеклоделии это явление называют «расстекловыванием». В то же время при введении в расплав специальных добавок и катализаторов и выбора соответствующего режима термической обработки

можно получить стеклокристаллические материалы, обладающие положительными свойствами стекла и лишенные большинства его недостатков (хрупкости, низкой термостойкости и др.).

## 4.2. Стекло и изделия из стекла

● *Стеклом* называют твердый аморфный материал, получаемый при переохлаждении минеральных расплавов. В стеклообразном виде могут быть получены многие вещества. В строительстве же используют почти исключительно силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния (кремнезем)  $\text{SiO}_2$ . Кремнезем сам по себе без добавления каких-либо других веществ при охлаждении расплава способен образовывать стекло, как и некоторые другие оксиды ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$ ); их называют стеклообразующими оксидами.

Стекло не является химическим веществом с определенным составом, который может быть выражен химической формулой; поэтому состав стекол условно выражают суммой оксидов (например, состав обычного оконного стекла  $\text{SiO}_2$  — 71...72 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  — 14...15 %;  $\text{CaO}$  — 6,5...7 %;  $\text{MgO}$  — 4 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 2 %).

### ■ Сырье.

Основные компоненты строительных стекол —  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$  — образуются в стекломассе при нагреве и последующем плавлении так называемых главных сырьевых материалов.

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

● *Кремнезем*  $\text{SiO}_2$  — основной стеклообразующий оксид, вводят в шихту в виде кварцевого песка или молотых песчаников и кварцитов с минимальным содержанием примесей (железа, хрома, титана), снижающих светопропускание стекла.

● *Глинозем*  $\text{Al}_2\text{O}_3$  поступает в стекольную шихту в составе полевых шпатов, каолина, а для высокосортных стекол — в виде чистого оксида алюминия. Увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышает тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

● *Оксиды натрия*  $\text{Na}_2\text{O}$  и *калия*  $\text{K}_2\text{O}$  образуются в результате разложения при варке стекла введенных в шихту соответственно соды или сульфата натрия и поташа или калиевой селитры. Оксид натрия ускоряет процесс стеклообразования, понижая температуру плавления

ния и облегчая осветление массы, но повышает коэффициент теплового расширения и уменьшает химическую стойкость стекла. Оксид калия снижает склонность стекла к кристаллизации, придает ему блеск и улучшает светопропускание. Оксиды кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$  в стекольную шихту вводят в виде мела, мрамора, известняка, доломита. Эти оксиды повышают химическую стойкость стекла, а оксид магния также снижает склонность стекла к кристаллизации. В специальные стекла (например, оптическое, лабораторное) вводят оксиды свинца, бария и цинка.

● **Вспомогательные сырьевые материалы** (осветлители, глушители, красители и др.) вводят в шихту для ускорения варки стекла и придания ему требуемых свойств. **Осветлители** (сульфаты натрия и аммония и др.) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков. **Глушители** (соединения фтора, фосфора и др.) делают стекло непрозрачным. К **красителям** относят соединения кобальта (синий цвет), хрома (зеленый), марганца (фиолетовый), железа (коричневые и сине-зеленые тона) и др.

#### ■ Производство.

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

● **Варка стекломассы** (стекловарение) — главнейшая и самая сложная операция всего стекольного производства, производится чаще всего в ваннах печах непрерывного действия, представляющих собой бассейны, сложенные из огнеупорных материалов. При варке специальных стекол (оптических, цветных и т. п.) используют горшковые печи. При нагревании шихты до  $1100...1150^\circ\text{C}$  происходит образование силикатов (силикатообразование) сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — образуется стекломасса. Эта стекломасса насыщена газовыми пузырьками и неоднородна по составу. Для осветления и гомогенизации стекломассы ее температуру повышают до  $1500...1600^\circ\text{C}$ . При этом вязкость расплава снижается и соответственно облегча-

ется удаление газовых включений и получение однородного расплава.

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

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

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

Метод вытягивания применяют для получения стекла толщиной  $2...6$  мм, для чего используют машины вертикального (рис. 4.1) или горизонтального вытягивания. Лента стекла вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку (огнеупорный брус с прорезью) или со свободной поверхности стекломассы

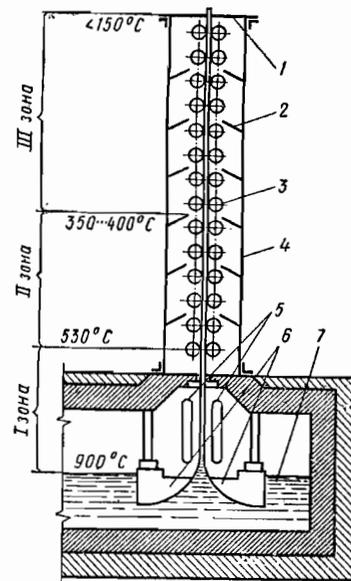


Рис. 4.1. Схема машины для вертикального вытягивания стекла:

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

(безлодочный способ), охлаждается и отжигается в камере этой же машины. При производстве стекла методом непрерывного проката стекломасса сливается на гладкую поверхность и ее прокатывают валками с гладкой или узорчатой поверхностью.

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

#### ■ Свойства.

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

● *Расчетный теоретический предел прочности стекла при растяжении* составляет 12 000 МПа, практически эта величина ниже в 200...300 раз, в зависимости от размера образца колеблется от 30 до 60 МПа (при сжатии — 700...1000 МПа и более). Это объясняется тем, что в стекле имеются ослабленные участки (микронеоднородности, трещины, внутренние напряжения) и чем больше размер образцов, тем вероятнее наличие таких участков. На прочность стекла оказывают влияние и технологические дефекты, особенно инородные включения и свили (химические неоднородные участки). В диапазоне температур от  $-50^{\circ}$  до  $+70^{\circ}$  С прочность стекла практически не изменяется.

● *Хрупкость* — главный недостаток стекла, проявление хрупкости у материалов является следствием сочетания нескольких факторов. Главнейшие из них: низкое значение отношения прочности материала на разрыв к его модулю упругости  $R_p/E$  (для стекла оно составляет  $7,5 \cdot 10^{-4}$ ... $6,5 \cdot 10^{-4}$ , для стали  $2,5 \cdot 10^{-3}$ ... $2,2 \cdot 10^{-3}$ , а для каучука 2,5...1,5) и высокая скорость и отсутствие препятствий для распространения трещин.

● *Оптические свойства* стекла характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных (см. ниже), пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла (1,50...1,52) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла

падения света с  $0$  до  $75^{\circ}$  светопропускание стекла уменьшается с 92 до 50 %.

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

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

● *Химическая стойкость* стекла высокая: разрушающе действуют на него только горячие щелочи и плавиковая и фосфорная кислоты. Это объясняется химическим составом стекла, его высокой плотностью и способностью при действии водных растворов образовывать на поверхности защитный слой, богатый кремнеземом  $\text{SiO}_2$ .

■ *Разновидности стекла и стеклянных изделий, применяемые в строительстве.*

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

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

● *Увиолевое стекло* пропускает не менее 25 % ультрафиолетовых лучей. Это достигается за счет применения стекольной шихты с минимальным содержанием примесей оксидов железа, титана и хрома. Такое стекло используют для остекления проемов в лечебных, детских учреждениях, оранжереях и других специальных сооружениях.

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

уменьшения солнечной и тепловой радиации, особенно в южных районах.

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

● *Узорчатое стекло* (рис. 4.2) получают методом непрерывного проката на гравировальных вальцах из бесцветной или цветной стекломассы.

● *Матовое стекло* изготавливают пескоструйной обработкой поверхности оконного стекла, при этом с помощью трафарета можно получить матово-узорчатый



Рис. 4.2. Разновидности узорчатого стекла

рисунок. Светорассеивающее стекло применяют для остекления оконных и дверных проемов, перегородок, когда требуется освещение без сквозной видимости или рассеянный свет.

● *Армированное стекло* получают методом проката с одновременной запрессовкой в обычную или цветную стекломассу металлической сетки. Такое стекло может быть в виде плоских или волнистых листов (рис. 4.3). Армированное стекло обладает повышенной прочностью и огнестойкостью. Его применяют для остекления дверей, ограждения лестничных клеток и балконов, устройства перегородок и кровли.

● *Витринное стекло* неполированное и полированное выпускают увеличенной толщины 5..12 мм. Стекло толщиной 5..6 мм получают, как и обычное оконное, методом вертикального вытягивания, как правило, без последующей полировки. Более толстое витринное стекло

изготавливают прокатом с последующей шлифовкой и полировкой. Используют витринное стекло для остекления витрин в нижних этажах зданий, а также для сплошного остекления выставочных залов, аэропортов и т. п.

● *Закаленное стекло* получают путем термической обработки стекла по специальному режиму, в результате чего оно приобретает напряженное состояние, характеризуемое небольшим растяжением всей толщи стекла, кроме тонких поверхностных слоев, которые оказываются

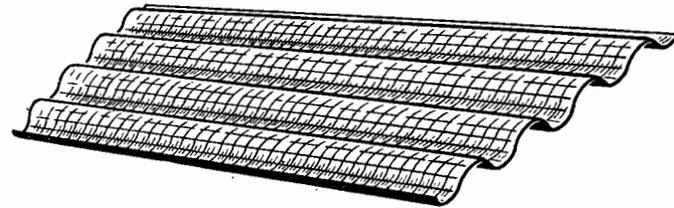


Рис. 4.3. Армированное волнистое стекло

сильно сжатыми. Закаленное стекло имеет выше прочность на удар в 4..6 раз, а предел прочности при изгибе в 5..8 раз по сравнению с обычным стеклом. Такое стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми нережущими краями. Основной потребитель закаленного стекла — транспорт. В строительной практике толстое закаленное стекло применяют для устройства дверей, перегородок, потолков. Листы закаленного стекла толщиной около 6 мм, покрытые с тыльной стороны цветными керамическими красками, называют *стемалитом* и применяют для внутренней и наружной облицовки зданий.

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

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

● *Цветные плиты «марблит»* изготавливают из цветной

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

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

● Плиты «стеклокремнезит» — цветные непрозрачные плиты, получаемые плавлением с последующей кристаллизацией цветных стеклянных гранул. Стеклокремнезит воспроизводит структуру полированных горных пород; может быть получен разнообразных цветов.

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

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

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

● Стеклопакеты представляют собой элементы из двух или трех плоских стекол (оконного, витринного и других видов), соединенных по периметру так, что между ними образуется герметически замкнутая воздушная полость шириной до 15...20 мм. Стеклопакеты не замерзают при температуре —25 °С (одинарный) и —40 °С (двойной), не запотевают, выдерживают большую ветро-

вую нагрузку, чем отдельные стекла той же толщины, и обладают достаточной звукоизолирующей способностью. Их использование вместо обычного двойного остекления упрощает и удешевляет процесс остекления зданий различного назначения и снижает расход древесины на изготовление оконных переплетов в 1,5...2 раза.

● Стеклопрофилит представляет собой изделия из прокатного стекла, имеющие профильное и коробчатое сечение длиной до 6000 мм (рис. 4.4). Конструкции из

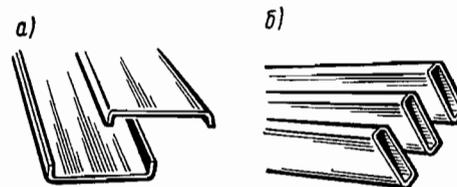


Рис. 4.4. Виды стеклопрофилита:

а — швеллерный; б — коробчатый

стеклопрофилита дают мягкий рассеивающий свет (светопропускание 40...70%). Теплопередача стены из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) профилей примерно такая же, как окон с двойным остеклением, а акустические свойства не уступают глухим межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича. Стеклопрофилит применяют для устройства несущих стен, внутренних перегородок, остекления фонарей и других целей, обычно в сочетании с металлическими, бетонными, кирпичными или деревянными элементами зданий.

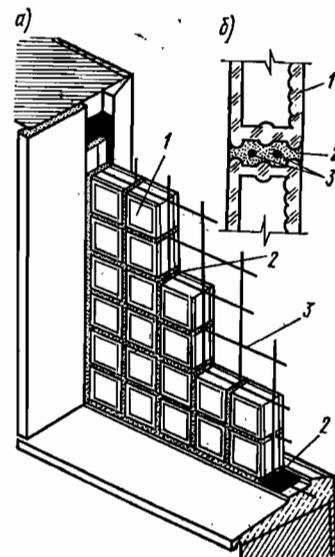


Рис. 4.5. Световой проем из стеклоблоков (а) и узел соединения стеклоблоков (б):

1 — стеклоблоки; 2 — цементный раствор; 3 — арматура

● *Стекланные блоки* — пустотелые изделия квадратной или прямоугольной формы размерами до  $294 \times 294 \times 98$  мм, состоящие из двух прессованных полублоков из обычной или цветной стекломассы и сваренных или склеенных друг с другом. Блоки имеют небольшую плотность —  $800 \text{ кг/м}^3$ , относительно низкую теплопроводность — в среднем  $0,46 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ , достаточное светопропускание —  $50...65 \%$  и светорассеивание — до  $25 \%$ . Стеклоблоки применяют для сооружения светопрозрачных элементов стен (рис. 4.5) перегородок, остекления лестничных клеток, лифтовых шахт и т.п. Использование стеклоблоков позволяет более чем в 2 раза снизить потери теплоты по сравнению с одинарным остеклением, улучшает звукоизоляцию.

● *Стекланные трубы* различных диаметров (до 150 мм и более) хорошо сопротивляются коррозии, обладают достаточной механической прочностью, гигиеничны, прозрачны, имеют гладкую поверхность, вследствие чего их пропускная способность на  $22 \%$  выше, чем чугунных, и на  $6,5 \%$  — стальных труб равного диаметра. Недостатком стекланных труб является малое сопротивление изгибу и удару и значительная хрупкость. Трубы нашли широкое применение для самых различных целей как в строительстве, так и в других отраслях промышленности — пищевой, химической, фармацевтической и т.п.

#### 4.3. Ситаллы и шлакоситаллы

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

В основу технологии ситаллов положен принцип катализованной кристаллизации. Для этого в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке материала. Термообра-

ботка ведется по ступенчатому режиму: вначале материал выдерживают при температуре соответствующей максимальной скорости образования центров кристаллизации, а затем при температуре максимальной скорости роста кристаллов. Таким образом достигается необходимая степень закристаллизованности материала при требуемом размере кристаллов.

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

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

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

● *Шлакоситаллы* получают из огненно-жидких шлаков, в которые вводят добавки, корректирующие их химический состав, и катализаторы кристаллизации (модификаторы  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  и др.). Шлакоситаллы при плотности  $2500...2650 \text{ кг/м}^3$  имеют высокую прочность (при сжатии до  $650 \text{ МПа}$ , при изгибе до  $120 \text{ МПа}$ ), низкое водопоглощение (близко к нулю). Особенно ценные качества шлакоситаллов — высокая химическая и термическая стойкость, морозостойкость и малая истираемость.

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

Возможно получение также пористого шлакоситалла (пеношлакоситалла) плотностью  $300...600 \text{ кг/м}^3$  и проч-

ностью при сжатии 6...14 МПа. Весьма возможно совместное использование плотного листового шлакоситалла с пеношлакоситаллом в стеновых и других конструкциях.

#### 4.4. Литые каменные изделия

● *Литые каменные изделия* изготавливают из расплавленных горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По однородности структуры и техническим свойствам литые изделия превосходят многие природные каменные материалы. Сырьем для получения каменного литья служат магматические горные породы, чаще базальты и диабазы. Очень эффективно использование для этих целей металлургических шлаков. Плавные изделия из такого сырья имеют темный цвет. Для получения светлого каменного литья используют осадочные горные породы, главным образом карбонатные (доломит, мел, мрамор), и кварцевый песок.

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

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

В строительстве литые каменные изделия используют

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

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

#### 4.5. Методика преподавания стекла и других плавных материалов и изделий

Общим для строительных материалов и изделий этой группы является получение их путем охлаждения силикатных расплавов. Однако в зависимости от исходных сырьевых материалов, дополнительных компонентов и режима охлаждения можно получить плавные материалы, разные по структуре и свойствам. Поэтому, начав изложение с общих сведений, касающихся истории и перспектив развития плавных материалов, необходимо сообщить учащимся общие понятия о стеклообразном и стеклокристаллическом состоянии вещества, сырьевых ресурсах и технологических приемах получения плавных материалов и изделий с разной структурой. При этом необходимо показать связь состава и структуры со свойствами материала.

Из всех плавных материалов в строительстве наиболее широко используют стекло и стеклянные изделия. Поэтому учащиеся должны хорошо знать основные свойства стекла и разновидности стекол. В лекциях этому вопросу следует уделить большое внимание, закрепляя изложенный материал на лабораторных и практических занятиях и производственных экскурсиях на объекты, где применяются такие изделия.

Все большее значение для строительства и других отраслей промышленности приобретают стеклокристаллические материалы (ситаллы и шлакоситаллы). Поэтому учащиеся техникумов и будущие рабочие строительных профессий должны иметь общие представления о структуре таких материалов и главное — их свойствах и областях применения. Следует обратить внимание учащихся на то, что стеклокристаллические материалы, сохраняя многие положительные свойства стекла, значительно превосходят его по прочности, химической

и термической стойкости и другим свойствам и могут заменить в некоторых конструкциях даже металлы.

Изложение раздела завершается ознакомлением учащихся с литыми каменными изделиями. При этом следует уделить основное внимание наиболее распространенным в строительстве литым изделиям, получаемым плавлением базальтовых и диабазовых пород, а также светлым разновидностям литого камня, получаемого сплавлением кварцевого песка с карбонатными породами (доломитом, мелом, мрамором). Здесь же необходимо ознакомить учащихся с принципами получения и преимуществами литых каменных изделий из шлаков, в особенности из огненно-жидких доменных шлаков.

Степень подробности и содержание изложения каждой группы материалов и изделий раздела в зависимости от учебного заведения и будущей профессии должны быть различны. Студентам техникумов следует излагать материал по описанной схеме, а учащимся ПТУ необходимо в большем объеме сообщать конкретные сведения о разновидностях плавленых изделий, их свойствах с привлечением ГОСТов, технических условий и других нормативных документов.

Завершить изучение темы рекомендуется проведением семинара.

## Глава 5

### НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

#### 5.1. Общие сведения

Для получения многих искусственных строительных материалов или склеивания штучных материалов в изделия и конструкции широко используют неорганические (известь, гипсовые, вяжущие, растворимое стекло, цементы) и органические (битумы, дегти, смолы, клей) вяжущие вещества.

● *Неорганические вяжущие вещества представляют собой искусственные тонкоизмельченные порошки, способные при смешивании с водой (в отдельных случаях с растворами некоторых солей) образовывать пластично-вязкую и легкоформуемую массу (вяжущее тесто), которая в результате физико-химических процессов постепенно затвердевает и переходит в камневидное тело.*

В большинстве случаев в вяжущее тесто вводят заполнители, что способствует экономии вяжущего и улучшению свойств искусственного камня. Неорганические вяжущие вещества в зависимости от их способности твердеть в определенной среде делят на воздушные и гидравлические.

● *Воздушные вяжущие* (известь воздушная, гипсовые и магнезиальные вяжущие, растворимое стекло) твердеют и длительно сохраняют прочность лишь в воздушной среде.

● Вяжущие вещества, способные твердеть и длительно сохранять или повышать прочность не только на воздухе, но еще лучше в воде, называют *вяжущими водного твердения* или *гидравлическими вяжущими* (гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности, глиноземистый и расширяющийся цементы, гипсоцементно-пуццолановые и некоторые местные вяжущие вещества). Число разновидностей гидравлических вяжущих непрерывно увеличивается в результате использования новых видов сырья и применения новых способов производства.

● В отдельную группу выделяют *вяжущие вещества автоклавного твердения* (известково-кремнеземистые, известково-нефелиновые, бесклинкерные шлаковые и зольные вяжущие материалы), хотя по существу они тоже относятся к гидравлическим вяжущим. Такие вяжущие эффективно твердеют только в среде нагретого насыщенного пара в автоклавах, где температура 175 °С и более и давление 0,9...1,6 МПа.

● В самостоятельную группу *кислотостойких вяжущих* входит кислотоупорный цемент.

Прочность вяжущих изменяется во времени, поэтому оценивают вяжущие по прочности, набранной за определенное время твердения в условиях, установленных стандартом. Этот показатель принимают за марку вяжущего. Например, марка гипсовых вяжущих определяется по прочности образцов спустя 2 ч после их изготовления, а портландцемента через 28 сут твердения.

● Условно принято различать два периода в процессе твердения вяжущего вещества — схватывание и собственно твердение. Момент, когда пластичное вяжущее тесто начинает загустевать и теряет пластичность, соответствует началу схватывания. Далее вяжущее тесто все больше и больше уплотняется, полностью загустевает и постепенно превращается в твердое камневидное тело,

не обладающее еще практически заметной прочностью. Этот момент считают концом схватывания.

Некоторые вяжущие схватываются в течение нескольких минут, а затвердевают за несколько часов (например, гипсовые). Наиболее медленно твердеет воздушная гашеная известь, которая в обычных условиях заметно затвердевает лишь через несколько недель или месяцев. Большинство цементов схватывается в течение десятков минут или нескольких часов, а интенсивно твердеет в сроки до месяца, хотя процесс твердения при благоприятных условиях продолжается многие годы. Все операции по транспортированию и укладке смесей на основе вяжущих должны заканчиваться до начала схватывания. Повторное перемешивание, особенно с добавлением воды, с целью придания пластичности схватывающейся смеси приводит к существенному снижению прочности затвердевшей смеси.

Неорганические вяжущие, получаемые искусственно путем обжига природного сырья, появились в глубокой древности.

Некоторые из них (воздушную известь, гипс и их смеси) уже использовали для возведения египетских пирамид и других сооружений. Римляне, сооружая водопроводы, морские сооружения, использовали вяжущие, состоящие из смеси воздушной извести со специальными измельченными добавками (вулканическими пеплами, обожженной глиной), которые сохраняли прочность в воде.

Применение вяжущих веществ в России относится к X в. При сооружении Десятинной церкви в Киеве (990 г.) использовали известь, там же при возведении Софийского собора (XI в.) применяли известь с добавкой цемянки (толченого кирпича). На известковом растворе сложены стены Московского Кремля (конец XV в.).

В XVIII в. появились более водостойкие вяжущие — гидравлическая известь и романцемент, которые получали обжигом известняков с повышенным содержанием глинистых веществ, а также мергелей и искусственных смесей известняка и глины. Свойства этих вяжущих, опыт их производства и применения описаны в работах русских ученых акад. В. М. Севергина (1807) и проф. А. Шарлевиля (1822).

Дальнейшим толчком развития производства и применения вяжущих веществ явилось изобретение цемента более высокой прочности и водостойкости, названного портландцементом.

Изобретение портландцемента часто приписывают английскому каменщику Д. Аспдину, который в 1824 г. получил патент на изготовление вяжущего вещества обжигом смеси извести с глиной. За сходство по цвету с естественным камнем из каменоломен под г. Портленд в Англии он назвал это вяжущее портландцементом. Однако Аспдин не обжигал смесь до спекания (частичного плавления). Поэтому вяжущее, полученное им, по технологии и свойствам являлось разновидностью романцемента и, следовательно, не походило на современный портландцемент. В то же время в России во-

енный техник Е. Г. Челиев в 1817—1825 гг. изготовлял цемент из смесей извести или известковой штукатурки с глиной, производя их обжиг до частичного расплавления компонентов с последующим измельчением полученного продукта. При затворении вяжущего водой рекомендовалось вводить небольшое количество гипса. Свои работы Е. Г. Челиев завершил изданием книги (1825), в которой описал и научно обосновал применявшийся им способ изготовления цемента, принципиально не отличающийся от технологии современного портландцемента. Исторически справедливо считать основоположником портландцемента Е. Г. Челиева.

Дальнейшее изучение вяжущих веществ в России было продолжено русскими учеными А. Р. Шуляченко, И. Г. Малогой, Н. А. Белелюбским, Н. Н. Ляминам, Д. И. Менделеевым, С. И. Дружининым и др. Особые заслуги в теории и практике промышленного производства цемента в России принадлежат проф. А. Р. Шуляченко (1841—1903), которого считают «отцом русского цементного производства». Благодаря его работам удалось наладить производство русских портландцементов и почти полностью вытеснить из России иностранные цементы. Им вместе с профессором Н. А. Белелюбским и И. Г. Малогой разработаны в 1881 г. первые русские нормы на портландцемент.

В результате работ и исследований Н. Н. Лямина, В. И. Чариомского, А. А. Байкова были открыты русские гидравлические добавки, не уступающие по качеству добавкам, импортируемым в Россию из-за границы. Позднее советские ученые (А. А. Байков, С. И. Дружинин, В. А. Кинд, В. Н. Юнг и др.) полностью решили вопрос о пуццоланизации цемента и создании пуццоланового портландцемента.

Развивая исследования А. Р. Шуляченко, Н. Н. Лямина, Ле-Шателье, Михаэлиса по вопросам твердения вяжущих, акад. А. А. Байков разработал (1923) теорию твердения неорганических вяжущих веществ, базирующуюся на точных физико-химических представлениях.

Большой вклад в раскрытие химической сущности процессов минералообразования, гидратации, твердения, разработку новых видов технологии вяжущих внесли советские ученые В. А. Кинд, В. Н. Юнг, П. П. Будников, Н. А. Торопов, П. А. Ребиндер, Ю. М. Бутт и др.

Благодаря работам советских ученых, инженеров и новаторов производства советская цементная техника достигла высокого развития. Уже с 1962 г. Советский Союз занимает первое место в мире по производству цемента. Улучшилось качество цемента и прежде всего повысилась его средняя марка (прочность), появились новые виды цементов со специальными свойствами, создание которых принадлежит Б. Г. Скрамтаеву, М. И. Хигеровичу, В. В. Михайлову, И. В. Кравченко, С. В. Шестоперу и другим советским ученым.

## 5.2. Сырьевые материалы и основы технологии неорганических вяжущих веществ

### ■ Сырье.

Исходными материалами для производства неорганических вяжущих веществ являются различные горные породы, а также некоторые массовые побочные продук-

ты металлургической, энергетической, химической и других отраслей промышленности (шлаки, золы и т. д.).

Для изготовления гипсовых вяжущих веществ применяют горные породы, состоящие из двухводного гипса и ангидрита.

Производство магнезиальных вяжущих базируется на природном магнезите и доломите.

Карбонатные горные породы в виде известняков, мела, доломитов и мергелей являются основой для получения воздушной и гидравлической извести, романце-мента, портландцемента. В производстве портландце-мента и его разновидностей чаще используют искус-ственные смеси известняков или мела и глинистых пород. Для этой же цели, а также для получения смешанных клинкерных и бесклинкерных цементов применяют кремнеземистые горные породы (диатомит, трепел, опо-ку, вулканические трассы и туф).

Высокоглиноземистые породы (бокситы), состоящие в основном из гидроксида алюминия, применяют в сме-си с известняками для производства глиноземистого цемента.

Широко используют для изготовления различных вяжущих веществ массовые отходы промышленности (доменные и другие металлургические шлаки, шлаки и золы от пылевидного сжигания различных видов твер-дого топлива, нефелиновый шлам и т. п.). При этом от-падает необходимость организации карьеров, они не требуют топлива на обжиг, многие из этих материалов к тому же находятся в рыхлом или порошкообразном состоянии, что уменьшает расходы энергии на размол. Кроме того, использование отходов способствует охране природы и среды обитания. Все это предопределяет вы-сокую технико-экономическую эффективность использо-вания таких полупродуктов в промышленности вяжу-щих веществ и способствует охране окружающей среды.

Для регулирования схватывания и твердения вяжу-щих в них вводят добавки, ускоряющие или замедляю-щие эти процессы. Для улучшения свойств вяжущего и предохранения цементов от быстрой потери активнос-ти при дальних перевозках и длительном хранении ис-пользуют поверхностно-активные вещества (ПАВ), вво-димые в вяжущее в количестве 0,1...0,3 % от массы вяжущего.

Придание вяжущим специальных свойств достигают

введением в них полимерных органических веществ и других добавок.

#### ■ Производство.

Основу производства неорганических вяжущих ве-ществ составляют следующие технологические переде-лы: добыча сырья, подготовка сырьевой смеси, обжиг и помол. Все технологические переделы последователь-но связаны между собой и проводятся в строго заданных режимах. Принципиальных отличий при изготовлении вяжущих нет; различно сырье, следовательно, техниче-ские приемы осуществления указанных переделов.

Производство вяжущих веществ связано с переработ-кой больших количеств разнообразных сырьевых и вспо-могательных материалов. Например, для получения 1 т портландцементного клинкера расходуется до 1,5...1,8 т известняка и до 0,2...0,5 г глинистых пород. Учитывая высокую стоимость транспорта, заводы вяжущих ве-ществ строят вблизи месторождений сырьевых материа-лов, и их добыча входит в общий комплекс технологиче-ских операций, осуществляемых заводом.

● Добычу нерудных ископаемых осуществляют мето-дом прямой экскавации. Скальные породы (известняки и др.) предварительно разрыхляют взрывами. Мягкие породы (глину и мел) добывают гидромониторами в ви-де текучей массы (шлама).

● Доставку сырья на завод осуществляют железно-дорожным, автомобильным транспортом, ленточными конвейерами или перекачивают по трубопроводам в ви-де шлама.

● Обязательной подготовительной операцией в про-изводстве всех вяжущих является *измельчение сырья*. При производстве вяжущих из однокомпонентного сырья (извести, гипса и др.) последнее измельчают до кусков примерно одного размера. В противном случае мелкие куски окажутся пережженными, а крупные не-обожженными, т. е. не будет однородного продукта. Вы-сококачественные вяжущие из смеси нескольких сырье-вых компонентов (портландцемент и его разновидности и др.) можно изготовить только из однородной смеси, получаемой тщательным смешением составляющих в тонкоизмельченном виде. Дробление сырья производят в конусных, щековых, молотковых, валковых и других дробилках. Тонкое измельчение (помол) сырья произво-дят мокрым и сухим способами в мельницах.

● При мокром способе сырьевые материалы измель-

чают и смешивают в присутствии воды до образования сметанообразной водной суспензии — шлама. Компоненты сырьевой шихты, способные распускаться в воде (глина, мел, мягкий мергель и другие породы), предварительно размучивают (распускают) в специальных аппаратах-болтушках, представляющих собой бетонные резервуары, оборудованные устройствами для размешивания суспензии, а затем направляют на домол в шаровые мельницы. Твердые сырьевые материалы (известняк, мергель) размалывают в мельницах, представляющих собой стальной цилиндр, разделенный внутри на камеры

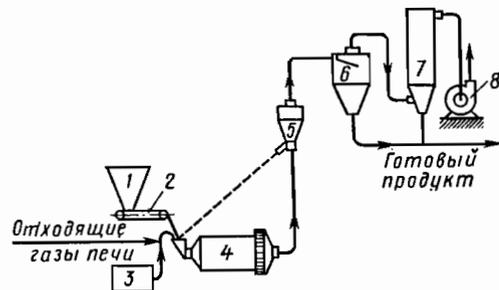


Рис. 5.1. Схема помола и сушки сырья в мельнице с воздушно-проходным сепаратором:

1 — бункер; 2 — питатель; 3 — топка; 4 — мельница; 5 — сепаратор; 6 — циклон; 7 — электрофильтр; 8 — вентилятор

дырчатыми перегородками. При вращении мельницы мелющие тела (металлические шары или цилиндрики) поднимаются на некоторую высоту и падают, разбивая и растирая зерна материала. Выходящий из мельницы сырьевой шлам влажностью 36...38 % транспортируют по трубам в шламбассейны, где его тщательно усредняют и гомогенизируют, а затем подают на обжиг.

● При сухом способе дробленые сырьевые материалы частично подсушивают, дозируют в заданных соотношениях и подают в мельницу, где они измельчаются до требуемой тонины. Для тонкого измельчения сырьевой шихты преимущественно применяют технологические схемы с мельницами для одновременной сушки и помола (рис. 5.1).

Усреднение и гомогенизацию сырьевой муки при сухом способе осуществляют в силосах, нагнетая в них сжатый воздух. При насыщении (аэрировании) возду-

хом сухая шихта приобретает подвижно-текучее состояние.

● При производстве портландцемента все шире используют также *комбинированный способ* приготовления сырьевой смеси, при котором сырьевую смесь готовят по мокрому способу, затем шлам обезвоживают и из него готовят гранулы для обжига.

Выбор способа подготовки сырьевой смеси обуславливается главным образом свойствами сырьевых материалов и экономическими соображениями. При мокром способе облегчается измельчение материалов и быстро достигается однородность смеси, но расход топлива на обжиг в 1,5...2 раза больше, чем при сухом способе. При сухом способе возрастает расход электроэнергии и трудоемкость производства. Успехи в технике помола и гомогенизации сухих смесей в настоящее время способствуют развитию сухого и комбинированного способов производства.

● *Обжиг* сырьевой шихты является важнейшим этапом в производстве вяжущих веществ. В результате физико-химических процессов, происходящих при термической обработке исходных сырьевых материалов, образуются новые соединения, способные вступать во взаимодействие с водой и при этом твердеть, превращаясь в искусственный камень. Каждый вид вяжущего требует определенных температур и времени действия на обрабатываемое сырье.

При нагревании вследствие ускорения теплового движения ионов, атомов и молекул в твердом теле возникают условия для отрыва некоторых из них с постоянных орбит движения и перехода их в окружающее пространство. В результате, как это происходит при дегидратации (обезвоживании) природного гипса при 150...200 °С или декарбонизации (удалении CO<sub>2</sub>) карбонатных пород при 800...900 °С, образуются новые вещества (гипсовые вяжущие и воздушная известь), обладающие вяжущими свойствами.

При температурах 800...1200 °С и более тепловое движение молекул твердых веществ возрастает столь значительно, что между ними становится возможным взаимнообмен ионами и атомами с образованием новых соединений (реакции в твердых фазах). При обжиге в этих условиях мергелистых известняков или искусственных смесей известняков и глины продукты их разложения (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и др.) образуют серию новых

соединений ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), являющихся основными минералами гидравлической извести и романцемента.

Скорость химических реакций возрастает при появлении жидкой фазы (при температуре более  $1300^\circ\text{C}$ ).

● *Процесс обжига с частичным плавлением сырьевой смеси называют спеканием.* Обжигом до спекания получают портландцементный клинкер. Образование жидкой фазы при его производстве обеспечивает наиболее полное усвоение оксидами кремния  $\text{SiO}_2$  и алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  оксида кальция  $\text{CaO}$  и получение высокоосновных минералов, в частности наиболее ценного минерала в клинкере — трехкальциевого силиката  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ .

Наиболее быстро химические реакции образования веществ, обладающих вяжущими свойствами, протекают при полном плавлении сырьевой смеси. Этого обычно достигают нагреванием смеси до  $1600\text{--}1800^\circ\text{C}$ , что требует повышенного расхода топлива и применения специальных печей. В настоящее время плавлением получают лишь глиноземистый цемент высоких марок.

Таким образом, получение вяжущего вещества с заданными свойствами зависит не только от химического состава сырья, но и от правильного выбора температуры обжига и интервала времени для каждой зоны обжига. Из одной и той же минеральной смеси, но при разных температуре и режиме обжига можно получить вяжущее с различными свойствами (например, романцемент и портландцемент).

Процессы, происходящие при обжиге сырьевых материалов, и тепловые аппараты для обжига имеют определенную специфику для разных вяжущих, поэтому будут рассмотрены при описании конкретных вяжущих веществ.

● Абсолютное большинство продуктов обжига в виде частиц разной крупности еще не являются вяжущими веществами. Для получения вяжущих веществ их подвергают *помолу* — тонкому измельчению в чистом виде или чаще с добавками, вводимыми для регулирования сроков схватывания вяжущего, придания ему специальных свойств, облегчения помола и удешевления. Помол вяжущих веществ осуществляют в шаровых мельницах. Тонкость помола вяжущих принято характеризовать остатками на стандартных ситах (% по массе) или удельной поверхностью порошка ( $\text{см}^2/\text{г}$ ), величину кото-

рых для каждого вида вяжущего регламентируют в ГОСТах.

#### ■ **Хранение.**

Хранят вяжущие вещества обычно в железобетонных силосах, которые оборудуют пневматическими устройствами для рыхления и загрузки вяжущих в транспортные средства. Некоторое количество вяжущих (около 20 % от выпуска) отправляют потребителям в бумажных многослойных мешках.

При отправке вяжущих веществ потребителям выдают паспорт, в котором указывают: завод-изготовитель, название вяжущего, его технические характеристики, массу партии и другие сведения.

### 5.3. Воздушные вяжущие вещества

#### *Гипсовые вяжущие вещества*

● *Гипсовыми вяжущими веществами называют материалы, для получения которых используют сырье, содержащее сернокислый кальций.* Чаще это природные гипс  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрит  $\text{CaSO}_4$ , реже — некоторые побочные продукты химической промышленности (фосфогипс, борогипс).

#### ■ **Производство.**

Создавая соответствующие условия дегидратации двухводного гипса, можно получить различные гипсовые вяжущие вещества, которые разделяют на две группы: низкообжиговые (собственно гипсовые) и высокообжиговые (ангидритовые) — ангидритовый цемент и высокообжиговый гипс.

При нагревании двухводного гипса до  $180^\circ\text{C}$  двухводный гипс превращается в полуводный:



а при дальнейшем нагревании до  $200^\circ\text{C}$  полностью обезвоживается, превращаясь в безводный растворимый ангидрит  $\text{CaSO}_4$ .

Модификации полуводного и безводного растворимого гипса значительно отличаются по своим вяжущим свойствам (см. ниже).

При дальнейшем нагревании до  $450\text{--}750^\circ\text{C}$  безводный гипс медленно переходит в нерастворимый ангидрит, не обладающий вяжущими свойствами, но если его размолоть и ввести некоторые вещества — катализаторы, он

приобретает способность медленно схватываться и твердеть.

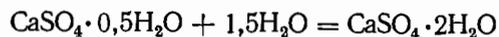
При нагревании до 800...1000 °С нерастворимый ангидрит частично разлагается на оксид кальция, сернистый газ и кислород. Полученный продукт, размолотый в порошок, вследствие появления небольшого количества оксида кальция (3...5 %), выполняющего роль катализатора, вновь приобретает свойства схватываться и твердеть.

Термическую обработку природного гипса и помол осуществляют по различным схемам. По одной из схем гипсовый камень измельчают до обжига, по другой — после обжига, а по третьей — помол и обжиг совмещают в одном аппарате (обжиг во взвешенном состоянии).

Для получения гипсовых вяжущих сырье обжигают в печах (вращающихся, шахтных и др.) или в варочных котлах. При обжиге в открытых аппаратах, сообщаящихся с атмосферой, вода из сырья удаляется в виде пара и гипсовое вяжущее преимущественно состоит из мелких кристаллов β-модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ . При обжиге в герметических аппаратах (котлах-автоклавах), в которых обезвоживание природного гипса происходит в среде насыщенного пара под давлением выше атмосферного или в процессе кипячения в водных растворах некоторых солей при атмосферном давлении с последующей сушкой и измельчением, получают гипс, который состоит в основном из α-модификации  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$  в виде крупных и плотных кристаллов, характеризующихся пониженной водопотребностью по сравнению с β-полугидратом. Это обуславливает более плотную структуру отвердевшего  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$  и более высокую его прочность.

Твердение гипсовых вяжущих проходит по следующей схеме.

● На *первом этапе* (подготовительном) частицы полуводного гипса, приходя в соприкосновение с водой, начинают растворяться с поверхности до образования насыщенного раствора. Одновременно начинается гидратация полуводного гипса по реакции



Этот период характеризуется пластичным состоянием теста.

● На *втором этапе* (коллоидации) наряду с гидратацией растворенного полугидрата и переходом его в дву-

водный гипс происходит прямое присоединение воды к твердому полуводному гипсу. Это приводит к возникновению двухводного гипса в виде высокодисперсных кристаллических частичек. Так как двухводный гипс обладает значительно меньшей растворимостью (примерно в 5 раз), чем полуводный, то насыщенный раствор по отношению к исходному полуводному гипсу является пересыщенным по отношению к образующемуся двухводному гипсу и тот, выделяясь из раствора, образует коллоидно-дисперсную массу в виде геля (студня), в которой кристаллики дигидрата связаны слабыми ван-дер-ваальсовыми силами молекулярного сцепления. Этот период характеризуется загустеванием теста (схватыванием).

● На *третьем этапе* (кристаллизации) образовавшийся неустойчивый гель перекристаллизовывается в более крупные кристаллы, которые срастаются между собой в кристаллические сростки, что сопровождается твердением системы и ростом ее прочности.

Указанные этапы не следуют строго друг за другом, а налагаются один на другой и продолжаются до тех пор, пока весь полуводный гипс не перейдет в двухводный (практически через 20...40 мин после затвердения). К этому времени достигается максимальная прочность системы во влажном состоянии. Дальнейшее увеличение прочности гипсового камня происходит вследствие его высыхания. При этом из водного раствора выделяется частично оставшийся в нем двухводный гипс, упрочняющий контакты между кристаллическими сростками. При полном высыхании рост прочности прекращается. Сушка является необходимой операцией в технологии гипсовых изделий, но проводить ее надо осторожно (при температуре не выше 60...70 °С), чтобы не допустить дегидратацию образовавшегося дигидрата сульфата кальция.

#### ● Свойства.

Свойства низкообжиговых гипсовых вяжущих во многом одинаковы. Главное различие состоит в прочности, что в основном связано с их разной водопотребностью. Для получения теста нормальной густоты гипс β-модификации требует 50...70 % воды, а α-модификации — 30...45 %, в то время как по уравнению гидратации полугидрата в дигидрат необходимо всего 18,6 % воды от массы вяжущего вещества. Вследствие значительного количества химически несвязанной воды затвердевший гипс имеет большую пористость — 30...50 %. Пористость меньше при использовании гипса α-модификации.

Стандартом на гипсовые вяжущие, получаемые путем термической обработки гипсового сырья до полугидрата сульфата кальция (ГОСТ 125—79), установлено 12 марок (МПа): Г-2, Г-3, Г-4, Г-5, Г-6, Г-7, Г-10, Г-13, Г-16, Г-19, Г-22, Г-25. При этом минимальный предел прочности при изгибе для каждой марки вяжущего должен соответствовать значению соответственно от 1,2 до 8 МПа.

По тонкости помола, определяемой остатком (в %) при просеивании пробы на сите с отверстиями размером 0,2 мм, гипсовые вяжущие делятся на три группы:

Группа Помол	I Грубый	II Средний	III Тонкий
Остаток на сите, %, не более . . . . .	23	14	2

Гипсовые вяжущие относительно быстро схватываются и твердеют. Различают быстротвердеющий (А), нормальнотвердеющий (Б) и медленно твердеющий (В) гипсы со сроками схватывания соответственно начало — не ранее 2, 6 и 20 мин, конец — не позднее 15, 30 мин (для В — не нормируется). Для замедления схватывания в воду затворения добавляют животный клей или сульфитно-дрожжевую бражку — ЛСТ (0,1...0,3 % от массы гипса). Эти вещества, адсорбируясь на зернах полуводного гипса, уменьшают его растворимость, поэтому процесс схватывания гипсового теста замедляется. При необходимости ускорить схватывание гипса добавляют вещества (0,2...3 % от массы гипса), одни из которых повышают растворимость полуводного гипса (поваренная соль, сульфат натрия и др.), другие (двуводный гипс) образуют центры кристаллизации, вокруг которых быстро закристаллизовывается вся масса.

Особенностью полуводного гипса по сравнению с другими вяжущими является его способность при твердении увеличиваться в объеме (до 1 %). Так как увеличение объема происходит в еще окончателно не схватившейся массе, то она хорошо уплотняется и заполняет форму. Это позволяет широко применять гипс для отливки художественных изделий сложной формы.

Важнейшими недостатками затвердевших гипсовых вяжущих являются значительные деформации под нагрузкой (ползучесть) и низкая водостойкость. Для повышения водостойкости гипсовых изделий при изготовлении вводят гидрофобные добавки, молотый доменный гранулированный шлак, а также водоотталкивающие составы.

## ■ Применение.

Гипсовые вяжущие применяют для производства гипсовой сухой штукатурки, перегородочных плит и панелей, архитектурных, звукопоглощающих и других изделий, а также строительных растворов для внутренних частей зданий.

● *Ангидритовое вяжущее* (ангидритовый цемент), предложенное акад. П. П. Будниковым, состоит преимущественно из нерастворимого ангидрита. Его изготавливают обжигом природного гипса при 600...700 °С и последующим помолом обожженного продукта с добавками — активизаторами твердения или из природного ангидрита без обжига путем его совместного помола с теми же добавками. В качестве активизаторов твердения используют вещества, отличающиеся щелочным характером (известь, обожженный доломит, основные доменные шлаки и др.), а также некоторые соли (сульфат и бисульфат натрия и др.).

● *Высокообжиговый гипс*, получаемый обжигом двуводного гипса или ангидрита при 800...1000 °С, состоит в основном из безводного сернокислого кальция. В нем присутствует небольшое количество оксида кальция (3...5 %), который образуется в результате термического разложения части сульфата кальция при обжиге и выполняет роль катализатора при твердении высокообжигового гипса. Высокообжиговые гипсовые вяжущие в отличие от низкообжиговых медленно схватываются и твердеют (сроки схватывания 0,5...24 ч и более). Предел прочности при сжатии стандартных образцов через 28 сут твердения 5...20 МПа и более.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества применяют для устройства бесшовных полов и подготовки под линолеум, приготовления штукатурных и кладочных растворов, бетонов, искусственного мрамора.

## Магнезиальные вяжущие вещества

● *Каустический магнезит* получают при умеренном обжиге магнезита при температуре 700...800 °С. Он состоит в основном из оксида магния.

● *Каустический доломит* изготавливают обжигом природного доломита при 650...750 °С, т. е. ниже температуры диссоциации углекислого кальция. Каустический доломит в основном состоит из оксида магния, являющегося активной частью вяжущего, и карбоната кальция, который, не обладая вяжущими свойствами, снижает его активность по сравнению с каустическим магнезитом. При затворении этих вяжущих водой процесс гидратации оксида магния идет очень медленно, а затвердевший камень имеет небольшую прочность. Поэтому каустический магнезит и доломит затворяют не водой, а водным раствором хлористого или сернокислого магния. В указанных растворах повышается растворимость оксида маг-

ния и резко ускоряется процесс твердения. При этом наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрооксихлорида магния ( $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и создаются условия для получения относительно высокой прочности затвердевшего камня (при сжатии 40...60 МПа — на каустическом магнезите и 10...30 МПа — на каустическом доломите).

Магнезиальные вяжущие вещества характеризуются хорошим сцеплением с органическими материалами (древесными опилками, стружкой и т. п.) и предохраняют их от загнивания. На этом основано применение этих вяжущих для устройства ксилолитовых полов (заполнителем в которых служат древесные опилки), изготовления некоторых материалов (фибролита).

### Растворимое стекло и кислотоупорный цемент

● *Растворимое стекло* представляет собой натриевый или калиевый силикат ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  или  $\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ), где  $n=2,5...4$  — модуль стекла. Растворимое стекло получают из смеси кварцевого песка с содой (или сульфатом натрия) и поташом в стекловаренных печах при температуре 1300...1400 °С. Образовавшийся расплав при быстром охлаждении распадается на стекловатые полупрозрачные куски, называемые силикат-глыбой.

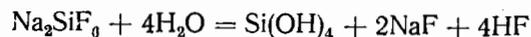
В строительстве растворимое стекло применяют в жидком виде и часто называют *жидким стеклом*. Растворение силикат-глыбы производят водяным паром в автоклаве. Раствор жидкого стекла, поступающего на строительство, содержит 50...70 % воды и имеет плотность 1,3...1,5.

Силикаты натрия или калия, являющиеся основными компонентами жидкого стекла, в воде подвергаются гидролизу. Образующийся при гидролизе гель кремниевой кислоты  $\text{Si}(\text{OH})_4$  обладает вяжущими свойствами. По мере испарения жидкой фазы концентрация коллоидного кремнезема повышается, он коагулирует и уплотняется.

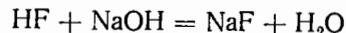
В твердении растворимого стекла участвует также и углекислота воздуха, которая, нейтрализуя едкую натриевую или калиевую щелочь, образующуюся в растворе при гидролизе, способствует коагуляции кремнекислоты и более быстрому затвердеванию растворимого стекла. Однако глубина проникания углекислоты сравнительно

невелика и положительное ее действие наблюдается только на поверхности.

Процесс твердения растворимого стекла существенно ускоряется при повышении температуры и особенно при добавлении к нему веществ, ускоряющих гидролиз и выпадение геля кремниевой кислоты, например кремнийфтористого натрия. Кремнефторид натрия в воде гидролизуется



а затем проходит реакция



Образующийся при этом фтористый натрий мало растворим в воде, поэтому процесс расщепления силикатов жидкого стекла и выделения геля кремниевой кислоты (клеящего вещества) ускоряется, что приводит к быстрому твердению системы.

Натриевое жидкое стекло используют для изготовления кислотоупорных, жароупорных и огнеупорных бетонов, огнезащитных обмазок и силикатизации грунтов. Калиевое жидкое стекло применяют для приготовления силикатных красок, мастик и кислотоупорных растворов и бетонов.

● *Кислотоупорный цемент* изготовляют из тонкоизмельченных смесей кислотоупорного наполнителя (кварца, кварцита, диабазы, андезита и т. п.) и ускорителя твердения — кремнефтористого натрия. Название «цемент» для таких порошков имеет условный характер, так как они вяжущими свойствами не обладают и при затворении водой не твердеют. Вяжущим веществом в таких цементах является растворимое стекло, на водном растворе которого их и затворяют. Чаще всего применяют кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент, в котором наполнителем является чистый тонкокомлотый кварцевый песок.

Основное достоинство и принципиальное отличие кислотоупорного цемента от других неорганических вяжущих веществ — его способность сопротивляться действию большинства минеральных и органических кислот (кроме фтористоводородной, кремнефтористоводородной и фосфорной).

Схватываются кислотоупорные цементы в пределах 0,3...8 ч. Предел прочности при растяжении через 28 сут должен быть не менее 2,0 МПа, а кислотостойкость — не

менее 93 %. Предел прочности при сжатии стандартом не нормируется, но можно получить бетоны с прочностью при сжатии 30...40 МПа и более.

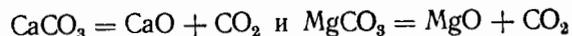
Кислотоупорный цемент применяют для приготовления кислотоупорных замазок, растворов и бетонов. Нельзя использовать кислотоупорный цемент для конструкций, подверженных длительному воздействию воды, пара и щелочей, а также в условиях низких температур (ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ ).

### *Известь строительная воздушная*

■ **Сырье и производство.** Для получения воздушной извести пригодны карбонатные породы (известняки, мел, ракушечник, доломитизированные известняки), в которых содержание примесей глины, кварцевого песка и т. п. не превышает 6 %.

● **Обжиг** такого сырья производится до полного удаления диоксида углерода, в результате получают продукт, состоящий в основном из  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ . Чем выше суммарное содержание свободных оксидов кальция и магния, тем выше качество извести. В зависимости от содержания оксида магния различают следующие виды воздушной извести: кальциевую —  $\text{MgO}$  не более 5 %, магнезиальную — 5...20 %, доломитовую — 20...40 %.

Обжиг сырья производят в шахтных печах, реже во вращающихся или установках для обжига во взвешенном состоянии и кипящем слое. Основные реакции, происходящие при обжиге:



Реакции разложения этих карбонатов обратимы и зависят от температуры и парциального давления углекислого газа. При термической диссоциации карбоната кальция давление углекислого газа достигает атмосферного при температуре около  $900^{\circ}\text{C}$ , а карбоната магния — около  $400^{\circ}\text{C}$ . Это и есть теоретически нормальные температуры обжига карбонатов. Практически для удовлетворительного хода обжига температуру печного пространства доводят до  $1000...1200^{\circ}\text{C}$  (диссоциация карбонатов резко ускоряется).

При оптимальной температуре обжига чистого известняка до полного удаления  $\text{CO}_2$  (теоретически 44 %) его масса уменьшается почти в 2 раза, объем же продукта лишь на 10...12 %. Получаемая в виде кусков известь

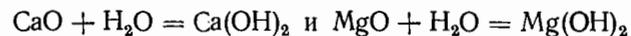
представляет собой весьма пористый материал, состоящий в основном из мелких кристаллов (0,5...2 мкм) оксида кальция и частично оксида магния, что и предопределяет ее высокую реакционную способность при взаимодействии с водой.

При более высоких температурах обжига образуются крупные кристаллы оксида кальция и магния, происходит уплотнение продукта обжига. Такая известь в обычных условиях медленно или совсем не взаимодействует с водой и называется «пережогом». Наличие пережога в извести вредно влияет на ее качество. Запоздалое его взаимодействие с водой, протекающее уже в затвердевшем растворе или бетоне, вызывает появление в них растгивающих напряжений, что может привести к появлению трещин и разрушению.

При недостаточно высокой температуре обжига или в тех случаях, когда часть кусков сырья имела крупные размеры, возможно образование «недожога», т. е. неразложившегося углекислого кальция, который является балластом в извести, ухудшая ее свойства.

● Известь, выходящую из печи обычно в виде кусков различной величины (комья), называют комовой *негашеной известью*. Это — полупродукт, который для превращения в вяжущее предварительно измельчают химическим путем — гашением водой (*гашеная известь*) или механическим путем — размолотом в мельницах (*молотая негашеная известь*).

● **Гашение** извести заключается в том, что вода, соприкасаясь с кусками негашеной извести, поглощается ею, всасываясь в поры, и одновременно химически взаимодействует с оксидами кальция и магния, образуя их гидроксиды:



При этом 1 кг извести-кипелки выделяет 1160 кДж теплоты, которая переводит часть воды в парообразное состояние. Пар вызывает в извести внутренние растягивающие напряжения, под действием которых происходит ее измельчение в тонкий порошок (тоньше, чем у цемента).

В зависимости от количества воды, взятой при гашении, можно получить гидратную известь-пушонку, известковое тесто или известковое молоко.

● Для получения *извести-пушонки*, представляющей собой тонкий белый порошок, теоретически достаточно

32,13 % воды от массы извести-кипелки. Практически воды берут в 2...3 раза больше (60...80 %), так как при гашении часть ее испаряется. Порошок извести-пушонки состоит из очень тонких частиц и в 2...3 раза и более превышает объем исходной извести-кипелки.

При гашении извести в тесто расход воды увеличивают до 2...3 ч (по массе) на 1 ч извести-кипелки; при еще большем количестве воды получают известковое молоко.

● *Известковое тесто* в виде пастообразной концентрированной водной суспензии (плотность около 1400 кг/м<sup>3</sup>) содержит примерно 50 % воды и 50 % очень мелких частиц гидроксидов кальция и магния.

● *Известковое молоко* имеет вид жидкости и плотность менее 1300 кг/м<sup>3</sup>.

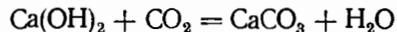
По скорости гашения воздушная известь бывает: быстрогасящаяся со скоростью гашения не более 8 мин, среднегасящаяся — до 25 мин и медленногасящаяся — более 25 мин.

● *Молотая известь-кипелка* по химическому составу подобна исходной комовой извести. При ее помоле разрешается вводить тонкомолотые минеральные добавки (шлаки, золы, песок, пемзу, известняк и др.), которые улучшают свойства таких смешанных известковых вяжущих.

#### ■ Твердение и свойства.

В строительстве известь, как правило, применяют в смеси с песком или другими заполнителями в виде растворов или бетонов.

Растворы и бетоны на гашеной извести твердеют на воздухе при обычных температурах в результате главным образом двух одновременно протекающих процессов — карбонизации и кристаллизации гидроксидов кальция, вызванной испарением воды. В процессе карбонизации, т.е. взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом воздуха, образуется карбонат кальция и выделяется вода:



Испарение воды способствует сближению мельчайших кристаллов гидроксида кальция, их срастанию между собой и образованию кристаллических сростков, связывающих зерна заполнителя в монолитное тело.

Образование  $\text{CaCO}_3$  и кристаллизация  $\text{Ca(OH)}_2$  происходят только при положительной температуре и в обыч-

ных условиях протекают очень медленно. В частности, карбонизация захватывает только поверхностные слои, что объясняется малой концентрацией  $\text{CO}_2$  в воздухе (0,03 %) и большой плотностью пленки образующегося карбоната кальция, затрудняющей проникание углекислоты во внутренние слои раствора.

Прочность при сжатии растворов на гашеной извести через 28 сут твердения на воздухе редко превышает 0,5...1,0 МПа. При длительном твердении (десятки и даже сотни лет) прочность возрастает до 5...7 МПа и более. Это объясняется не только дальнейшей карбонизацией и кристаллизацией извести, но и накоплением с течением времени гидросиликатов кальция, которые образуются, хотя и крайне медленно, при взаимодействии гидроксида кальция с диоксидом кремния кварцевого песка.

Процесс образования гидросиликатов кальция в системе известь—кварцевый песок можно резко ускорить и, следовательно, получить более высокую прочность изделий на известковом вяжущем путем тепловлажностной обработки в автоклавах (см. гл. 8).

Превращение в твердое камневидное тело известковых растворов или бетонных смесей на молотой негашеной извести обусловлено гидратационным твердением такой извести. Твердение извести протекает в результате гидратации оксида кальция. Это возможно как через раствор, так и вследствие присоединения воды к твердой фазе с последующей коллоидацией и кристаллизацией гидроксида кальция. По мере испарения воды гидрогель уплотняется, образовавшиеся субмикрочастицы кристаллы гидроксида кальция  $\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$  взаимно сцепляются и срастаются, что вызывает рост прочности твердеющей извести. Теплота, выделяющаяся при гидратации, со своей стороны, способствует ускорению твердения и росту прочности, что особенно важно при зимних работах (каменной кладке, штукатурке и др.). Последующая карбонизация гидроксида кальция также повышает прочность затвердевшего раствора.

Однако благоприятные результаты при твердении молотой негашеной извести можно получить лишь при определенных условиях. Для этого необходимо применять известь тонкого помола (остаток на сите с сеткой № 008 не более 10 %). Содержание воды в растворной или бетонной смеси должно быть 100...150 % от массы извести. Для предупреждения интенсивного разогревания смеси необходимо отводить теплоту или использовать другие

приемы (например, введение добавок типа ЛСТ, замедляющих процесс гидратации извести).

В отличие от гашеной молотая известь обладает способностью быстро схватываться и твердеть. Прочность при сжатии растворов через 28 сут твердения на воздухе в обычных условиях достигает 2...3 МПа и более.

Важным свойством воздушной извести, особенно гашеной, является высокая пластичность, которая связана с ее высокой водоудерживающей способностью. Вода, адсорбционно удерживаясь на поверхности тонкодисперсных частиц гидроксида кальция, создает своеобразную смазку, уменьшающую трение между ними.

#### ■ Применение.

Традиционным является использование извести для изготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях. Широкое применение воздушная известь нашла в производстве различных плотных и ячеистых автоклавных материалов в виде силикатного кирпича и крупных изделий (см. гл. 8). Воздушную известь используют также в производстве местных вяжущих веществ и для получения дешевых красочных составов.

При работе с известью на всех стадиях ее изготовления и применения необходимо учитывать, что она является щелочью. Попадание извести на кожу, слизистые оболочки и в легкие вредно для здоровья человека, поэтому при работе с известью необходимо принимать меры безопасности.

Транспортирование комовой извести осуществляют в ограниченные сроки навалом в железнодорожных вагонах или автосамосвалах, защищенных от увлажнения. Известь-пушонку и молотую известь транспортируют в металлических контейнерах и бумажных битуминизированных мешках. Известковое тесто перевозят в автосамосвалах со специально приспособленными кузовами, а известковое молоко — в автоцистернах.

Склады для извести-кипелки и пушонки должны быть закрытыми и иметь пол, возвышающийся над землей. Чтобы качество извести существенно не изменялось, хранят ее не более месяца, а молотую известь не более 15 сут.

## 5.4. Гидравлические вяжущие вещества

● *Гидравлические свойства этой группы вяжущих обусловлены наличием в их составе силикатов, алюминатов, ферритов кальция.* Чем больше в вяжущем таких соединений и чем они более основны, тем сильнее выражены гидравлические свойства и выше прочность вяжущего.

Химический состав сырья и гидравлические свойства готового вяжущего характеризуют гидравлическим или основным модулем:

$$m_0 = \frac{\%CaO}{\% (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

Для воздушной извести этот модуль больше 9, для гидравлической — 1,7...9, а для романцемента — 1,1...1,7. Однако если температуру обжига сырьевой смеси с  $m_0 \approx 2$  довести до 1450 °С, то образуются более высокоосновные силикаты кальция и другие соединения, обладающие большей прочностью и гидравлическостью. В результате получают новое вяжущее — портландцемент, обладающий высокой прочностью.

### *Гидравлическая известь и романцемент*

● *Гидравлическую известь получают из мергелистых известняков содержащих 6...20% равномерно распределенной глины.* При обжиге сначала происходит разложение карбоната кальция на CaO и CO<sub>2</sub>, а глинистых минералов — на аморфные SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При температуре 1000...1100 °С часть оксида кальция взаимодействует в твердом состоянии с SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, образуя низкоосновные силикаты, алюминаты и ферриты кальция (2CaO·SiO<sub>2</sub>, 2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Следовательно, гидравлическая известь состоит из различных соединений, часть которых (CaO+MgO) обуславливает свойства извести как воздушного вяжущего, а часть (силикаты, алюминаты, ферриты кальция) — гидравлического. Чем больше в составе гидравлической извести последних соединений, тем быстрее она твердеет и выше ее прочность.

Гидравлическая известь способна диспергироваться частично при гашении водой, но чаще ее превращают в рабочее состояние помолом.

Для твердения гидравлической извести вначале необходимы, как и для воздушной извести, воздушно-сухие условия, а затем — влажные, чтобы обеспечить гидратацию силикатов, алюминатов и ферритов кальция. Чем больше в извести свободного оксида кальция, тем более продолжительным должно быть начальное твердение в воздушной среде (обычно 7...15 сут).

Различают слабогидравлическую (гидравлический модуль 4,5...9,0) и сильногидравлическую (модуль 1,7...4,5) известь. Прочность

при сжатии растворов должна быть не менее 1,7 МПа — для слабогидравлической извести и не менее 5 МПа — для сильногидравлической.

● **Романцемент** является особой разновидностью сильногидравлической извести с модулем основности меньше 1,7. Романцемент получают обжигом при 1000...1100 °С мергелей, в которых глинистых примесей больше 25 %, с последующим помолом в тонкий порошок. Романцемент почти целиком состоит из низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция и не способен гаситься. Марки романцемента 25, 50 и 100 (2,5...10 МПа).

Гидравлическую известь и романцемент применяют для изготовления штукатурных и кладочных растворов, в том числе во влажных условиях, бетонах низких марок, смешанных вяжущих и т. п., что позволяет экономить энергоемкий и дорогой портландцемент.

### Портландцемент

Портландцемент и его разновидности являются основным вяжущим материалом в современном строительстве. В СССР его производство составляет около 65 % от выпуска всех цементах.

● **Портландцемент** — продукт тонкого измельчения клинкера, получаемого обжигом до спекания, т. е. частичного плавления сырьевой смеси, обеспечивающей преобладание в нем высокоосновных силикатов кальция (70...80 %). Для регулирования схватывания и некоторых других свойств при помоле клинкера в цемент добавляют небольшое количество гипса (1,5...3,5 %). В соответствии с ГОСТ 10178—85 за таким бездобавочным цементом сохранено название портландцемент (ПЦ-ДО).

#### ■ Сырье и производство.

Для получения доброкачественного портландцемента химический состав клинкера, а следовательно, и состав сырьевой смеси должны быть устойчивы.

Многочисленные исследования и практический опыт показывают, что элементарный химический состав клинкера должен находиться в следующих пределах (% по массе): CaO — 63...66; SiO<sub>2</sub> — 21...24; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 4...8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 2...4, их суммарное количество составляет 95...97 %. Следовательно, для производства портландцемента следует применять такие сырьевые материалы, которые содержат много карбоната кальция и алюмосиликатов (известняка, глины, известковые мергели). Чаще используют искусственные сырьевые смеси из известняка или мела и глинистых пород при соотношении между ними в сырьевой шихте примерно 3:1 (% по массе): CaCO<sub>3</sub> — 75...78 и глинистого вещества — 22...25. Вместо глины или для частичной ее замены используют также

отходы различных производств (доменные шлаки, нефелиновый шлак и т. п.). Нефелиновый шлак, получающийся при производстве глинозема, уже содержит 25...30 % SiO<sub>2</sub> и 50...55 % CaO; достаточно к нему добавить 15...20 % известняка, чтобы получить сырьевую смесь. При этом производительность печей повысится примерно на 20 %, а расход топлива снизится на 20...25 %. Для обеспечения нужного химического состава сырьевой смеси применяют корректирующие добавки, содержащие недостающие оксиды. Например, количество SiO<sub>2</sub> повышают, добавляя в сырьевую смесь трепел, опоку. Добавление колчеданных огарков увеличивает содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В качестве топлива используют природный газ, реже мазут и твердое топливо в виде угольной пыли. Стоимость топлива составляет до 26 % себестоимости готового цемента, поэтому на цементных заводах много внимания уделяется его экономии.

Технология портландцемента в основном сводится к приготовлению сырьевой смеси надлежащего состава, ее обжигу до спекания (получают клинкер) и помолу в тонкий порошок.

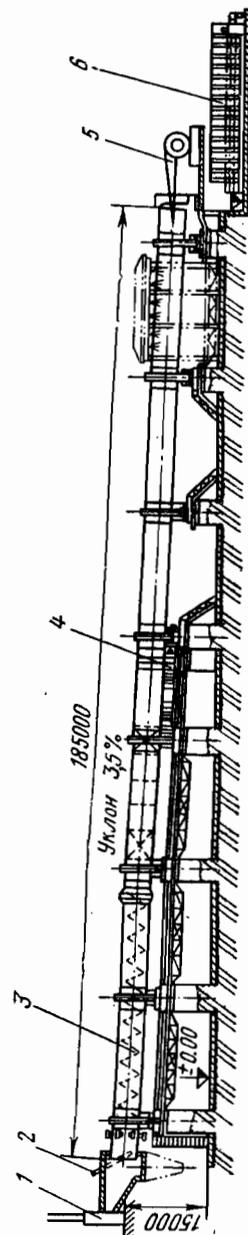


Рис. 5.2. Схема вращающейся печи.

1 — дымосос; 2 — питатель для подачи шлама; 3 — барабан; 4 — привод; 5 — вентиллятор с форсункой для вдувания топлива; 6 — холодильник

Сырьевую смесь готовят сухим или мокрым способом (см. 5.2). В соответствии с этим различают и способы производства цемента — сухой и мокрый. В СССР преобладает мокрый способ производства цемента, но все шире внедряется сухой. Важнейшим преимуществом сухого способа производства является не только снижение расхода теплоты на обжиг в 1,5...2 раза, чем при мокром, но и более высокие удельные съемы в печах сухого способа.

Обжиг сырьевой смеси чаще осуществляют во вращающихся печах, но иногда (при сухом способе) в шахтных.

Вращающаяся печь (рис. 5.2) представляет собой сварной стальной барабан длиной до 185 м и более, диаметром до 5...7 м, футерованный изнутри огнеупорными материалами. Барабан уложен на роликах под углом 3...4° к горизонту и медленно вращается вокруг своей оси. Благодаря этому сырьевая смесь, загруженная в верхнюю часть печи, постепенно перемещается к нижнему концу, куда вдувают топливо, продукты горения которого просасываются навстречу сырьевой смеси и обжигают ее. Характер процессов, протекающих при обжиге сырьевой смеси, приготовленной по сухому и мокрому способам, по существу, одинаков и определяется температурой и временем нагревания материала в печи. Рассмотрим эти процессы.

● В *зоне сушки* поступающая в верхний конец печи сырьевая смесь встречается с горячими газами и постепенно при повышении температуры с 70 до 200 °С (зона сушки) подсушивается, превращаясь в комья, которые при перекачивании распадаются на более мелкие гранулы. По мере перемещения сырьевой смеси вдоль печи происходит дальнейшее постепенное ее нагревание, сопровождаемое химическими реакциями.

● В *зоне подогрева* при 200...700 °С сгорают находящиеся в сырье органические примеси, удаляется химически связанная вода из глинистых минералов и образуется безводный каолинит  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Подготовительные зоны (сушки и подогрева) при мокром способе производства занимают 50...60 % длины печи, при сухом же способе подготовки сырья длина печи сокращается за счет зоны сушки.

● В *зоне декарбонизации* при температуре 700...1100 °С происходит процесс диссоциации карбонатов кальция и магния на  $CaO$ ,  $MgO$  и  $CO_2$ , алюмосиликаты

глины распадаются на отдельные оксиды  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$  с сильно разрыхленной структурой. Термическая диссоциация  $CaCO_3$  — это эндотермический процесс, идущий с большим поглощением теплоты (1780 кДж на 1 кг  $CaCO_3$ ), поэтому потребление теплоты в третьей зоне печи наибольшее. В этой же зоне оксид кальция в твердом состоянии вступает в реакцию с продуктами распада глины с образованием низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция ( $2CaO \cdot SiO_2$ ,  $CaO \cdot Al_2O_3$ ,  $2CaO \cdot Fe_2O_3$ ).

● В *зоне экзотермических реакций* обжигаемая масса, передвигаясь, быстро нагревается от 1100 до 1300 °С, при этом образуются более основные соединения: трехкальциевый алюминат  $3CaO \cdot Al_2O_3$  ( $C_3A$ ), четырехкальциевый алюмоферрит  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$  ( $C_4AF$ ), но часть оксида кальция еще остается в свободном виде. Обжигаемый материал агрегируется в гранулы.

● В *зоне спекания* при 1300...1450 °С обжигаемая смесь частично расплавляется. В расплав переходят  $C_3A$ ,  $C_4AF$ ,  $MgO$  и все легкоплавкие примеси сырьевой смеси. По мере появления расплава в нем растворяются  $C_2S$  и  $CaO$  и, вступая во взаимодействие друг с другом, образуют основной минерал клинкера — трехкальциевый силикат  $3CaO \cdot SiO_2$  ( $C_3S$ ), который плохо растворяется в расплаве и вследствие этого выделяется из расплава в виде мелких кристаллов, а обжигаемый материал спекается в кусочки размером 4...25 мм, называемые клинкером.

● В *зоне охлаждения* (заключительная стадия обжига) температура клинкера понижается с 1300 до 1000 °С, происходит окончательная фиксация его структуры и состава, включающего  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$ , стекловидную фазу и второстепенные составляющие.

По выходе из печи клинкер необходимо быстро охладить в специальных холодильниках, чтобы предотвратить образование в нем крупных кристаллов и сохранить в незакристаллизованном виде стекловидную фазу. Без быстрого охлаждения клинкера получится цемент с пониженной реакционной способностью по отношению к воде.

После выдержки на складе (1...2 недели) клинкер превращают в цемент путем помола его в тонкий порошок, добавляя небольшое количество двуводного гипса. Готовый портландцемент направляют для хранения в силосы и далее на строительные объекты.

Сухой способ производства цемента значительно усо-

вершенствован. Наиболее энергоемкий процесс — декарбонизация сырья — вынесен из вращающейся печи в специальное устройство — декарбонизатор, в котором он протекает быстрее и с использованием теплоты отходящих газов (рис. 5.3). По этой технологии сырьевая мука сначала поступает не в печь, а в систему циклонных теплообменников, где нагревается отходящими газами и уже горячей подается в декарбонизатор. В декарбонизаторе сжигают примерно 50 % топлива, что позволяет почти

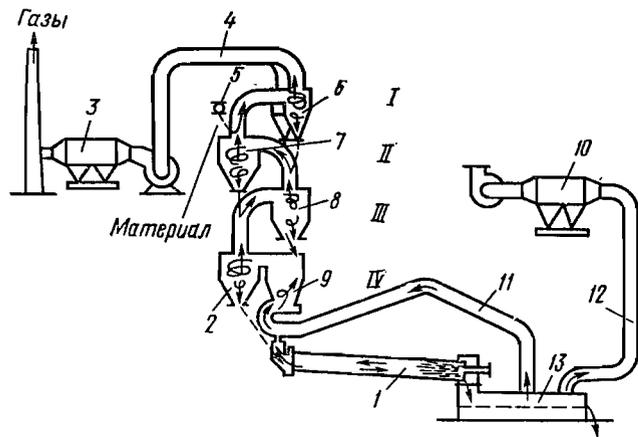


Рис. 5.3. Схема печного агрегата для обжига клинкера с циклонным теплообменником и кальцинатором (декарбонизатором):

1 — вращающаяся печь; 2, 6, 7, 8 — циклоны теплообменника I—IV ступеней; 3 — электрофильтр; 4 — отходящие газы; 5 — подача сырьевой смеси; 9 — декарбонизатор; 10 — электрофильтр; 11 — вторичный воздух из холодильника; 12 — воздух из холодильника; 13 — холодильник клинкера

полностью завершить разложение  $\text{CaCO}_3$ . Подготовленная таким образом сырьевая мука подается в печь, где сжигается оставшая часть топлива и происходит образование клинкера. Это позволяет повысить производительность технологических линий, снизить топливно-энергетические ресурсы, примерно вдвое сократить длину вращающейся печи, соответственно улучшить компоновку завода и занимаемой им земельной территории.

В СССР создана низкотемпературная солевая технология производства цемента, базирующаяся на открытии советских ученых. Сущность открытия заключается в установлении нового явления — образования высокооснов-

ного силиката кальция — алинита, близкого по составу к алиту в области температур 900...1100 °С, т. е. значительно ниже температур кристаллизации трехкальциевых силикатов — алитов. Алинит, являющийся основной вяжущей фазой портландцементных клинкеров нового типа, обуславливает их высокую гидравлическую активность. Вхождение анионов хлора в структуру является обязательным условием образования алинита и клинкеров нового типа. Введение в шихту, например, 10...12 %  $\text{CaCl}_2$  сопровождается образованием хлоркальциевого расплава при чрезвычайно низких температурах (600...800 °С), что смещает все основные реакции образования минералов в область температур 1000...1100 °С и позволяет получать клинкер при пониженных температурах.

Внедрение новой технологии позволит сократить удельные расходы топлива, резко повысить производительность печей и помольного оборудования.

#### ■ Состав.

Портландцементный клинкер состоит из ряда искусственных минералов, образовавшихся при обжиге.

Ориентировочное содержание основных четырех минералов в портландцементном клинкере составляет (% по массе): алит  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_3\text{S})$  — 40...65, белит  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 (\text{C}_2\text{S})$  — 15...40, целит  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{C}_3\text{A})$  — 5...15, целит  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{C}_4\text{AF})$  — 10...20.

Исследования цементного клинкера под микроскопом показывают, что в нем преобладают кристаллы алита и белита\*, между которыми размещается промежуточное вещество, состоящее из алюминатов и алюмоферритов кальция в кристаллической форме, а также незакристаллизованного стекла и оставшихся в свободном состоянии  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ .

● Трехкальциевый силикат (алит) — главный минерал цементного клинкера — обладает большой активностью в реакции с водой, особенно в начальные сроки (величина тепловыделения к 3 сут достигает примерно  $\frac{2}{3}$  от тепловыделения при полной гидратации). Алит быстро твердеет и набирает высокую прочность.

● Двухкальциевый силикат (белит) значительно менее активен, чем алит. Тепловыделение белита при полной гидратации примерно в 2 раза меньше, чем у алита,

\* В отличие от химически чистых соединений  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$  алитом и белитом называют клинкерные минералы, представляющие собой твердые растворы этих соединений с небольшим количеством (2...4 %)  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и других оксидов.

и к 3 сут составляет около 10 % от тепловыделения при полной гидратации. Твердение белита происходит медленно. К месячному сроку продукт его твердения обладает сравнительно невысокой прочностью, но при длительном твердении (несколько лет) в благоприятных условиях (при положительной температуре и влажной среде) его прочность неуклонно возрастает.

● **Трехкальциевый алюминат** — самый активный клинкерный минерал, отличающийся быстрым взаимодействием с водой. Его тепловыделение при полной гидратации почти в 2 раза больше, чем у алита, а за 3 сут составляет не менее 80 % от общего тепловыделения. Однако продукт его твердения имеет повышенную пористость, низкие прочность и долговечность. Быстрое твердение  $C_3A$  вызывает раннее структурообразование в цементном тесте и сильно ускоряет сроки схватывания (всего до нескольких минут). Если не ввести добавку гипса, то получается цемент «быстряк», бетонные смеси на котором из-за преждевременного схватывания не успевают хорошо перемешать и уложить в форму.

● **Четырехкальциевый алюмоферрит** характеризуется умеренным тепловыделением и по скорости твердения занимает промежуточное положение между трехкальциевым и двухкальциевым силикатами. Прочность продуктов его гидратации в ранние сроки ниже, чем у алита, и несколько выше, чем у белита.

Располагая данными о минеральном составе клинкера и зная свойства клинкерных минералов, можно заранее предопределить основные свойства цемента и особенности его твердения в различных условиях эксплуатации.

● Нежелательными составными частями клинкера являются *свободные оксиды кальция и магния*. Их вредное влияние проявляется в том, что они гидратируются очень медленно в уже затвердевшем цементе (см. с. 133). Содержание свободных  $CaO$  и  $MgO$  в клинкере допускается соответственно не более 1 и 5 %.

● В клинкере могут быть также *щелочные оксиды*  $Na_2O$  и  $K_2O$ , перешедшие в него из сырьевых материалов и золы твердого топлива. Их вредное влияние может проявиться в тех случаях, когда бетон изготовлен на заполнителях, содержащих опаловидный кремнезем. Щелочи, реагируя с диоксидом кремния, образуют в водной среде водорастворимые силикаты калия и натрия с увеличением объема, что вызывает растрескивание бетона. Содержа-

жание  $Na_2O$  и  $K_2O$  в цементах для таких бетонов ограничивается до 0,6 %.

#### ■ Твердение.

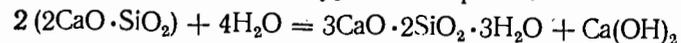
Превращение цементного теста в камневидное тело обусловлено сложными химическими и физико-химическими процессами взаимодействия клинкерных минералов с водой, в результате которых образуются новые гидратные соединения, практически нерастворимые в воде.

Процесс гидролиза и гидратации трехкальциевого силиката выражается уравнением:



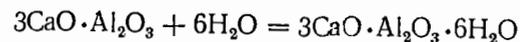
В результате образуется практически нерастворимый в воде гидросиликат кальция и гидроксид кальция, который частично растворим в воде.

Двухкальциевый силикат гидратируется медленнее  $C_3S$  и при его взаимодействии с водой выделяется меньше  $Ca(OH)_2$ , что видно из уравнения реакции:



Молярное соотношение  $CaO : SiO_2$  в гидросиликатах, образующихся в цементном тесте, может изменяться в зависимости от состава материала, условий твердения и других обстоятельств. Поэтому применяется термин С-С-Н для всех полукристаллических и аморфных гидратов кальциевых силикатов. Гидросиликаты кальция низкой основности, имеющие состав  $(0,8...1,5)CaO \cdot SiO_2 \cdot (1...2,5)H_2O$ , обозначаются (по Тейлору) формулой С-С-Н(I), гидросиликаты высокой основности  $(1,5...2)CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$  — формулой С-С-Н(II). Образование низкоосновных гидросиликатов кальция повышает прочность цементного камня; при возникновении высокоосновных гидросиликатов его прочность меньше. При определенных условиях, например при автоклавной обработке, образуется тоберморит  $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$ , характеризующийся хорошо оформленными кристаллами, которые упрочняют цементный камень.

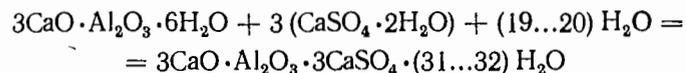
Взаимодействие трехкальциевого алюмината с водой приводит к образованию гидроалюмината кальция:



Реакция протекает с большой скоростью. Образующийся шестиводный трехкальциевый алюминат создает непрочную рыхлую кристаллизационную структуру и вызывает быстрое снижение пластических свойств цементного теста.

Замедления сроков схватывания портландцемента достигают введением при помеле небольшой добавки двуводного гипса. В результате химического взаимодействия трехкальциевого гидроалюмината с введенным

гипсом и водой образуется труднорастворимый гидросульфоалюминат кальция (эттрингит) по схеме:

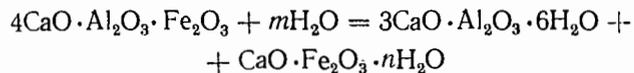


В насыщенном растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  эттрингит сначала выделяется в коллоидном тонкодисперсном состоянии, осаждаясь на поверхности частиц  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , замедляет их гидратацию и продлевает схватывание цемента.

Таким образом, на некоторое время, пока не израсходуется весь находящийся в растворе гипс (обычно 1...2 ч), предотвращается появление свободного гидроалюмината кальция и преждевременное загустевание цементного теста.

При правильной дозировке гипса он является не только регулятором сроков схватывания портландцемента, но и улучшает свойства цементного камня. Это связано с тем, что кристаллизация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из пересыщенного раствора понижает концентрацию гидроксида кальция в растворе и эттрингит уже образуется в виде длинных иглоподобных кристаллов. Кристаллы эттрингита и обуславливают раннюю прочность затвердевшего цемента. Кроме того, объем гидросульфалюмината кальция более чем в 2 раза превышает объем исходных продуктов реакции. Так как такое увеличение объема происходит в еще не затвердевшем цементном тесте, то оно уплотняется, что способствует повышению прочности и морозостойкости цементного камня.

Четырехкальциевый алюмоферрит при действии воды гидролитически расщепляется с образованием шестиводного трехкальциевого алюмината и гидроферрита кальция по схеме:



Однокальциевый гидроферрит, взаимодействуя с гидроксидом кальция, который образовался при гидролизе  $\text{C}_3\text{S}$ , переходит в более основный гидроферрит кальция  $3(4)\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Гидроалюминат связывается добавкой гипса, как указано выше, а гидроферрит входит в состав цементного геля.

При твердении цемента на воздухе рассмотренные выше реакции дополняются карбонизацией гидроксида кальция, протекающей на поверхности цементного камня.

Описанные химические превращения протекают параллельно с физико-химическими процессами микроструктурообразования, выражающимися в процессах молекулярного и коллоидного растворения, коллоидации и кристаллизации. В своей совокупности эти процессы приводят к превращению цемента при затворении водой сначала в пластичное тесто, а затем в прочный затвердевший камень. Ввиду сложности и недостаточной изученности указанных физико-химических процессов существует различное теоретическое толкование об их характере и последовательности. Как уже отмечалось, полнее других сущность твердения портландцемента и других неорганических вяжущих веществ была раскрыта в теории твердения этих вяжущих, выдвинутой А. А. Байковым и развитой затем другими советскими учеными — В. А. Киндом, В. Н. Юнгом, В. Ф. Журавлевым, П. П. Будниковым, П. А. Ребиндером, Н. А. Тороповым, А. Е. Шейкиным, А. В. Волженским и др.

В соответствии с этой теорией можно выделить три периода.

● В *первом периоде* происходит растворение клинкерных минералов с поверхности цементных зерен до образования насыщенного раствора, в котором начинают возникать первичные зародыши новых фаз ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , эттрингита и иглы геля C-S-H).

● Во *втором периоде* в насыщенном растворе идут реакции гидратации клинкерных минералов в твердом состоянии (топохимически), т. е. происходит прямое присоединение воды к твердой фазе вяжущего без предварительного его растворения. Образующиеся гидросиликат и гидроферрит кальция почти нерастворимы в воде и выделяются в коллоидном состоянии на поверхности цементных частиц. Гидроксид кальция и трехкальциевый гидроалюминат, обладая небольшой растворимостью, быстро образуют насыщенный, а в дальнейшем и пересыщенный раствор. Поэтому при продолжающейся химической реакции новые порции гидроксида кальция и трехкальциевого гидроалюмината также выделяются в коллоидном состоянии. В результате вокруг поверхности цементных зерен образуется оболочка коллоидного геля (студня), обладающего клеящим свойством. Через некоторое время цементные зерна оказываются в контакте друг с другом через такие оболочки, образуя так называемую коагуляционную структуру цементного теста. При этом цемент-

ное тесто начинает густеть и теряет пластичность — оно схватывается.

● Характерной особенностью коагуляционной структуры цементного теста является ее *тиксотропность*, т. е. *способность обратимо разрушаться (разжижаться) при механических воздействиях* (перемешивание, встряхивание и т. д.).

● В *третьем периоде* происходит переход некоторой части новообразований в кристаллическое состояние с последующим ростом отдельных кристалликов и образованием кристаллических сростков (формируется кристаллизационная структурная сетка). Быстрее других кристаллизуются трехкальциевый гидроалюминат и гидроксид кальция. Их микрокристаллы пронизывают гель и, срастаясь между собой, повышают прочность цементного камня. Одновременно гель, состоящий теперь главным образом из гидросиликата и гидроферрита кальция, уплотняется в результате отсоса воды внутрь цементных зерен на дальнейшую гидратацию, а при твердении цемента на воздухе — и за счет ее испарения. Частицы геля гидросиликата, имеющие первоначально игольчатую форму, продолжая расти, ветвятся, становятся древовидными, что является одной из причин соединения частиц геля гидросиликата в агрегаты, имеющие характерную форму «снопов пшеницы» или в виде плотно агломерированных листков. Тонкие слои геля получают и между кристаллами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , образуя с ними сросток, упрочняющий цементное тесто. Эти процессы идут медленно и обуславливают длительный рост прочности цементного камня.

#### ■ Структура.

Образовавшийся цементный камень представляет собой микроскопически неоднородную дисперсную систему, образно названную В. Н. Юнгом «*микробетоном*». Заполняющая часть в нем представлена цементными зернами, еще не вступившими в реакции, а вяжущая — гелеобразными и кристаллическими новообразованиями. От соотношения гелеобразных и кристаллических фаз в цементном камне, обладающих различными физико-химическими свойствами, их дисперсности зависят основные свойства цементного камня: деформативность, стойкость при попеременном замораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании и др. Поэтому путем рационального подбора минерального состава клинкера и условий твердения можно получить структуру цементного

каменя, удовлетворяющую конкретным эксплуатационным условиям.

Существенным элементом структуры цементного камня являются поры: поры геля (менее 0,1 мкм); капиллярные поры (от 0,1 до 10 мкм), расположенные между агрегатами частиц геля; воздушные поры (от 50 мкм до 2 мм), образованные вовлеченным воздухом вследствие контракции, либо при добавлении специальных воздухововлекающих веществ, повышающих морозостойкость.

● *Контракция* (стяжение) — это явление уменьшения абсолютного объема системы (цемент+вода) в процессе гидратации.

В формировании пор цементного камня активным элементом является вода и ее связь с твердой фазой. П. А. Ребиндер выделяет три формы связи воды в цементном камне по принципу интенсивности энергии связи: *химическая связь* является наиболее сильной; *физико-химическая связь* характерна для адсорбционно связанной воды, находящейся в порах цементного геля; *физико-механическая связь* — в данном случае капиллярное давление — обуславливает удержание воды в капиллярных порах цементного камня. Адсорбционно связанная и капиллярная вода, удаляемая при высушивании, называется еще испаряемой, а химически связанная, удаляемая при прокаливании, — не испаряемой.

Количество воды, необходимое для полной гидратации цемента, составляет 24...26 % от массы портландцемента, а по условиям получения пластичного цементного теста требуется воды значительно больше (40...60 %). Испаряемая вода на разных этапах твердения постепенно уходит из цементного камня. Поэтому часть объема цементного камня (иногда до 25...35 %) приходится на поры и капилляры, оставленные водой, что отрицательно сказывается на прочности и морозостойкости камня.

Количество новообразований прямо пропорционально *степени гидратации цемента*  $\alpha$ , численно равной отношению прореагировавшей с водой части цемента к общей массе цемента. Степень гидратации может определяться количественным рентгеновским методом или по содержанию связанной воды  $w$ , не испаряемой при высушивании:  $\alpha = w/w_{\text{max}}$ .

Количество связанной воды при полной гидратации портландцемента  $w_{\text{max}}$  колеблется от 0,25 до 0,3 (массы цемента); при  $w_{\text{max}} = 0,25$   $\alpha = 4w$  или  $w = 0,25\alpha$ . Например, если в 28-суточном возрасте цемент связал 15 % воды (считая от массы цемента), то  $\alpha = 4 \cdot 0,15 =$

=0,6, т. е. 60 % вяжущего вступило во взаимодействие с водой, а 40 % еще сохранилось в виде клинкерного фонда. Вообще же  $\alpha = 0 \dots 1$  (при полной гидратации цемента).

При увеличении степени гидратации цемента возрастает объем новообразований и уменьшается пористость цементного камня, при этом повышаются прочность и долговечность бетона. Совершенствуя технологию бетона, нужно добиваться наиболее полного использования вяжущего, что эквивалентно его экономии.

Скорость химических реакций, протекающих при твердении цемента, а также полнота использования цемента и его прочность увеличиваются при повышении тонкости помола цемента.

Для непрерывного повышения прочности цементного камня необходима влажная теплая среда. Твердение практически прекращается, если цементный камень будет находиться в сухой среде или при отрицательной температуре. Замерзший камень после оттаивания способен к дальнейшему твердению, но в этом случае не всегда может быть достигнута такая же прочность, как при твердении в нормальных условиях.

Производственные требования часто вызывают необходимость регулировать процесс формирования структуры цементного камня и бетона, ускорять или замедлять его.

Помимо выбора цемента надлежащего минерального состава и тонкости помола ускорение твердения бетона достигают тепловлажностной обработкой (пропариванием, автоклавной обработкой), введением специальных добавок и их сочетанием (см. гл. 6).

#### ■ Свойства.

К основным свойствам портландцемента (ГОСТ 10178—85) относятся тонкость помола, водопотребность, сроки схватывания, равномерность изменения объема и прочность (марка) цемента. При необходимости оценивают и другие свойства: плотность и насыпную плотность, тепловыделение, стойкость в различных условиях среды и т. п.

● *Тонкость помола* — один из факторов, определяющих быстроту твердения и прочность цементного камня. Обычный портландцемент измельчают довольно тонко — остаток на сите № 008 (4900 отв/см<sup>2</sup>) не должен превышать 15 %, что соответствует удельной поверхности цемента 2500...3000 см<sup>2</sup>/г.

● *Водопотребность портландцемента* характеризуется

количеством воды (% массы цемента), которое необходимо для получения цементного теста нормальной густоты, т. е. заранее заданной стандартной пластичности, определяемой погружением в тесто цилиндра пестика прибора Вика. Водопотребность зависит от минерального состава и тонкости помола цемента и колеблется в пределах 22...26 %.

● *Сроки схватывания и равномерность изменения объема* цемента определяют на тесте нормальной густоты. Начало схватывания цементного теста должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания — не позднее 10 ч. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы этого прибора в тесто нормальной густоты. Для получения нормальных сроков схватывания при помоле клинкера вводят добавку двуводного гипса, а в случае необходимости — специальные добавки — замедлители или ускорители схватывания.

Процесс твердения цементного камня сопровождается объемными деформациями: набуханием при твердении в воде, усадкой при твердении на воздухе. Эти неизбежные изменения объема учитываются в производстве строительных работ, предусматривая устройство усадочных швов. Неравномерное изменение объема цементного камня при твердении связано с наличием в клинкере свободных оксидов кальция и магния, которые при гидратации расширяются, вызывая местные деформации. По стандарту равномерность изменения объема определяют в образцах-лепешках, изготовленных из теста нормальной густоты, которые через 24 ч предварительного твердения кипятят 3 ч в воде. Лепешки не должны деформироваться, на них не допускаются радиальные трещины. Цемент, не обладающий равномерностью изменения объема, нельзя применять в строительстве.

● *Прочность портландцемента* является главным свойством, характеризующим его качество. В зависимости от предела прочности при сжатии и с учетом предела прочности при изгибе стандартных образцов-балочек через 28 сут твердения портландцемент разделяют на марки: 400, 500, 550, 600 (табл. 5.1).

● *Фактическую прочность, полученную при испытании на осевое сжатие половинок указанных образцов, называют активностью цемента.*

Прочность цемента при нормальных условиях твердения наиболее интенсивно нарастает в первые 7 сут твердения. Уже к 3 сут она составляет 30...35 %, а к 7 сут—

Таблица 5.1. Требования к маркам портландцемента

Марка цемента	Предел прочности, МПа	
	при изгибе	при сжатии
400	5,4	39,2
500	5,9	49,0
550	6,1	53,9
600	6,4	58,8

60...70 % от марки цемента. В дальнейшем рост прочности замедляется, но продолжается длительное время (месяцы, годы), следуя зависимости, близкой к логарифмической.

● **Тепловыделение при твердении цемента** зависит от минерального состава и тонкости измельчения цемента и составляет через 7 сут твердения 168...335 кДж/кг цемента. При полной гидратации 1 кг  $C_3A$  выделяет 1090 кДж,  $C_3S$  — 670 кДж,  $C_4AF$  — 570 кДж и  $C_2S$  — 353 кДж теплоты. При изготовлении тонких бетонных конструкций теплота гидратации быстро рассеивается и не вызывает существенного разогрева бетона. При возведении массивных бетонных конструкций (плотины, фундаменты, толстые стены и т. д.) возможно повышение температуры до 50 °С и более, что может вызвать значительные перепады температур в наружных и внутренних зонах, возникновение температурных напряжений, которые нередко являются причиной появления трещин в бетоне. В некоторых случаях, например при бетонировании конструкций в холодное время, повышенное тепловыделение играет положительную роль, способствуя поддержанию положительной температуры бетона.

■ **Стойкость затвердевшего цемента.**

Разрушение цементного камня может происходить под влиянием физических факторов (насыщение водой, попеременное замораживание и оттаивание, увлажнение и высыхание и т. п.), а также при химическом взаимодействии компонентов камня с агрессивными веществами, содержащимися в окружающей среде.

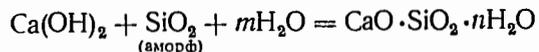
● **Морозостойкость цементного камня** зависит от минерального состава клинкера, тонкости помола цемента и водопотребности, необходимой для получения удобоукладываемой смеси. Среди минералов клинкера наименее морозостойким является  $C_3A$ , максимально допустимое содержание которого в цементах для морозостойких

бетонов должно составлять не более 5...8 %. Тонкость помола может быть в пределах от 3000 до 4000 см<sup>2</sup>/г, при этом важное значение имеет наличие в цементе наряду с тонкими фракциями относительно крупных зерен, которые обеспечивают «клинкерный фонд» для самозалечивания дефектов, возникающих при попеременных воздействиях среды. Увеличение водопотребности цемента снижает морозостойкость цементного камня, так как при этом повышается его капиллярная пористость (вода в порах геля не переходит в лед даже при сильных морозах). Поэтому в морозостойких бетонах значение В/Ц принимают не более 0,4...0,55.

● **Химическая стойкость цементного камня** связана со скоростью и глубиной коррозионных процессов, вызываемых воздействием агрессивных газов и жидкостей на его составные части, главным образом на  $Ca(OH)_2$  и  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ . Исследования, проведенные советскими учеными (А. А. Байковым, В. В. Киндом, В. Н. Юнгом, С. Д. Огороковым, В. М. Москвиным и др.), позволили установить сущность коррозии цементного камня и рекомендовать методы борьбы с ней. В. М. Москвин разделил коррозионные процессы, возникающие в цементном камне, на три вида.

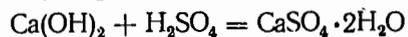
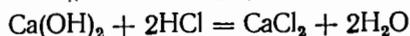
● **Коррозия первого вида** — разрушение цементного камня в результате растворения и вымывания некоторых его составных частей (коррозия выщелачивания). При действии воды на цементный камень вначале растворяется и уносится водой свободный гидроксид кальция, образовавшийся при гидролизе  $C_3S$  и  $C_2S$ , содержание которого в цементном камне через 1...3 мес твердения достигает 10...15 %, а растворимость при обычных температурах — 1,3 г/л. После вымывания свободного гидроксида кальция и снижения его концентрации ниже 1,1 г/л начинается разложение гидросиликатов, а затем гидроалюминатов и гидроферритов кальция. В результате выщелачивания повышается пористость цементного камня и снижается его прочность. Процесс коррозии первого вида ускоряется, если на цементный камень действует мягкая вода или вода под напором. Одной из мер ослабления коррозии выщелачивания является применение цемента с умеренным содержанием  $C_3S$  и выдерживание бетонных изделий на воздухе для того, чтобы на их поверхности прошел процесс карбонизации и образовалась малорастворимая корка из  $CaCO_3$ . Главным же средством борьбы с выщелачиванием гидроксида кальция яв-

ляется применение плотного бетона и введение в цемент активных минеральных добавок, связывающих  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в малорастворимое соединение — гидросиликат кальция:



● *Коррозия второго вида* происходит при действии на цементный камень агрессивных веществ, которые, вступая во взаимодействие с составными частями цементного камня, образуют либо легкорастворимые и вымываемые водой соли, либо аморфные массы, не обладающие связующими свойствами (кислотная, магниальная коррозия, коррозия под влиянием некоторых органических веществ и т. п.).

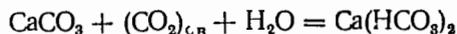
● *Кислотная коррозия* возникает при действии растворов любых кислот, за исключением поликремниевой и кремнефтористоводородной. Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, образуя растворимые соли (например,  $\text{CaCl}_2$ ) и соли, увеличивающиеся в объеме ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ):



Под действием кислот могут разрушаться также и гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, превращаясь в кальциевые соли и аморфные бесвязанные массы  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{OH})_3$ .

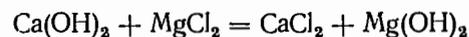
От слабой кислотной коррозии ( $\text{pH} = 4 \dots 6$ ) бетоны защищают кислотостойкими материалами (окраской, пленочной изоляцией и т. п.). При сильной кислотной коррозии ( $\text{pH} < 4$ ) вместо обычного бетона на портландцементе используют бетон на кислотоупорном цементе и кислотостойких заполнителях или бетон на основе полимерных связующих.

● *Углекислотная коррозия* является разновидностью общекислотной коррозии. Она развивается при действии на цементный камень воды, содержащей свободный диоксид углерода в виде слабой угольной кислоты сверх равновесного количества. Избыточная (агрессивная) углекислота разрушает ранее образовавшуюся карбонатную пленку вследствие образования хорошо растворимого бикарбоната кальция:



● *Магниальная коррозия* наступает при воздействии

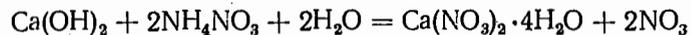
на гидроксид кальция растворов магниальных солей, которые встречаются в грунтовой, морской и других водах. Наиболее характерные реакции для этого вида коррозии проходят по следующей схеме:



Хлорид кальция и двуводный сульфат кальция хорошо растворимы в воде и вымываются из цементного камня. К тому же двуводный сульфат кальция возникает с увеличением объема, что ускоряет появление трещин в бетоне, а также коррозию третьего вида (см. далее). Гидроксид магния малорастворим в воде, но выпадает в осадок в виде рыхлой аморфной массы, не обладающей связностью, которая также легко вымывается из бетона. Меры защиты от магниальной коррозии те же, что и при коррозии первого вида.

● *Коррозия под действием органических кислот*, как и неорганических, быстро разрушает цементный камень. Вредное влияние оказывают и масла, содержащие кислоты жирного ряда (льняное, хлопковое, рыбий жир и т. п.). Нефть, нефтяные продукты (керосин, бензин, мазут, нефтяные масла) не опасны для цементного бетона, если в них нет остатков кислот, но они легко проникают через бетон. Продукты разгонки каменноугольного дегтя, содержащие фенолы, оказывают агрессивное воздействие на бетон.

● *Коррозия возникает и под действием минеральных удобрений*, особенно аммиачных (аммиачная селитра и сульфат аммония). Аммиачная селитра, состоящая в основном из  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , действует на гидроксид кальция:

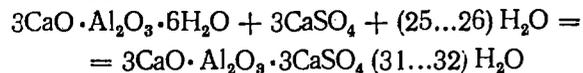


Образующийся нитрат кальция хорошо растворяется в воде и вымывается из бетона. Из фосфорных удобрений агрессивен суперфосфат, состоящий в основном из  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , гипса и содержащий небольшое количество свободной фосфорной кислоты.

● *Коррозия третьего вида* объединяет процессы, при которых компоненты цементного камня, вступая во взаимодействие с агрессивной средой, образуют соединения, занимающие больший объем, чем исходные продукты реакции. Это вызывает появление внутренних напряжений в бетоне и его растрескивание. Характерной коррозией этого вида является *сульфатная коррозия*. Сульфаты,

часто содержащиеся в природной и промышленных водах, вступают в обменную реакцию с гидроксидом кальция, образуя гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Разрушение цементного камня в этом случае вызывается кристаллизационным давлением кристаллов двуводного гипса (гипсовая коррозия). Такая коррозия происходит при значительных концентрациях сульфатов в воде.

● *Сульфатоалюминатная коррозия* возникает вследствие взаимодействия гипса с гидроалюминатом цементного камня по уравнению:



Образование в порах цементного камня малорастворимого трехсульфатного гидросульфатоалюмината кальция (этtringита) сопровождается увеличением объема твердой фазы примерно в 2 раза. Вследствие разрушающего действия на цементный камень и внешнее сходство кристаллов гидросульфатоалюмината (в виде игл) с некоторыми бактериями его иногда называют «цементной бактерией».

Для предотвращения сульфатной коррозии используют плотные бетоны на специальном сульфатостойком портландцементе или других сульфатостойких цементах.

● *Коррозия под действием концентрированных растворов щелочей*, особенно при последующем высыхании, возникает в результате образования соединений, кристаллизующихся с увеличением в объеме (например, соды или поташа при насыщении бетона едким натром или едким кали). В слабощелочной среде цементный камень не подвергается коррозии.

Защита бетона и других материалов от коррозии вызывает большие расходы. Например, при строительстве химических заводов на антикоррозионную защиту зданий и аппаратов расходуется около 10...15 % от общей стоимости строительства. Поэтому при строительстве зданий и сооружений необходимо прежде всего определить характер возможного действия среды на бетон, а затем разработать и осуществить нужные меры для предотвращения коррозии, которые в общем виде сводятся к следующему: 1) правильный выбор цемента, 2) изготовление особо плотного бетона, 3) применение защитных покрытий.

#### ■ Применение.

Изделия и конструкции, изготовленные с использова-

нием портландцемента, широко используют в надземных, подземных и подводных условиях. Его применяют для изготовления монолитного и сборного бетона и железобетона в жилищном, промышленном, гидротехническом, дорожном строительстве и т. д. На нем изготовляют тяжелые и легкие бетоны, ячеистые бетоны, строительные растворы высоких марок, теплоизоляционные материалы и т. д. Портландцемент не следует применять для конструкций, подвергающихся воздействию морской, минерализованной и даже пресной воды проточной или под сильным напором. В этих случаях рекомендуется использовать цементы специальных видов (сульфатостойкие, цементы с добавками).

Портландцемент, являющийся высококачественным и дефицитным материалом, необходимо расходовать экономно, заменяя его, где это технически возможно, более дешевыми вяжущими веществами — известью, гипсовыми вяжущими, смешанными цементами.

Хранение портландцемента должно осуществляться в закрытых складах отдельно по видам и маркам, смешивание разных цементов не допускается. При длительном хранении цемента даже в оборудованных складах все же происходит частичная его гидратация, в результате чего цемент теряет активность.

#### *Разновидности портландцемента*

Для более полного удовлетворения специфических требований отдельных видов строительства промышленность выпускает особые виды портландцемента.

При получении портландцементов с заданными специальными свойствами используют следующие основные пути: 1) регулирование минерального состава и структуры цементного клинкера, оказывающих решающее влияние на строительно-технические свойства цемента; 2) регулирование тонкости помола и зернового состава цемента, влияющих на скорость твердения, прочность, тепловыделение и другие важнейшие свойства вяжущего; 3) изменение вещественного состава портландцемента введением в него активных минеральных и органических добавок, позволяющих направленно изменять свойства вяжущего, экономить клинкер и расход цемента в бетоне.

● *Быстротвердеющий портландцемент* (БТЦ) отличается от обычного более интенсивным набором прочности в первые 3 сут. В соответствии с требованиями ГОСТ

10178—85 БТЦ М400 должен иметь через 3 сут твердения в нормальных условиях предел прочности при сжатии не менее 24,5 МПа, а БТЦ М500 — не менее 27,5 МПа. В дальнейшем рост прочности замедляется и к 28 сут прочность БТЦ такая же, как обычного портландцемента М400 и 500.

Быстрое твердение БТЦ достигается повышенным содержанием в клинкере активных минералов (содержание  $C_3S + C_3A$  составляет 60...65 %) и более тонкого помола цемента (удельная поверхность 3500...4000  $см^2/г$ ).

При помоле БТЦ допускается введение активных минеральных добавок осадочного происхождения (не более 10 %) или доменных гранулированных шлаков (до 20 % от массы цемента).

● Разновидностью быстротвердеющего цемента является *особо быстротвердеющий портландцемент* (ОБТЦ), который характеризуется не только большой скоростью твердения в начальный период, но и высокой маркой (М600...700). Его изготавливают тонким измельчением клинкера, содержащего  $C_3S$  65...68 % и  $C_3A$  не более 8 %, совместно с добавкой гипса, до удельной поверхности 4000...4500  $см^2/г$  и более. Введение минеральных добавок не допускается.

● Разработан также *сверхбыстротвердеющий цемент* (СБТЦ) специального минерального состава, который обеспечивает интенсивное нарастание прочности уже в первые сутки его твердения (через 6 ч — 10 МПа).

Интенсивность роста прочности бетона на быстротвердеющих цементах возрастает в условиях тепловлажностной обработки изделий при температуре 70...80 °С. При этом через 4...6 ч удается получить изделия с прочностью, соответствующей 70...80 % 28-суточной.

Быстротвердеющие портландцементы целесообразно применять при массовом производстве сборных железобетонных изделий, а также при зимних бетонных работах. Их применение дает возможность сократить расход цемента, длительность тепловлажностной обработки или даже отказаться от нее, тем самым увеличить оборот форм и сэкономить металл. Нельзя применять такие цементы для бетонов массивных конструкций и подвергающихся сульфаталюминатной коррозии.

● *Сульфатостойкий портландцемент* (СПЦ) отличается от обычного портландцемента не только более высокой стойкостью к сульфатной коррозии, но и пониженной экзотермией при твердении и повышенной морозо-

стойкостью. Клинкер для изготовления СПЦ должен содержать не более 50 %  $C_3S$ , не выше 5 %  $C_3A$  и не более 22 %  $C_3A + C_4AF$ . Сульфатостойкий портландцемент выпускают М400. Его целесообразно применять в тех случаях, когда одновременно требуется высокая стойкость против воздействия сульфатных вод и попеременного замораживания и оттаивания, высыхания и увлажнения в пресной или слабоминерализованной воде.

● *Белый и цветные портландцементы* — это декоративные вяжущие материалы, использование которых в строительстве позволяет улучшить эстетический вид зданий и сооружений при меньших затратах, чем с другими отделочными материалами.

Белый портландцемент получают путем измельчения белого клинкера совместно с добавками гипса и белого диатомита (до 6 %). Чтобы получить белый клинкер, необходимо для приготовления сырьевой смеси применять карбонатные породы и глины с ничтожно малым содержанием оксидов железа (до 0,4...0,5 %) и марганца (до 0,005...0,15 %). Для повышения белизны клинкера его подвергают отбеливанию, сущность которого заключается в восстановлении присутствующего в клинкере  $Fe_2O_3$  до  $Fe_3O_4$ , обладающей малой красящей способностью.

Основным показателем качества белого цемента как декоративного материала является степень его белизны. По степени белизны белый портландцемент разделяют на три сорта (первый, второй и третий), а по прочности при сжатии — на М400 и 500.

Цветные цементы изготавливают путем совместного помола белого клинкера и свето- и щелочестойких пигментов или непосредственно из цветного цементного клинкера. Цветные клинкеры, по предложению П. И. Боженова, получают, вводя в сырьевые смеси небольшое количество (0,05...1 %) оксидов некоторых металлов (кобальта — коричневый цвет, хрома — желто-зеленый, марганца — голубой и бархатно-черный и др.).

● *Портландцементы с органическими поверхностно-активными добавками* получают путем совместного помола портландцементного клинкера, гипса и небольшого количества (0,1...0,3 % от массы цемента) добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ). В соответствии с ГОСТ 10178—85 допускается по согласованию с потребителем выпускать не только портландцемент, но все цементы с поверхностно-активными добавками, не выделяя их в особый класс. Основное назначение добавок ПАВ

(см. гл. 6) сводится к повышению пластичности цементного теста, растворных и бетонных смесей при том же содержании в них воды, либо к снижению водопотребности смеси и расхода цемента при сохранении заданной подвижности и проектной прочности бетона. Вместе с тем ПАВ оказывают положительное влияние на формирование структуры цементного камня и способствуют повышению морозостойкости, водонепроницаемости и других свойств бетона, а также повышают производительность мельниц (на 10...15 %) при одновременном снижении расхода электроэнергии.

Поверхностно-активные вещества в зависимости от их влияния на свойства цементов и цементного камня подразделяют на гидрофильно-пластифицирующие, повышающие смачиваемость цементного порошка водой, и гидрофобно-пластифицирующие, понижающие смачиваемость. В соответствии с этим портландцементы с гидрофильными добавками называют пластифицированными, а с гидрофобными добавками — гидрофобными.

● *Пластифицированный портландцемент* получают при помоле клинкера с добавкой гидрофильно-пластифицирующих веществ (0,15...0,25 % массы цемента). В качестве такой добавки используют лигносульфонат технический (ЛСТ), который получают, как отход при сульфитной варке целлюлозы. ЛСТ состоит в основном из лигносульфонатов кальция.

Адсорбируясь на поверхности зерен цемента, лигносульфонат кальция улучшает их смачивание водой. Образующиеся адсорбционно-гидратные слои воды обеспечивают гидродинамическую смазку зерен, уменьшая трение между ними, и одновременно препятствуют их слипанию в хлопья (флокулы), благодаря чему повышается пластичность цементного теста, а следовательно, и бетонной смеси и их устойчивость к расслоению. Другие свойства пластифицированного портландцемента (сроки схватывания, скорость твердения, прочность) примерно те же, что и у обычных портландцементов. Применение пластифицированного портландцемента дает возможность снизить трудоемкость укладки бетонной смеси, уменьшить расход цемента или (при том же расходе цемента и равной подвижности смеси) снизить водоцементное отношение и тем самым увеличить плотность, прочность, морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Этот цемент широко используют в дорожном, аэродромном и гидротехническом строительстве.

● *Гидрофобный портландцемент*, предложенный М. И. Хигеровичем и Б. Г. Скрамтаевым, получают, вводя при помоле клинкера 0,1...0,3 % мылонафта, асидола, окисленного петролатума, синтетических жирных кислот, их кубовых остатков и других гидрофобизирующих поверхностно-активных добавок.

Молекулы гидрофобизирующих веществ имеют асимметрично-полярное строение и состоят из полярной группы (например,  $\text{COOH}$  или  $\text{COONa}$ ) и неполярной (углеводородного радикала). Эти молекулы в процессе помола адсорбируются на поверхности цементных зерен, ориентируясь полярной группой к поверхности цементного зерна, а углеводородным радикалом наружу, придавая цементу гидрофобные (водоотталкивающие) свойства. Поэтому гидрофобный цемент в отличие от обычного портландцемента при длительном хранении даже в очень влажных условиях не комкуется и сохраняет активность. Адсорбированные на поверхности цементных зерен весьма тонкие (практически в одну молекулу) гидрофобные пленки в процессе перемешивания смесей легко снимаются и не препятствуют нормальному течению процессов твердения цемента. Оставаясь в смеси, гидрофобизирующие вещества адсорбируются на поверхности новообразований, оказывая смазывающее действие и уменьшая трение между частицами смеси, вследствие чего повышается ее пластичность и однородность. В затвердевшем цементном камне эти вещества располагаются на поверхности пор и капилляров камня и способствуют уменьшению водопоглощения и капиллярного подсоса. Благодаря указанным свойствам бетоны и растворы на гидрофобном цементе имеют более высокую водо- и морозостойкость и водонепроницаемость, чем бетоны на обычном цементе.

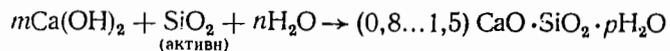
Гидрофобный цемент целесообразно использовать при изготовлении бетонов для гидротехнического, дорожного, аэродромного строительства, а также в случаях, когда цемент необходимо длительно хранить и перевозить на дальние расстояния.

#### *Портландцементы с активными минеральными добавками*

● *Активные минеральные (иначе гидравлические) добавки* могут быть природными и искусственными. К природным активным минеральным добавкам относят неко-

торые осадочные горные породы (диатомит, трепел, опоку, глиежи — естественно обожженные глинистые породы), а также породы вулканического происхождения (вулканический пепел, туф, пемзу, трасс). В качестве *искусственных активных минеральных добавок* используют побочные продукты и отходы промышленности: быстроохлажденные (гранулированные) доменные и электротермофосфорные шлаки, топливные золы и шлаки, нефелиновый шлам (побочный продукт производства глинозема, состоящий на 80 % из двухкальциевого силиката), обожженные при температуре до 800 °С глины (глиниты, цемянка) и др.

В составе минеральных добавок в значительном количестве содержатся химически активные составляющие: аморфный водный диоксид кремния (диатомиты, трепелы и другие осадочные породы); аморфный диоксид кремния и алюмосиликаты (вулканические и искусственные добавки); метакаолинит и активный глинозем (в добавках, содержащих обожженное глинистое вещество — глиниты, глиежи, зола-унос и топливные шлаки). Если такие добавки тонко измельчить, то в присутствии влаги, даже при обычной температуре, они способны взаимодействовать с гидроксидом кальция, находящимся в извести или выделившимся при твердении портландцемента, образуя практически нерастворимые продукты реакции. В простейшем виде этот процесс можно выразить уравнением



В результате воздушная известь приобретает гидравлические свойства, а портландцемент — специальные свойства и более низкую себестоимость.

В зависимости от вида активной минеральной добавки и ее количества портландцементы с минеральными добавками разделены на три вида: портландцемент с минеральными добавками (ПЦД), пуццолановый портландцемент (ППЦ) и шлакопортландцемент (ШПЦ).

● *Портландцемент с минеральными добавками* (ПЦД) получают измельчением клинкера, минеральных добавок и гипса. Предельно допустимое содержание минеральных добавок в цементе (ГОСТ 10178—85) не должно превышать 20 %. При этом практически сохраняются все свойства портландцемента, кроме морозостойкости (она несколько ниже), а некоторые свойства

улучшаются (больше водостойкость, меньше тепловыделение, более высокая сопротивляемость коррозии первого вида). При его получении экономится портландцементный клинкер, что способствует снижению себестоимости цемента. Марки такого цемента те же, что и у портландцемента: 400, 500, 550 и 600. По специальному разрешению допускается на отдельных заводах выпускать ПЦД М300. ПЦД успешно применяют в строительстве вместо портландцемента, за исключением случаев, когда требуется высокая морозостойкость.

● Портландцемент с минеральными добавками имеет разновидности: *быстротвердеющий портландцемент ПЦД-Б* (ГОСТ 10178—85) и *сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками* — СПЦД (ГОСТ 22266—76). Для получения указанных цементов используют клинкер, состав которого аналогичен клинкеру соответственно быстротвердеющего и сульфатостойкого портландцемента (см. с. 157), и минеральные добавки — гранулированный шлак (не более 10...20 %) или трепел, опоку, диатомит (не более 5...10 %). Такие цементы выпускают М400 и 500 и применяют практически наравне с быстротвердеющим и сульфатостойким портландцементом.

● *Пуццолановый портландцемент* изготавливают путем совместного тонкого помола клинкера, содержащего не более 8 %  $\text{C}_3\text{A}$ , необходимого количества гипса и активной минеральной добавки 20...40 %, или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно. Содержание активных минеральных добавок устанавливают с учетом активности минеральной добавки и минерального состава клинкера. В соответствии с ГОСТ 22266—76 он отнесен к группе сульфатостойких цементов и выпускается М300 и 400.

● *Шлакопортландцемент* (ШПЦ) изготавливают так же, как и пуццолановый портландцемент, но в качестве активной минеральной добавки используют доменные гранулированные шлаки, содержание которых должно быть не менее 21 % и не более 80 % от массы цемента.

*Доменные шлаки* представляют собой продукт сплавления веществ, находящихся в пустой породе руды и топлива в основном в виде глины с флюсами (плавнями), которыми обычно являются известняк и доломит. При выплавке 1 т чугуна в среднем получается 0,6...0,75 т шлака.

По химическому составу доменные шлаки в основном

состоят из  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и отчасти  $\text{MgO}$ , суммарное содержание которых достигает 90...95 %. При высокой температуре в доменной печи диоксид кремния и оксид алюминия глинистых минералов взаимодействуют с оксидом кальция. При этом образуются малоосновные силикаты и алюминаты кальция. Структура и состав соединений в шлаках зависят не только от его химического состава, но и от условий охлаждения. Медленно охлаждаемый шлаковый расплав успевает закристаллизоваться, и образующийся шлак представляет собой конгломерат различных устойчивых соединений в кристаллическом виде, сцементированных тем или иным количеством шлакового стекла. При быстром охлаждении расплав не успевает закристаллизовываться и шлак образуется в стекловидном состоянии. В этом случае он имеет большую химическую активность. Поэтому для изготовления вяжущих веществ используют шлаки, которые получают быстрым охлаждением расплава водой. Такие шлаки имеют вид зерен (гранул) размером до 10 мм, отсюда их название — *гранулированные*.

Качество доменных гранулированных шлаков характеризуют модулями основности  $M_o$  и активности  $M_a$ :

$$M_o = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3}; \quad M_a = \frac{\% \text{Al}_2\text{O}_3}{\% \text{SiO}_2}.$$

Если модуль основности равен или больше единицы, шлак называют основным, при модуле меньше единицы — кислым. Гидравлическая активность доменных шлаков в большинстве случаев с увеличением  $M_o$  и особенно  $M_a$  возрастает. Если основные шлаки измельчить и смешать с водой, то они схватываются и затвердевают, т. е. обладают самостоятельными вяжущими свойствами, особенно в присутствии активизаторов (например, извести или гипса). Такие шлаки можно вводить в шлакопортландцемент до 50...80 %. Кислые шлаки не обладают самостоятельными вяжущими свойствами, но при наличии гидроксида кальция, выделяющегося при твердении клинкерной части шлакопортландцемента, твердеют, образуя низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Во избежание значительного снижения морозостойкости и водонепроницаемости бетонов их дозировка должна быть умеренной — не более 40 %.

Шлакопортландцемент выпускают трех марок: 300, 400, 500. Он имеет две разновидности: быстротвердею-

щий шлакопортландцемент — ШПЦБ М400 и сульфатостойкий шлакопортландцемент — СШПЦ М300 и 400.

● *Быстротвердеющий шлакопортландцемент* изготавливают из высококачественных клинкеров и активных гранулированных шлаков, размалывая их до 4000...5000 см<sup>2</sup>/г. По ГОСТ 10178—85 ШПЦБ за 3 сут должен приобрести прочность при сжатии не менее 13,6 МПа, при изгибе — не менее 3,4 МПа.

● *Сульфатостойкий шлакопортландцемент* входит в группу сульфатостойких цементов (ГОСТ 22266—76). Повышенная сульфатостойкость этого цемента обеспечивается применением клинкера и гранулированного шлака, в которых  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не более 8 %. Другие минеральные добавки, кроме шлака, не допускаются. При таком составе вяжущего в затвердевшем камне преобладают низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, что и способствует повышению сульфатостойкости шлакопортландцемента по сравнению с портландцементом.

#### ■ Твердение.

Процесс твердения пуццоланового и шлакопортландцемента более сложен, чем у портландцемента, поскольку в нем участвуют оба их компонента — клинкер и активная минеральная добавка. При затворении этих цементов водой вначале преимущественное развитие получают гидролиз и гидратация клинкерных зерен. В результате образуются те же соединения, что и при затворении портландцемента. Затем возникают вторичные процессы — взаимодействие продуктов гидратации и прежде всего гидроксида кальция с активной минеральной добавкой с образованием в зависимости от вида добавки нерастворимых в воде гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Вторичные процессы при обычной температуре протекают продолжительное время и требуют влажных условий. Поэтому пуццолановый и обычный шлакопортландцементы по сравнению с портландцементом характеризуются относительно медленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, но марочная прочность их примерно одинакова.

Твердение пуццоланового и шлакопортландцементов сопровождается меньшей экзотермией, что позволяет использовать эти цементы для бетонирования массивных сооружений (плотины, фундаменты и т. п.). Использование их в зимних условиях вызывает трудности, так

как при температуре ниже 10°C процессы схватывания и твердения резко замедляются, а при температуре ниже 5°C совсем прекращаются. Наоборот, при повышенных температурах пуццолановый и шлакопортландцементы твердеют более интенсивно, чем портландцемент, поэтому изделия из бетона на этих цементах целесообразно подвергать тепловлажностной обработке.

#### ■ Свойства.

● *Стойкость пуццоланового и шлакопортландцементов* при воздействии пресных, особенно мягких, и сульфатных вод выше, чем портландцементов. В кислых и углекислых водах эти цементы, как и портландцементы, недостаточно стойки.

● *Водопотребность пуццолановых портландцементов* выше, чем у портландцементов, так как на смачивание развитой поверхности минеральных добавок требуется значительный объем воды (нормальная густота пуццоланового портландцемента 28...35%, а обычного портландцемента 22...26%). Вследствие повышенной водопотребности и, следовательно, пористости цементного камня бетоны на пуццолановом портландцементе менее морозостойки, чем на портландцементе.

● *Водопотребность шлакопортландцемента* существенно не отличается от водопотребности обычных портландцементов, но химически связывается воды меньше, чем при гидратации портландцемента. Это приводит к снижению плотности бетона на шлакопортландцементе и, как правило, морозостойкости по сравнению с бетоном на портландцементе.

Бетоны на пуццолановых цементах характеризуются значительными деформациями усадки и набухания, что связано с повышенным содержанием в цементном камне гелевидных новообразований и развитой сетью мельчайших капилляров. При твердении в воздушно-сухих условиях бетон на пуццолановом портландцементе теряет прочность, что объясняется большой усадкой и «выветриванием» воды из гидратных соединений, т. е. он обладает пониженной воздухоустойкостью.

● *Усадка и набухание шлакопортландцемента* приблизительно такие же, как и у портландцемента. Воздухоустойкость шлакопортландцемента выше, чем пуццоланового портландцемента, но уступает портландцементу.

● *Жаростойкость бетонов на шлакопортландцементе* значительно выше, чем на портландцементе. Это объяс-

няется главным образом пониженным содержанием в них свободного гидроксида кальция и наличием шлаков.

Вследствие меньшего содержания клинкерной части в пуццолановом и шлакопортландцементе их себестоимость ниже, чем портландцементов той же марки.

Пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент применяют для массивных бетонных и железобетонных конструкций подводных и подземных частей сооружений (плотин, шлюзов туннелей, канализационных и водопроводных сетей, фундаментов и т. п.). Широко используют эти цементы в производстве сборных изделий с тепловлажностной обработкой. Не эффективны эти цементы, в особенности пуццолановый портландцемент, в наземных конструкциях в районах с сухим климатом или в цехах с пониженной влажностью воздуха, а также в частях сооружений, подвергающихся систематическому попеременному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высушиванию.

#### *Другие вяжущие с активными минеральными добавками*

Кроме портландцементов с активными минеральными добавками в сравнительно небольших количествах изготавливают гидравлические вяжущие вещества на основе активных минеральных добавок и извести и гипса, тонко размалывая их совместно или раздельно, а затем смешивая. Таким путем получают известково-шлаковые, гипсошлаковые, известково-пуццолановые, известково-золевые и другие вяжущие. Вещественный состав этих вяжущих зависит от вида и активности минеральной добавки и условий применения вяжущего. Гидравлическое твердение обусловлено взаимодействием извести и гипса с активными составляющими гранулированных доменных шлаков (низкоосновные силикаты и алюминаты кальция) или минеральных добавок (активный кремнезем) с образованием относительно прочных и водостойких гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Эти вяжущие характеризуются замедленным твердением и значительно меньшими марками по прочности и морозостойкости, чем портландцемент и его разновидности. Рациональное их применение, когда не требуется высокая прочность бетонов и растворов, приводит к экономии клинкерных цементов. Особенно целесообразно их использовать при изготовлении сборных изделий в автоклаве (см. гл. 8).

● **Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества** (ГЦПВ) — продукт тщательного смешивания гипсового вяжущего (50...75 %) с портландцементом или шлакопортландцементом (15...25 %) и пуццолановой добавкой — трепелом, диатомитом, опокой и др. (10...25 %). Они предложены проф. А. В. Волженским. У этих вяжущих выгодно сочетаются быстрый рост прочности, обусловленный наличием полуводного гипса, и способность в отличие от гипса твердеть во влажных условиях подобно гидравлическим цементам. Необходимость введения в ГЦПВ активной минеральной добавки вызвана тем, что при твердении смеси гипса с цементом (без этой добавки) образуется камень, который через несколько месяцев может разрушиться. Причиной этого явления служат образование высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция — этtringита  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot (31...32) \text{H}_2\text{O}$  — с большим увеличением объема. Если в такой твердеющей системе концентрацию гидроксида кальция сильно понизить, а это достигается введением активной минеральной добавки, связывающей  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в гидросиликаты, то этtringит практически не образуется. В этом случае возникает низкоосновный гидросульфоалюминат кальция без заметного увеличения объема, который способствует гидравлическому твердению указанной системы.

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие быстро схватываются и твердеют, что дает возможность изготавливать строительные изделия при сокращенной тепловлажностной обработке или без нее. На основе ГЦПВ можно получать бетоны прочностью 15...20 МПа и выше. Бетоны на ГЦПВ имеют коэффициент размягчения 0,6...0,8, морозостойкость — 25...50 циклов. По сульфатостойкости ГЦПВ равноценны сульфатостойкому портландцементу.

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества используют для изготовления санитарно-технических кабин, панелей основания пола, вентиляционных блоков, изделий для малоэтажных жилых домов и зданий сельскохозяйственного назначения.

#### Глиноземистый цемент

● **Глиноземистый цемент** — гидравлическое вяжущее вещество, обеспечивающее получение цементного камня высокой прочности в очень короткие сроки (1...3 сут). Этот

цемент иногда называют алюминатным, так как в его составе преобладают низкоосновные алюминаты кальция (80...85 %).

#### ■ Сырье и производство.

Сырьем для производства глиноземистого цемента служит смесь пород с высоким содержанием глинозема, чаще бокситов ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) и известняков или извести, а также и более дешевое сырье — алюминиевые шлаки и материалы, получаемые обжигом высокоглиноземистых глин.

Глиноземистый цемент изготавливают плавлением сырьевой смеси в электрических печах, вагранках, конверторах при температуре выше 1500 °С. Реже применяют обжиг до спекания при температуре около 1300 °С во вращающихся печах или на агломерационной ленте.

Получившийся сплав или клинкер охлаждают и размалывают в порошок, как и при производстве портландцемента. Сплав и клинкер глиноземистого цемента отличаются высокой твердостью. Поэтому глиноземистый цемент трудно размалывается, требует высокого расхода электроэнергии, вызывает сравнительно быстрый износ мелющего оборудования. Это является одной из причин его высокой стоимости (он в несколько раз дороже портландцемента).

#### ■ Состав и особенности твердения.

Основным минералом глиноземистого цемента как по количественному содержанию, так и по вяжущим свойствам является однокальциевый алюминат  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{CA})$ . В сравнительно небольших количествах в нем содержатся другие низкоосновные алюминаты кальция ( $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Силикаты кальция обычно представлены небольшим количеством бели-та  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

Процесс твердения глиноземистого цемента протекает по схеме, аналогичной твердению портландцемента. Главный минерал глиноземистого цемента — однокальциевый алюминат, реагируя с водой, вначале образует  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} (\text{CAH}_{10})$ , который сравнительно быстро (в течение нескольких часов) переходит в гель, не обладающий существенной прочностью. В этот период происходит схватывание глиноземистого цемента приблизительно с такой же скоростью, как и у портландцемента. Получающийся гель десятиводного гидрата ( $\text{CAH}_{10}$ ) неустойчив и, кристаллизуясь, быстро переходит в более устойчивый  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O} (\text{C}_2\text{AH}_8)$  в кристаллической

форме с одновременным выделением гидроксида алюминия в виде гелевидной массы. Переход СА в конечные продукты гидратации можно представить следующей схемой:



Твердение глиноземистого цемента протекает настолько интенсивно, что уже через сутки достигается около 90 % конечной прочности, рост которой к 3 сут практически завершается.

Глиноземистый цемент образует цементный камень высокой плотности, пористость которого почти в 2 раза меньше, чем портландцементного. Это связано с тем, что при твердении он химически связывает воды примерно в 2 раза больше, чем портландцемент, а промежутки между кристаллами двухкальциевого гидроалюмината заполнены гидроксидом алюминия, который имеет плотное строение.

Глиноземистый цемент приобретает и длительно сохраняет высокую прочность только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах. Если же температура превысит 25...30 °С, то происходит перекристаллизация двухкальциевого гидроалюмината ( $\text{C}_2\text{AH}_8$ ) в трехкальциевый гидроалюминат ( $\text{C}_3\text{AH}_6$ ), сопровождающаяся уменьшением объема новообразований примерно на 25...30 % и возникновением вредных напряжений в цементном камне, влекущих снижение прочности в 2...3 раза.

Твердение глиноземистого цемента сопровождается интенсивным выделением теплоты, достигающим через 1 сут 70...80 % полной экзотермии. Поэтому глиноземистый цемент нельзя применять в условиях жаркого климата и при тепловлажностной обработке изделий, и при бетонировании массивных конструкций.

#### ■ Свойства и применение.

Глиноземистый цемент должен иметь тонкость помола, характеризуемую остатком на сите № 008 не более 10 %. Марки глиноземистого цемента, определяемые по ГОСТ 310.4—81, через 3 сут 400, 500, 600. Сроки схватывания глиноземистого цемента: начало—не ранее 30 мин, конец — не позднее 12 ч.

Бетоны на глиноземистом цементе морозостойки и более стойки по сравнению с портландцементом против выщелачивающей коррозии, а также к растворам сульфата кальция и магния, морской и болотной воде,

растворам сахара, животным и растительным маслам. Однако глиноземистый цемент быстро разрушается даже слабыми растворами солей аммония и щелочей. Его нельзя применять в щелочных средах и смешивать с известью или портландцементом.

Учитывая дефицитность сырья (бокситов) и значительную стоимость глиноземистого цемента, его выпускают в сравнительно небольших количествах (менее 1 % от общего выпуска цемента), а применяют при возведении бетонных конструкций, которые необходимо быстро ввести в эксплуатацию, для срочных аварийных и ремонтных работ, а также для тампонирования нефтяных и газовых скважин, футеровки шахтных колодцев и туннелей и т. п.

На основе глиноземистого цемента в смеси с жаростойкими заполнителями изготовляют бетоны, которые хорошо сопротивляются действию высоких температур (1000 °С и выше). Глиноземистый цемент используют также для получения расширяющихся цементов.

#### *Расширяющиеся и безусадочные цементы*

Твердение всех гидравлических вяжущих веществ в воздушной среде сопровождается уменьшением объема цементного камня (усадкой). Усадочные деформации могут привести к образованию трещин в бетонах, что нарушает монолитность конструкций и снижает их долговечность. Для расширяющихся и безусадочных цементов характерно равномерное приращение объема цементного камня в начальный период твердения, что компенсирует усадочные явления. Линейное расширение у расширяющихся цементов обычно составляет 0,3...1 %, у безусадочных — 0,01...0,1 %.

Многочисленные виды расширяющихся цементов, в разработку которых большой вклад внесли советские ученые (В. В. Михайлов, Б. Г. Скрамтаев, И. В. Кравченко, П. П. Будников и др.), представляют собой смешанные цементы, состоящие из основного вяжущего вещества (глиноземистый или портландцемент) и компонентов, обеспечивающих увеличение объема цементного камня в начальный период твердения (в большинстве случаев гипс, высокоосновные гидроалюминаты кальция, глиноземистые шлаки).

В процессе твердения цементов образуется трехсульфатный гидросульфат алюмината кальция  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot$

·3CaSO<sub>4</sub>·(31...32)H<sub>2</sub>O и возникает связанный с этим эффект расширения.

Наибольшее применение в нашей стране нашли следующие расширяющиеся цементы: на основе глиноземистого цемента — водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ), водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ), гипсоглиноземистый цемент; на основе портландцемента — расширяющийся портландцемент (РПЦ), а на основе портландцемента и глиноземистого цемента — напрягающий цемент (НЦ).

● *Водонепроницаемый расширяющийся цемент* (ВРЦ) получают смешиванием или совместным помолом глиноземистого цемента (70 %), полуводного гипса (20 %) и молотого специально изготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция 4CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·13H<sub>2</sub>O (10 %).

● *Водонепроницаемый безусадочный цемент* (ВБЦ) состоит из тех же компонентов, что и ВРЦ, но взятых в других соотношениях. Эти цементы быстро схватываются (начало схватывания — несколько минут, конец — не позднее 5...10 мин) и быстро твердеют, достигая к 3 сут 60...80 %-ной марочной прочности. Они образуют цементный камень высокой водонепроницаемости (выдерживает давление воды до 0,7 МПа), за что и получили второе название водонепроницаемых цементов. Водонепроницаемые расширяющиеся и безусадочные цементы применяют для заделки и гидроизоляции швов тубингов, раструбных труб, стыков и трещин в бетонных и железобетонных конструкциях, подливок под машины и фундаментных болтов и т. п. Нельзя применять эти цементы в конструкциях, эксплуатируемых в среде с недостаточной влажностью или при температуре более 80 °С.

● *Расширяющийся портландцемент* (РПЦ) получают из (% по массе): портландцементного клинкера — 58...63, высокоглиноземистого доменного шлака — 5...7, двуводного гипса — 7...10 и активной минеральной добавки — 20...25, которые совместно размалывают в тонкий порошок — цемент. РПЦ характеризуется более быстрым нарастанием прочности, чем портландцемент, особенно при кратковременном пропаривании изделий, высокой плотностью и водонепроницаемостью цементного камня до 1,2 МПа и более. Применяют РПЦ там же, где и другие расширяющиеся цементы, а также в производстве сборных железобетонных изделий, что позволяет сократить время тепловой обработки до 4...6 ч.

● *Напрягающий цемент* (НЦ) изготовляют на основе

клинкеров портландцемента (65...70 %) и глиноземистого цемента (16...20 %) с добавлением двуводного гипса (14...16 %) путем совместного помола до удельной поверхности не менее 3500 см<sup>2</sup>/г.

Напрягающий цемент быстро схватывается (через 2...7 мин) и быстро твердеет, приобретая через сутки нормального твердения прочность до 20 МПа. Характерной особенностью этого цемента являются не только значительная величина, но и большая энергия расширения, обеспечивающие самоупрежение камня до 3...4 МПа. Это свойство НЦ позволяет использовать его для изготовления так называемых самоупреженных железобетонных конструкций, в которых натяжение арматуры возникает при расширении твердеющего цемента. При этом арматура может получить двух- и трехосное напряжение, чего трудно добиться обычными приемами натяжения арматуры.

Напрягающий цемент рекомендуется применять для изготовления напорных труб и других тонкостенных железобетонных изделий и конструкций с напряженной арматурой.

## 5.5. Методика преподавания неорганических вяжущих веществ

При изложении неорганических вяжущих веществ следует дать их определение, рассказать об их назначении и месте в общем балансе строительных материалов. Необходимо ознакомить учащихся с классификацией неорганических вяжущих. Здесь же уместно кратко рассказать об их развитии и применении в строительстве и вкладе русских и советских ученых в науку и производство вяжущих.

В современном строительстве применяют большое количество вяжущих общего и специального назначения. Изучать их следует, пользуясь определенной методикой.

Для получения искусственного каменного материала с заданными свойствами с учетом условий твердения и эксплуатации конструкций из него строитель должен уметь правильно выбрать соответствующее вяжущее, а для этого ему необходимо детально знать их свойства. Но свойства вяжущего зависят от его состава и продуктов, которые образуются при твердении. Поэтому перед изучением свойств вяжущего нужно познакомить учащихся

ся с составом вяжущего, особенностями физико-химических процессов взаимодействия вяжущего с водой, а также с продуктами новообразований, от которых в конечном счете зависят свойства образующегося камня.

В свою очередь, состав, структура, активность вяжущего зависят от состава и технологии переработки исходного сырья.

Таким образом, складывается логический ряд, который лежит в основе методики изучения вяжущих веществ: 1) характеристика сырья; 2) принципы технологии вяжущего; 3) состав; 4) физико-химические процессы, протекающие при схватывании и твердении вяжущего вещества, и характеристика новообразований; 5) свойства, 6) области и особенности применения вяжущего.

При знакомстве с исходными материалами необходимо обратить внимание на химический и минеральный составы сырьевых компонентов, особенности их строения, наличие примесей, географическое размещение источников сырья, экономические показатели, связанные с добычей и транспортом сырья. На основе этого могут быть сформулированы основные требования к сырию.

Технология вяжущих веществ должна обеспечить получение вяжущего надлежащего состава и активности. Решение этой задачи для большинства строительных вяжущих веществ сводится к переводу сырьевых компонентов из более стабильного в менее стабильное химически активное состояние — нагрев до диссоциации или обжиг с целью получения новых более реакционноспособных соединений и увеличение их поверхности путем превращения в порошок.

При изучении основ технологии вяжущего необходимо особое внимание обратить на подготовку сырья (измельчение, дозирование, смешение), параметры тепловой обработки и измельчение продукта обжига, от которых зависят состав вяжущего и его качество. При этом необходимо, чтобы учащиеся имели четкое представление о химическом и минеральном составе вяжущего, тонкости его помола, о примесях и их влиянии на качество вяжущего.

Изучая процессы физико-химического взаимодействия порошка вяжущего с водой, следует твердо усвоить основные химические реакции, протекающие при твердении вяжущего, основы теории твердения вяжущих, особенности процессов схватывания и твердения в различ-

ных условиях и способы их регулирования различными средствами.

Знание состава вяжущего и затвердевшего камня, их строения и структуры позволяет перейти к изучению свойств вяжущего и методам их оценки путем стандартных испытаний.

Прежде всего учащихся нужно познакомить со свойствами, с которыми соприкасается строитель, применяя то или другое вяжущее: водопотребность; сроки схватывания и скорость твердения; прочность (марка); изменение объема при твердении и особенно равномерность изменения объема; долговечность в различных эксплуатационных условиях, т. е. стойкость затвердевших вяжущих против действия физических и химических факторов окружающей среды.

Знание свойств дает возможность строителю выбрать наиболее выгодные области и условия применения вяжущих с учетом особенностей их твердения и стойкости в эксплуатационных условиях.

Методы оценки свойств рекомендуется изучать на лабораторных занятиях, используя учебные пособия по лабораторному практикуму, а также ГОСТы, ТУ и справочники. При этом следует обратить внимание на условность принятых методик испытания и возможность их изменения в соответствии с развитием науки и требованиями практики.

При изучении химической стойкости вяжущих к воздействию внешней среды необходимо научить учащихся записывать важнейшие реакции взаимодействия основных продуктов твердения вяжущих веществ с реакционноактивными компонентами внешней среды, а также мер по замедлению или исключению процессов коррозии цементного камня (бетона, раствора).

В процессе самостоятельной работы учащимся рекомендуется проводить сопоставление основных видов вяжущих (по свойствам и областям применения), например воздушной извести и гипсовых вяжущих, портландцемента и шлакопортландцемента и т. д. Такое сопоставление облегчит усвоение данной большой темы.

Изучение темы следует закончить коллоквиумом или семинаром, а в процессе изучения практиковать опрос учащихся, выдачу домашних заданий по отдельным группам вяжущих.

## Глава 6 БЕТОНЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

### 6.1. Общие сведения и классификация

● **Бетон** — искусственный камневидный строительный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего вещества, воды, заполнителей и необходимых добавок. До затвердевания эта смесь называется бетонной смесью.

Бетон справедливо относят к числу важнейших материалов современного строительства. Широкое использование бетона объясняется многими преимуществами его, к числу которых относятся следующие.

■ **Большая сырьевая база.** Большую часть объема бетона — до 85...90 % занимают песок и крупный заполнитель (щебень или гравий), запасы которых имеются практически во всех регионах страны. Кроме того, значительный резерв, пока мало используемый, составляют заполнители, изготавливаемые из попутных продуктов и отходов других отраслей промышленности — зола ТЭС, металлургические шлаки и др.

■ **Простота переработки сырья.** Технология изготовления бетона и изделий из него связана с применением несложных механизмов и требует сравнительно малых затрат энергии. При твердении бетона используется химическая энергия вяжущего вещества (цемента). Все это позволяет существенно снизить стоимость строительных работ.

■ **Широкий диапазон строительно-технических свойств изделий.** Используя для изготовления бетона различные сырьевые материалы и технологические приемы, можно значительно изменять свойства затвердевшего бетона. Так, плотность бетона может колебаться от 300 до 4500 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии — от 1,5 до 80 МПа. Бетон является одним из наиболее долговечных строительных материалов. Все это означает, что из него можно изготавливать и несущие, и ограждающие, и теплоизоляционные изделия и конструкции. Универсальность свойств позволяет дифференцированно подходить к выбору вида бетона для конкретной конструкции; это в конечном итоге способствует сокращению материалоемкости строительства.

■ **Возможность изготовления крупноразмерных индустриальных изделий.** Многие материалы в силу особенностей физического строения и свойств не допускают изготовления строительных изделий большого размера. В природных каменных материалах главным препятствием является трещиноватость горных пород, в строительной керамике — большие и неравномерные усадочные деформации в процессе сушки и обжига. В отличие от этих материалов бетон равномерно затвердевает во всем объеме конструкции, сохраняя монолитность; свойства бетона практически одинаковы по всем направлениям. Кроме того, он хорошо сочетается со стальной арматурой, а это позволяет изготавливать не только сжимаемые, но и изгибаемые несущие конструкции. Поскольку бетон при твердении претерпевает незначительные деформации, реальным является получение изделий с точными размерами. Все это дает возможность изготавливать бетонные и железобетонные крупноразмерные элементы — крупные блоки, панели стен и перекрытий, колонны, балки и т. д., применение которых повышает производительность труда на стройках, сводит процесс возведения сооружений к монтажным работам. Таким образом, снижается трудоемкость строительства, т. е. затраты труда на единицу строительной продукции (например, на 1 м<sup>2</sup> жилой площади).

■ **Архитектурная выразительность.** Форма и характер поверхности бетонных изделий могут быть самыми разнообразными. В архитектурном отношении бетон весьма пластичен. Желаемая фактура бетонной поверхности получается при использовании различной опалубки. Так, применение нестроганой дощатой опалубки создает грубую фактуру бетона, а сопряжение досок внахлестку приводит к получению на бетонной поверхности элементов света и тени. При использовании белого и цветных цементов получают изделия практически любого цвета — от белого до черного. Наконец, с помощью механической или физико-химической обработки можно снимать с поверхности цементную пленку и тем самым обнажать заполнители, создавая красивую фактуру изделий.

В строительстве применяют бетоны различного назначения. Их систематическое изучение облегчается при наличии классификации. ГОСТ 25192—82 классифицирует бетоны по следующим признакам: основному назначению, виду вяжущего и заполнителей, структуре.

■ **По назначению** (области применения) бетоны подразделяют на конструкционные и специальные.

● **Конструкционные бетоны** используют в несущих и ограждающих конструкциях зданий и сооружений; они должны обеспечивать главным образом механические характеристики конструкций — прочность, упругость, деформационные и другие свойства. К конструкционным относят: тяжелый бетон ( $\rho_m = 2200 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$ ), мелкозернистый ( $\rho_m > 1800 \text{ кг/м}^3$ ), легкий, ячеистый, а также напрягаемый бетон.

● **Специальные бетоны** предназначены для конструкций, эксплуатируемых в особых условиях. К ним относят теплоизоляционные, жаростойкие, химически стойкие, радиационно-защитные, декоративные бетоны. Стойкость к воздействиям окружающей среды в значительной степени зависит от вида вяжущего вещества, использованного для изготовления бетонной конструкции.

■ **По виду вяжущего бетоны подразделяют следующим образом.**

● **Бетоны на цементных вяжущих**, изготавливаемые на основе клинкерных цементов — портландцемента, шлакопортландцемента, пуццоланового портландцемента, глиноземистого цемента. Такие бетоны обладают универсальными свойствами, что позволяет использовать их в несущих и ограждающих конструкциях промышленных, гражданских и жилых зданий, за исключением тех случаев, когда предъявляются особые требования, например, по жаростойкости, химической стойкости.

● **Бетоны на известковых вяжущих**, изготавливаемые на основе извести в сочетании с гидравлически активными и кремнеземистыми компонентами, — цементами, шлаками, золами, кварцевым песком, активными минеральными добавками. Бетон на известково-кремнеземистых вяжущих, синтезированных при автоклавной обработке, называют силикатным.

● **Бетоны на гипсовых вяжущих**, изготавливаемые на основе полуводного гипса или гипсоцементно-пуццолановых вяжущих. Вследствие недостаточной водостойкости вяжущих такие бетоны используют, как правило, только для внутренних конструкций.

● **Бетоны на шлаковых вяжущих**, изготавливаемые на основе молотых шлаков и зол в смеси с активизаторами твердения — известью, цементом, гипсом, щелочными растворами. Применение местных шлаковых вяжущих позволяет сэкономить клинкерный цемент и удешевить конструкции.

● **Бетоны на специальных вяжущих** (органических или

неорганических), имеющие узконаправленное применение при наличии специальных требований. Сюда входят бетоны на полимерных, фосфатных, магнезиальных связующих, бетоны на жидком стекле.

■ **По виду заполнителей** различают бетоны на плотных, пористых и специальных заполнителях.

● **Бетоны на плотных заполнителях** содержат в своем составе заполнители, получаемые из плотных горных пород (например, гранита) либо из отходов промышленности (например, из металлургических шлаков).

● **Бетоны на пористых заполнителях** получают с использованием искусственных пористых заполнителей (керамзита, аглопорита и др.) либо заполнителей из пористых горных пород (туфа). В эту группу входят также бетоны, в которых крупные заполнители пористые, а мелкие — плотные.

● **Бетоны на специальных заполнителях** готовят на таких материалах, которые придают им особые свойства. Например, на базе шамотных заполнителей получают жаростойкий бетон. Тяжелые заполнители, получаемые из рудосодержащих горных пород (лимонита, гематита), придают бетону способность эффективно поглощать радиоактивное излучение и поэтому используются для биологической защиты в ядерных реакторах.

■ **В зависимости от характера структуры** выделяют следующие виды бетонов.

● **Бетоны плотной (слитной) структуры**, в которых пространство между зернами заполнителей полностью занято затвердевшим вяжущим веществом и порами вовлеченного воздуха, объем которых не превышает, как правило, 6 % объема бетона.

● **Поризованные бетоны**, в которых все пространство между зернами заполнителей занято вяжущим веществом, поризованным пено- или газообразующими добавками.

● **Крупнопористые (беспесчаные или малопесчаные) бетоны**, в которых значительную часть пространства между зернами крупного заполнителя намеренно оставляют не занятой мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим.

● **Ячеистые бетоны** — бетоны с искусственно созданными ячейками-порами, состоящие из смеси вяжущего вещества, тонкодисперсного кремнеземистого компонента и порообразующей добавки.

Бетоны плотной структуры применяют для изготовле-

ния несущих конструкций, к которым предъявляются повышенные требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Поризованные, крупнопористые и ячеистые бетоны, в порах которых заключено много воздуха, рекомендуются использовать преимущественно для ограждающих конструкций и теплоизоляции.

Технические требования к бетонам устанавливаются в стандартах. Качество бетона характеризуют комплексом показателей, отражающих их механические, теплофизические, защитные, декоративные и другие свойства. Показатели качества зависят от свойств составляющих бетон материалов, соотношения между ними, а также от технологических параметров изготовления изделий.

Основные сведения о вяжущих материалах изложены в гл. 5, поэтому сосредоточим внимание на рассмотрении других компонентов бетона — заполнителей, воды и добавок.

## 6.2. Заполнители

● *Заполнителями для бетона называют рыхлую смесь минеральных зерен природного или искусственного происхождения, размеры которых находятся в установленном диапазоне.* В бетоне эти зерна скрепляются вяжущим веществом, образуя прочное камневидное тело. Занимая до 85...90 % общего объема бетона, заполнители влияют на технологические свойства бетонной смеси и на качество затвердевшего бетона. Правильно выбранные заполнители позволяют получить экономичный бетон с минимальным расходом цемента.

Различают мелкий заполнитель (песок) — частицы размерами 0,16...5 мм, и крупный заполнитель (гравий или щебень), размер частиц которого 5...70 мм. При бетонировании массивных конструкций применяют щебень или гравий с крупностью до 150 мм.

По происхождению заполнители подразделяют на *природные, искусственные, заполнители из отходов промышленности.* Природные заполнители получают механической переработкой горных пород (гранита, диабазы, диорита, известняка, вулканического туфа, гравия, кварцевого песка, кварцита, мрамора и др.). Сюда же относятся заполнители из попутно добываемых пород и отходов обогащения, например кристаллические сланцы. Искусственными заполнителями служат специальноготавливаемые материалы, которые получают из природ-

ного сырья и отходов промышленности путем термической или иной обработки. К ним относятся керамзит и его разновидности, термолит, шлаковая пемза и др.

Заполнители из отходов промышленности получают без изменения химического и фазового состава сырья. В эту группу входят как плотные, так и пористые щебень и песок из металлургических и топливных шлаков, грубодисперсные золы ТЭС, золошлаковые смеси.

● *Важнейшими показателями качества заполнителей являются: плотность, зерновой и минеральный составы, форма и характер поверхности зерен, содержание вредных примесей, прочность и морозостойкость.*

В зависимости от плотности различают заполнители плотные ( $\rho_m > 2000 \text{ кг/м}^3$ ) и пористые ( $\rho_m < 2000 \text{ кг/м}^3$ ).

Для получения тяжелого бетона чаще используют заполнители из горных пород со средней плотностью 1800...2800  $\text{кг/м}^3$ . Применение заполнителей, у которых  $\rho_m > 2800 \text{ кг/м}^3$ , приведет к получению слишком тяжелого бетона и вызовет необоснованное увеличение массы сооружений. Такие заполнители идут на изготовление специального бетона для защиты от радиоактивных излучений.

Заполнители, имеющие  $\rho_m < 1800 \text{ кг/м}^3$ , отличаются заметной пористостью, их применяют для изготовления легких бетонов. Вследствие высокой пористости заполнителей такие бетоны обладают хорошими теплозащитными свойствами.

● *Зерновой состав* заполнителей решающим образом влияет на получение бетона заданной прочности при минимальном расходе цемента. В бетоне вяжущее тесто расходуется на обволакивание поверхности зерен заполнителя промежутков (пустот) между ними. В идеальном случае наименьший расход вяжущего достигается в том случае, когда и удельная поверхность, и пустотность зерен заполнителя стремятся к минимуму. Удельная поверхность тем меньше, чем больше крупность заполнителя. Так, удельная поверхность смеси зерен крупностью 10...20 мм, взятая в расчете на 1  $\text{м}^3$  абсолютного объема заполнителя, составляет 400  $\text{м}^2$ , для зерен крупностью 2,5...5 мм она равна 1600  $\text{м}^2$ , а для пылевидных частиц размером 0,05...0,16 мм — 160 000  $\text{м}^2$ .

В отличие от удельной поверхности объем пустот в заполнителе, представленном зернами (шарами) одного размера, теоретически не зависит от крупности зерна, а определяется типом их упаковки — кубической или

гексагональной. Для сокращения пустотности заполнителя необходимо вводить в его состав зерна меньшего размера, которые заполняли бы промежутки между более крупными частицами. Однако это увеличивает удельную поверхность заполнителя и, следовательно, может привести к перерасходу вяжущего теста для обволакивания зерен. Поэтому соотношение между зернами разного размера в заполнителе должно быть оптимальным, при котором объем пустот и суммарная поверхность зерен требуют минимального расхода цемента для получения нерасслаиваемой бетонной смеси определенной удобоукладываемости, а бетона — заданной плотности и прочности.

Кривая теоретического зернового состава заполнителей, учитывающая эти условия, может быть построена по уравнению, предложенному Фуллером и Болломеом:

$$p = m + (100 - m) \sqrt{d/D}, \quad (6.1)$$

где  $p$  — часть материала (смеси заполнителей) крупностью до  $d$  (мм), % от массы всего материала;  $D$  — наибольшая крупность зерен заполнителя, мм;  $m$  — коэффициент, зависящий от вида заполнителей и пластичности бетонной смеси,  $m=8...12$ .

Кривые оптимального зернового состава заполнителей, предложенные И. П. Александриним, позволяют определить процентное содержание зерен данного размера (от  $D$  до  $D:i$ ) в виде полного остатка на сите  $A_i$  с учетом расхода цемента в бетоне (рис. 6.1).

Оптимальный зерновой состав, установленный по теоретическим кривым, не учитывает всех особенностей заполнителей, в частности, характера формы зерен, шероховатости их поверхности и т. п. Поэтому на практике его трансформируют в рациональный зерновой состав, допускающий колебания относительно теоретической кривой и установленной с учетом практических задач.

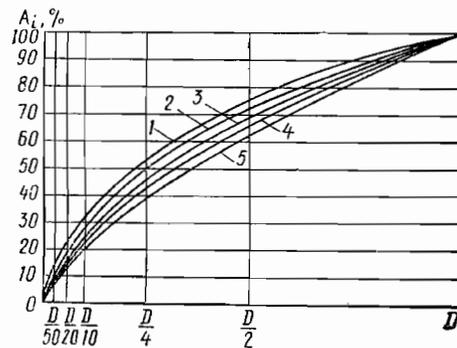


Рис. 6.1. Кривые оптимального зернового состава смеси песка и щебня при расходах цемента (кг/м<sup>3</sup>):

1 — 230; 2 — 270; 3 — 320; 4 — 400; 5 — 500

Зерновой состав заполнителей определяют по результатам просеивания пробы через стандартный набор, включающий 10 сит с отверстиями (мм): 70; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16. Граница между мелким и крупным заполнителями проходит по зерну 5 мм. Если надо определить зерновой состав песка, берут сита с размерами отверстий 5...0,16 мм, крупного заполнителя — 5...70 мм.

Просеяв пробу заполнителя массой  $m$ , взвешивают остатки на каждом сите  $m_i$  и вычисляют частные остатки по формуле  $a_i = (m_i/m) 100$  %.

На каждом сите после просеивания остаются частицы с размером, большим размера отверстий данного сита, но меньшим размера отверстий вышележащего, более крупного сита. Совокупность зерен, размер которых находится в этих пределах, называют фракцией заполнителя. Заполнители могут поставляться полифракционными, т. е. состоящими из зерен разных фракций, и монофракционными. Например, щебень с размерами зерен 5...40 мм является полифракционным, он состоит из зерен фракций 5...10, 10...20 и 20...40 мм.

По частным остаткам  $a_i$  рассчитывают полные остатки на ситах  $A_i$  как сумму частных остатков на данном сите и на всех ситах с большим размером отверстий:  $A_i = a_i + a_{i-1} + \dots + a_1$ .

Результаты просеивания (полные остатки) сравнивают со стандартными требованиями, представленными в графической или табличной форме. Эти же данные используют для оценки крупности песка по модулю крупности  $M_k = \Sigma A_i / 100$ , где  $A_i$  — сумма полных остатков на ситах с отверстиями 2,5...0,16 мм. Чем больше  $M_k$ , тем крупнее песок, т. е. выше относительное содержание в нем зерен крупных фракций.

● По характеру формы зерен различают заполнители, имеющие угловатую (неправильную) форму, которые получают дроблением горных пород или искусственных материалов (щебень, дробленый песок и др.), и заполнители округлой формы, например гравий, природный песок. Форма зерен заполнителя влияет прежде всего на удобоукладываемость бетонных и растворных смесей. Предпочтительнее в этом отношении зерна округлой или кубовидной формы. Пластинчатые, удлиненные, так называемые лещадные, зерна заполнителя укладываются в бетоне в строго ориентированном положении, как правило горизонтальном. Это делает структуру бетона неоднородной, а его свойства — неодинаковыми в разных направлениях. Поэтому содержание зерен лещадной формы ограничивается стандартами.

● Характер поверхности заполнителей влияет на свойства бетонной смеси и прочность бетона. Бетонная смесь, изготовленная на заполнителях с гладкой поверхностью (например гравий), обладает хорошей удобоукладываемостью. Смеси на заполнителях с шероховатой

поверхностью (например, щебне), укладываются хуже, но бетон приобретает прочность большую, чем на гравии. Это объясняется большей площадью поверхности сцепления шероховатого заполнителя с цементным камнем.

● *Минеральный состав заполнителей оценивают с помощью петрографической характеристики (по-гречески «петра» — камень, «графа» — пишу, описываю).* Петрографическая характеристика горной породы включает: ее наименование и происхождение, содержание основных породообразующих минералов, оценку трещиноватости и степени выветривания, данные о наличии вредных примесей, радиационно-гигиеническую оценку и некоторые другие данные.

● Основной является характеристика по *содержанию вредных примесей*, к которым относят включения минералов-сульфатов, сульфидов, аморфных разновидностей кремнезема (халцедона, опала, вулканических стекол) и ряда других веществ. Вредные примеси могут вступать во взаимодействие с цементом и образовывать соединения, понижающие прочность бетона или вызывающие его коррозию.

#### ■ Свойства.

Физико-механические свойства пород характеризуются прочностью, содержанием слабых разностей, морозостойкостью, пористостью, водопоглощением и некоторыми другими показателями.

● *Прочность заполнителей* влияет на прочность бетона. Требования по прочности устанавливают только для крупного заполнителя, поскольку прочность обычно применяемых в качестве мелкого заполнителя кварцевых песков заведомо выше прочности бетона (предел прочности при сжатии кварца свыше 1000 МПа, а максимальная прочность бетона по СНиПу 60 МПа).

Прочность щебня характеризуется маркой, соответствующей пределу прочности исходной горной породы в водонасыщенном состоянии (20...140 МПа). Породы, у которых предел прочности меньше 20 МПа, относят к слабым разностям. Содержание слабых разностей в щебне ограничивается стандартами.

Прочность гравия характеризуют его маркой, определяемой по дробимости путем испытания пробы зерен на сжатие в стальном цилиндре. Чем слабее гравий, тем больше окажется после такого испытания раздробленных зерен. Раздробленные зерна отсеивают сквозь сито с размером отверстий 5 мм и определяют показатель дробимости, который равен отношению содержанию этих зерен

в общей массе пробы. Марки гравия по дробимости могут быть от Др8 до Др24. Марка Др8 означает, что после испытания раздробилось не более 8 % всей массы гравия. Чем больше число в обозначении марки, тем слабее гравий.

● *Морозостойкость* горной породы оценивают маркой, которая соответствует числу циклов замораживания — оттаивания, выдержанных щебнем из этой породы. Марки заполнителей по морозостойкости установлены в пределах от F15 до F300.

К заполнителям для жаростойкого, химически стойкого, декоративного и других специальных бетонов предъявляют дополнительные требования.

■ **Мелкий заполнитель** — песок может быть природным или искусственным.

● *Природный песок* — это рыхлая обломочная порода. По минеральному составу различают кварцевые пески, полевошпатные, карбонатные и др. Кварцевые пески лучше по качеству и чаще применяются для изготовления бетонов.

По условиям образования различают речные, морские и овражные (горные) пески. Зерна речных и морских песков имеют окатанную форму и гладкую поверхность, так как истираются при переносе водой. У овражных и горных песков зерна преимущественно угловатые, в них содержится больше глинистых и органических примесей. В морских песках могут присутствовать обломки раковин, которые легко разрушаются и могут понизить прочность бетона.

● *Искусственные пески* получают дроблением горных пород либо некоторых попутных продуктов промышленности, например металлургических шлаков.

В зависимости от зернового состава различают песок повышенной крупности, крупный, средний, мелкий и очень мелкий (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Классификация песка по крупности

Группа песка	Модуль крупности	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе
Повышенной крупности	Свыше 3,0 до 3,5	Свыше 65 до 75
Крупный	» 2,5 » 3,0	» 45 » 65
Средний	» 2,0 » 2,5	» 30 » 45
Мелкий	» 1,5 » 2,0	» 10 » 30
Очень мелкий	» 1,0 » 1,5	До 10

Кривая зернового состава песка должна укладываться в пределы, рекомендуемые стандартом (рис. 6.2). Лучше использовать крупный и средний пески, обеспечивающие получение бетона без перерасхода вяжущего. Если зерновой состав песка не соответствует требованиям стандарта, его следует фракционировать, т. е. рассевать (сито с размером отверстий 1,25 или 0,63 мм) на две фракции. Полученные крупную и мелкую фракции смешивают в соотношении, которое устанавливает строительная лаборатория.

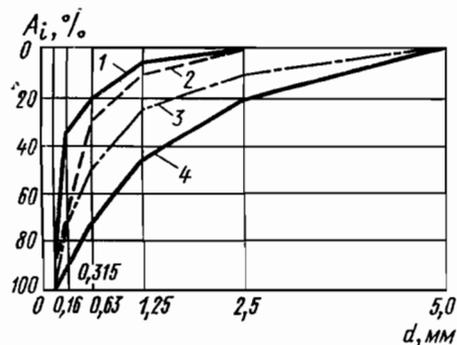


Рис. 6.2. Кривые зернового состава песка:

1 — допустимая нижняя граница крупности песка ( $M_k=1,5$ ); 2 — рекомендуемая нижняя граница крупности для бетонов класса В15 и выше ( $M_k=2,0$ ); 3 — рекомендуемая нижняя граница крупности для бетонов класса В25 и выше ( $M_k=2,5$ ); 4 — допустимая верхняя граница крупности песков ( $M_k=3,25$ );  $d$  — размеры отверстий контрольных сит

но-активных веществ — пластифицирующих или воздухововлекающих.

Во всех случаях содержание в песке глинистых, илистых и пылевидных частиц ограничивают. Глинистые и илистые частицы обволакивают зерна песка, препятствуя их срастиванию с цементным камнем. Тонкие пылевидные частицы имеют большую удельную поверхность, и, следовательно, требуется больше цемента для их обволакивания в бетоне. Поэтому содержание таких частиц допускается в зависимости от назначения бетона до 2...5 % по массе, в том числе комьев глины — не более 0,5 %.

В ряде случаев ограничивают количество и других вредных примесей. Так, песок для бетона гидротехнических сооружений должен содержать не более 1 % серни-

стых и сернокислых соединений (в пересчете на  $SO_3$ ) и не более 1...3 % слюды.

Опасны и органические примеси в песке. Они могут присутствовать в виде остатков корней растений, органических кислот и т. д. Эти вещества замедляют твердение цемента и понижают его потенциальную прочность.

Наличие органических примесей проверяют колориметрической (цветовой) пробой, обрабатывая песок 3 %-ным раствором  $NaOH$ . Если раствор не окрашивается или имеет окраску светлее эталона (а у эталона светло-желтый цвет), песок считают пригодным для изготовления бетона. Если цвет раствора окажется темнее эталона, проводят дополнительные исследования такого песка.

■ **Крупными заполнителями** в бетоне являются гравий, щебень, а также щебень из гравия.

● **Гравий** представляет собой зерна размерами 5...70 мм, имеющие округлую, окатанную форму и гладкую поверхность. Обычно в гравии содержится некоторое количество песка; при содержании песка 25...40 % материал называют песчано-гравийной смесью.

● **Щебень** получают дроблением горных пород на куски размерами 5...70 мм. Зерна щебня имеют угловатую форму и более развитую, чем у гравия, шероховатую поверхность. Благодаря этому сцепление с цементным камнем у щебня выше, чем у гравия. Для высокопрочного бетона предпочтительнее применять щебень. Для бетонов средней прочности бывает более выгодно применять дешевый местный гравий, а не привозной щебень.

Для характеристики зернового состава крупного заполнителя необходимо знать его наибольшую и наименьшую крупности. Наибольшая крупность заполнителя  $D$  соответствует размеру отверстий стандартного сита, на котором полный остаток еще не превышает 10 % по массе. Наименьшая крупность  $d$  определяется размером отверстий первого из сит, полный остаток на котором превышает 95 %, т. е. через него проходит не более 5 % просеиваемой пробы. Наименьшая крупность обычно равна 5 мм.

Для того чтобы заполнитель при бетонировании равномерно, без зависаний, распределялся в объеме конструкции, его наибольшую крупность нужно назначать с учетом вида и размеров конструкции и плотности армирования.

При бетонировании плит наибольшая крупность зерен заполнителя должна быть не более половины толщины плиты. Для бетонной смеси, укладываемой в скользящую опалубку, размер зерен заполнителя принимают не более  $1/6$  наименьшего размера поперечного сечения

конструкции. В железобетонных конструкциях наибольшая крупность заполнителя должна быть не более  $\frac{3}{4}$  наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры. Крупность заполнителей в бетонных смесях, подаваемых по хоботам и виброхоботам, должна быть не более  $\frac{1}{3}$  их диаметра.

Щебень и гравий применяют, как правило, фракционированными, для чего их разделяют на фракции 5...10, 10...20, 20...40 и 40...70 мм. При необходимости составляют смесь из двух — трех фракций. Зерновой состав каждой фракции заполнителя, обеспечивающий минимальный расход цемента в бетоне, должен соответствовать следующим требованиям:

Размер отверстий контрольных сит	Полный остаток на ситах, % по массе
$d=5(3)$ мм . . . . .	95...100
$d=10$ мм и более . . . . .	90...100
$0,5(d+D)$ для одной фракции . . . . .	40...80
$0,5(d+D)$ для смеси фракций . . . . .	50...70
$D$ . . . . .	0...10
$1,25D$ . . . . .	0

В крупных заполнителях, как и в песке, ограничивают содержание глинистых, илистых и пылевидных частиц, к которым относят зерна размером не более 0,05 мм. В гравии таких частиц должно быть не более 1...2 % по массе, в щебне — не более 1...3 %, в том числе глины в комьях — не более 0,25 %.

Прочность крупных заполнителей нормируют с учетом прочности бетона. Так, прочность щебня из естественного камня должна быть выше прочности бетона хотя бы в 1,5...2 раза. Во всех случаях предел прочности щебня из изверженных горных пород должен быть не ниже 80, из метаморфических пород — не ниже 60, из осадочных пород — не ниже 30 МПа.

Содержание зерен слабых пород, предел прочности которых при сжатии в насыщенном водой состоянии не превышает 20 МПа, ограничивается для щебня и гравия 10 % по массе.

Перечисленные технические требования являются общими для плотных, пористых и специальных заполнителей. Вместе с тем пористые и специальные заполнители характеризуют рядом дополнительных показателей, которые будут рассмотрены при изучении легких и специальных бетонов.

● В технологии бетонных работ воду используют для следующих целей: 1) приготовления бетонных и растворных смесей; 2) поливки конструкций в процессе твердения бетона; 3) промывки заполнителей.

Во всех случаях допускается к применению вода, отвечающая техническим условиям (ГОСТ 23732—79). Качество воды оценивают по содержанию вредных примесей, которые могут препятствовать нормальному схватыванию и твердению вяжущего вещества, либо вызывают появление в структуре бетона новообразований, уменьшающих его прочность и долговечность.

● Водородный показатель воды (рН) должен находиться в пределах от 4 до 12,5, т. е. может допускаться вода, дающая слабокислую либо слабощелочную реакцию. Вредными примесями в воде считаются органические вещества, растворимые соли, в особенности содержащие ионы  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ , а также взвешенные частицы глины, пыли, песка, почвы.

● Органические вещества, в особенности содержащие сахар и фенолы, замедляют нормальное протекание процесса гидратации цемента и тем самым понижают прочность бетона. При большом содержании сахаров схватывание бетонной смеси может вообще отодвинуться на неопределенное время. Поэтому в воде затворения количество сахаров или фенолов должно быть не более 10 мг/л каждого.

● Недопустимы в воде примеси нефтепродуктов, масел, жиров. Эти вещества могут осаждаться на поверхности цементных частиц, замедляя их гидратацию; если же они адсорбируются на зернах заполнителей, то препятствуют образованию прочного контакта с цементным камнем и тем самым уменьшают прочность бетона. Для того чтобы довести прочность бетона до проектной, потребуется в этом случае увеличить расход цемента, что вызовет необоснованное удорожание бетона. Проще и дешевле использовать чистую воду, на поверхности которой нет пленки масел, нефтепродуктов или жиров.

● К поверхности бетонных конструкций, формирующих фасад сооружения, предъявляют повышенные требования по чистоте и однородности цвета. Для изготовления таких конструкций и поливки бетона следует применять воду, не содержащую окрашивающих примесей.

● Особую важность представляет наличие в воде растворимых солей, сульфат-ионов и ионов хлора. Они могут вызвать неконтролируемое изменение сроков схватывания и скорости твердения бетона. Но самое главное — возникает опасность коррозии цементного камня и стальной арматуры в железобетоне. При большом количестве сульфат-ионов в бетоне начнется сульфатная коррозия, которая может привести к разрушению цементного камня и конструкции в целом (см. гл. 5). Хлор-ионы вызывают коррозию не только в цементном камне, но и в стальной арматуре. Поэтому содержание сульфат-ионов не должно превышать 2,7 г/л, а хлор-ионов — 1, 2...3,5 г/л.

Растворимые в воде соли, при большом их содержании, после затвердевания бетона кристаллизуются в порах цементного камня и образуют на поверхности изделий налеты — так называемые высолы, портящие внешний вид сооружений. По этим причинам содержание растворимых солей в воде для затворения и поливки бетона, а также используемой для промывки заполнителей ограничивается нормами в пределах 5...35 г/л.

Таким образом, для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона можно без предварительной проверки применять питьевую воду, а также речную, озерную воду или воду из искусственных водоемов, не загрязненную сточными выбросами, солями и маслами.

Морская вода содержит растворимые соли, сульфат-ионы и хлор-ионы в большом количестве. Ее употребляют для затворения бетона массивных неармированных конструкций лишь в тех случаях, когда на их поверхности допускается появление высолов.

Болотные и сточные (бытовые и промышленные) воды нельзя применять без их очистки. Кроме того, на использование сточных вод должно быть обязательно получено разрешение санэпидемстанции.

Анализ качества воды проводят в строительной лаборатории. В тех случаях, когда возникают сомнения в пригодности воды, изготавливают на ней образцы бетона. Если прочность этих образцов окажется не ниже прочности контрольного бетона, изготовленного на питьевой воде, проверяемую воду можно считать пригодной.

● С развитием технологии бетона все большее распространение получают различного рода добавки, которые улучшают свойства бетонной смеси и повышают качество затвердевших бетонов и строительных растворов.

В зависимости от функционального назначения и достигнутого эффекта различают добавки, регулирующие реологические свойства бетонных смесей, схватывание бетонных смесей и твердение бетонов, пористость бетона, придающие бетону специальные свойства, сокращающие расход цемента, добавки полифункционального действия.

■ **Добавки для регулирования реологических\* свойств бетонных смесей** подразделяют на пластифицирующие, стабилизирующие и водоудерживающие.

● *Пластифицирующими* называют добавки, увеличивающие подвижность (или снижающие жесткость) бетонных смесей без снижения прочности бетона. Подвижность бетонной смеси характеризуется осадкой (см) стандартного конуса (см § 6.4). Для определения пластифицирующего эффекта добавки изготавливают бетонную смесь с осадкой конуса 2...4 см. При введении добавки осадка конуса возрастает, и в зависимости от полученного результата добавку относят к одной из следующих четырех групп: I группа — суперпластификаторы (увеличивающие осадку конуса с 2...4 см до 20 см и более); II группа — сильнопластифицирующие (осадка конуса до 14...19 см); III группа — среднепластифицирующие (осадка конуса 9...13 см); IV группа — слабопластифицирующие (осадка конуса менее 8 см). Пластифицирующие добавки представляют собой поверхностно-активные вещества. По характеру действия различают гидрофильно-пластифицирующие и гидрофобно-пластифицирующие добавки (см. § 5.4).

Из числа гидрофильно-пластифицирующих наибольшее применение получила добавка ЛСТ — лигносульфонаты технические (прежнее название СДБ). Поставляется обычно в жидком виде, иногда — в твердом, легко растворяется в воде. Для пластификации бетонных смесей ее вводят в небольшом количестве — от 0,1 до 0,5 % массы цемента. В расчете на 1 м<sup>3</sup> бетона расход добавки составляет обычно 0,5...1 кг.

Особенно эффективно использовать эту добавку в жирных бетонных смесях, т. е. смесях с большим содержанием вяжущего. При введении ЛСТ и других пластифицирующих добавок можно решить одну из следующих задач: 1) улучшить удобоукладываемость бетонной смеси при сохранении расхода цемента и прочности бетона;

\* Реология — наука о деформациях и течении вещества.

2) уменьшить расход воды, а расход цемента оставить прежним; при этих условиях прочность бетона увеличится; 3) уменьшить расход воды и цемента при сохранении прежней удобоукладываемости, при этом прочность бетона останется неизменной, но расход цемента сократится на 8...10%.

В этом большое значение пластифицирующих добавок: вводимые в состав бетона в небольших количествах, они улучшают удобоукладываемость смеси и тем самым снижают затраты труда и энергии на бетонных работах; в то же время они позволяют получить существенную экономию цемента.

● **Гидрофобно-пластифицирующие добавки** (мыло-нафт, гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11 и др., см. § 5.4) рекомендуется применять в так называемых тощих бетонах, отличающихся малым расходом цемента. После укладки и затвердевания бетона такие добавки, адсорбируясь в порах, придают бетону водоотталкивающие свойства (гидрофобизуют бетон). В результате сильно уменьшается водопоглощение, одновременно возрастают морозостойкость и сопротивляемость бетона коррозии. Применение гидрофобно-пластифицирующих добавок — эффективный способ повышения долговечности бетонных и железобетонных конструкций.

Отечественная промышленность начала выпускать добавки нового типа — *суперпластификаторы*. В большинстве это синтетические полимерные материалы, вводимые в бетонную смесь в количестве 0,2...1,2 % от массы цемента. В отличие от традиционных добавок суперпластификаторы обладают более сильным разжижающим действием и не замедляют твердения бетона.

Суперпластификатор «10-30» выпускают на базе производных меламинаевой смолы; суперпластификаторы «40-03» и НСП являются производными нафталинсульфоислоты, а добавки «ОП-7», «20-03», СПД производят с использованием вторичных продуктов химического синтеза.

Резко увеличивая подвижность бетонных смесей, суперпластификаторы облегчают их транспортирование и укладку. При необходимости сохранить подвижность сокращают расход воды в бетонной смеси, а это позволяет получить бетон с высокой прочностью (до 80 МПа). Весьма эффективны суперпластификаторы при перекачивании смесей бетононасосами.

Рассмотренные добавки поверхностно-активных веществ можно использовать в качестве *стабилизирующих* (предупреждающих расслоение) и водоудерживающих (уменьшающих водоотделение бетонных смесей).

■ Среди добавок, **регулирующих схватывание бетонных смесей и твердение бетонов**, выделяют:

ускоряющие либо замедляющие схватывание; ускоряющие твердение; противоморозные.

В практике производства бетонных работ часто возникает необходимость в ускорении или замедлении схватывания и твердения бетона. Например, при возведении сооружений из монолитного бетона и железобетона для интенсификации темпов бетонирования надо, чтобы бетон быстрее набирал опалубочную прочность. Высокая скорость твердения бетона нужна и при аварийно-восстановительных работах. В то же время нередки случаи, когда схватывание бетонной или растворной смеси намеренно замедляют, например, при перевозке в автосамосвалах на большие расстояния, перекачивании бетононасосами, укладке бетона в жаркую погоду.

На практике чаще используют следующие ускорители твердения бетона: хлорид кальция  $\text{CaCl}_2$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , нитриты кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$  и натрия  $\text{NaNO}_2$ . Нередко применяют и многокомпонентные добавки: нитрит-нитрат кальция, нитрит-нитрат-хлорид кальция и др.

● **Действие ускорителей** объясняется тем, что они понижают растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющегося при гидратации цемента; это приводит к дальнейшей гидратации клинкерных минералов и увеличивает в конечном итоге количество новообразований в цементном камне. В результате прочность бетона, содержащего добавку-ускоритель, в первые 3...7 сут твердения значительно больше, чем прочность бетона без добавки.

Следует помнить, что одна и та же добавка при разной дозировке может проявлять и разное действие, т. е. ускорять либо замедлять твердение бетона. Поэтому концентрация добавок в бетонной смеси, установленная в строительной лаборатории опытным путем, должна обязательно выдерживаться при изготовлении смеси. Количество добавок обычно составляет 1...3 % от массы цемента. Добавка  $\text{CaCl}_2$  в больших количествах вызывает коррозию арматуры; поэтому при изготовлении железобетонных конструкций его содержание в бетонной смеси ограничивают 2 %

● Из замедлителей схватывания лучше всего применять добавки, уменьшающие одновременно водопотребность и расход цемента, а также пластифицирующие бетонные смеси. В этом отношении хорошие результаты дают органические вещества (ЛСТ) и кремнийорганические жидкости ГКЖ-10 и ГКЖ-11.

■ Среди добавок, регулирующих пористость бетона, выделяют воздухововлекающие, газообразующие, пенообразующие и уплотняющие.

● Воздухововлекающие добавки — это поверхностно-активные вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение жидкости (воды). При перемешивании с такими добавками в бетонную смесь вовлекается значительное количество мельчайших воздушных пузырьков, которые увеличивают объем цементного теста. Бетонная смесь, содержащая воздухововлекающую добавку, обладает хорошей удобоукладываемостью.

Среди этих добавок наиболее распространены смолы: древесная смола (добавка СДО), нейтрализованная воздухововлекающая смола (СНВ), а также сульфолон (С).

● В качестве газообразующих добавок используют кремнийорганические жидкости, например полигидросилоксаны (жидкость 136-41). Для изготовления ячеистых бетонов (газобетона и пенобетона) применяют газообразователи (алюминиевая пудра) или пенообразователи (сульфонат, гидролизованная кровь и др.), под действием которых формируется высокопористая структура с большим количеством сферических пор-ячеек.

■ В обширной группе добавок, придающих бетону специальные свойства, можно выделить добавки, уменьшающие смачивание бетона (мылонафт, кремнийорганические жидкости и т. д.); добавки, изменяющие электропроводность бетона (технический углерод), и др.

Минеральные порошки-заменители цемента вводят в бетонные и растворные смеси для экономии цемента. Чаще всего это побочные продукты промышленности: пылевидная зола теплостанций, доменные и топливные шлаки в тонкоразмолом виде.

■ Добавки полифункционального действия (комплексные) позволяют одновременно управлять несколькими свойствами бетонной смеси и затвердевшего бетона, например повышать пластичность смеси и увеличивать прочность бетона. Обычно это добавки составного типа, включающие несколько компонентов, каждый из кото-

рых регулирует одно свойство. Например, комплексная добавка ЛСТ+СНВ пластифицирует бетонную смесь и одновременно повышает морозостойкость бетона; добавка ЛСТ+CaCl<sub>2</sub> пластифицирует смесь, ускоряет твердение бетона и одновременно сокращает расход цемента.

Многие из применяемых добавок при неумелом обращении могут оказать вредное воздействие на работающих. В особенности это относится к ускорителям твердения — хлористым солям. Хлорид кальция весьма опасен для кожи лица и рук. Хлорная известь и ее растворы могут выделять хлор, который, попадая в дыхательные пути, может вызвать тяжелое отравление. Сильным раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки обладают кремнийорганические жидкости. Поэтому необходимо тщательно соблюдать правила безопасной работы с добавками.

#### 6.4. Свойства бетонной смеси

Бетонная смесь, получаемая после тщательного перемешивания вяжущего вещества, мелкого и крупного заполнителей, воды и добавок, находится до затвердевания в пластичном состоянии, что позволяет формировать из нее изделия любой конфигурации.

По физическому состоянию бетонная смесь занимает промежуточное положение между жидкостями и твердыми телами. Эту особенность свойств можно представить себе с помощью реологической модели (см. рис. 1.4), которая не является физической копией тела, зато отражает его деформирование и течение под воздействием внешних сил. Бетонная смесь при небольших значениях внешних сил проявляет свойство упругости, что видно из реологической модели: если снять напряжение  $\sigma$ , то пружина возвратится в исходное положение.

Как только  $\sigma$  станет больше  $F_0$ , произойдет сдвиг массы  $m$  вдоль опорной поверхности, т. е. начнется течение бетонной смеси. Однако скорость перемещения массы будет ограниченной, так как сдерживается вязким сопротивлением жидкости, с трудом просачивающейся сквозь отверстия в поршне. Чем выше вязкость жидкости  $\eta_1$ , тем более вязким будет и течение системы. Если снять внешнее напряжение  $\sigma$ , то масса  $m$  останется в новом положении (сместится вправо). Это означает, что

после прекращения деформирования бетонная смесь будет сохранять приданную ей форму.

Описанная реологическая модель позволяет характеризовать бетонную смесь как пластично-вязкоупругое тело. Подобно твердому телу смесь обладает упругостью и прочностью структуры. Когда прочность структуры преодолена, бетонная смесь становится вязкой жидкостью.

Эти особенности проявляются в процессе транспортирования, укладки и уплотнения бетонной смеси. Под влиянием внешних механических усилий — силы тяжести, давления в бетононасосе, вибрирования — нарушается взаимодействие между составляющими бетонной смеси, что приводит к уменьшению ее структурной прочности  $F_0$ . Бетонная смесь разжижается и приобретает способность перемещаться по трубопроводам и заполнять опалубку под действием силы тяжести. Явление разжижения бетонной смеси обратимо.

● *Свойство разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать в спокойном состоянии, называемое тиксотропией*, используют при перекачивании бетононасосами, виброуплотнении бетона, формировании изделий способом «немедленной распалубки».

В практике производства бетонных работ для оценки реологических свойств бетонной смеси используют технические характеристики.

● Самой важной характеристикой является *удобоукладываемость*, т. е. способность смеси заполнять форму, образуя в результате уплотнения плотную, однородную массу. Для оценки удобоукладываемости используют три показателя: *подвижность*, *жесткость* и *связность* (нерасслаиваемость) смеси. *Подвижность* бетонной смеси в сущности является статической характеристикой ее структурной прочности. *Подвижность* определяют по осадке стандартного конуса.

Усеченный конус, изготовляемый из тонкой листовой стали, имеет следующие размеры: высота — 300 мм, диаметр нижнего основания — 200 мм, верхнего — 100 мм. Конус устанавливают на горизонтальной площадке, не впитывающей влагу. Берут пробу бетонной смеси, наполняют конус в три приема, каждый раз уплотняя смесь 25 ударами металлического стержня-штыковки. Поверхность смеси заглаживают, затем конус снимают и устанавливают рядом. Под действием силы тяжести бетонная смесь деформируется и оседает (рис. 6.3).

● *Разность высот (см) металлической формы конуса и осевшей бетонной смеси характеризует подвижность смеси и называется осадкой конуса (ОК)*.

С помощью осадки конуса характеризуют подвижность пластичных бетонных смесей. В жестких смесях осадка конуса равна нулю, поэтому их характеризуют показателем жесткости, определяемым на специальном приборе (рис. 6.4).

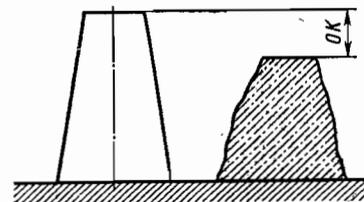


Рис. 6.3. Схема определения подвижности бетонной смеси

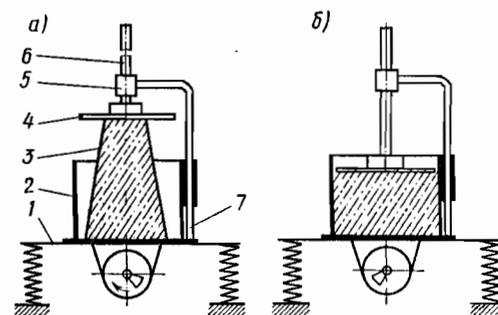


Рис. 6.4. Определение жесткости бетонной смеси:

а — прибор в исходном положении; б — после окончания виброуплотнения; 1 — виброплощадка; 2 — стальной цилиндр с дном; 3 — бетонная смесь; 4 — диск с отверстиями; 5 — втулка; 6 — штанга; 7 — штатив

Металлический цилиндр диаметром 240 мм и высотой 200 мм устанавливают на лабораторную виброплощадку, имеющую стандартные характеристики частоты (50 Гц) и амплитуды колебаний (0,5 мм в ненагруженном состоянии). Затем вставляют конус и заполняют его бетонной смесью, так же как и при определении подвижности. После этого стальную форму конуса снимают и, поворачивая штатив, опускают стальной диск на бетонную смесь. Общая масса диска с шайбой и штангой составляет 2750 г, что создает при уплотнении пригруз около 9 г/см<sup>2</sup>. Включают виброплощадку и вибрируют смесь до тех пор, пока цементное тесто не начнет выделяться из всех отверстий диска. В этот момент вибратор выключают.

● *Время (с), необходимое для уплотнения смеси в приборе, называют показателем жесткости бетонной смеси Ж.*

Показатель жесткости отражает свойства пластической вязкости бетонной смеси.

В зависимости от удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на марки (табл. 6.2).

Таблица 6.2. Классификация бетонных смесей

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

В жестких бетонных смесях (марок Ж1...Ж4) содержится относительно небольшое количество воды. Для их укладки необходимо сильное механическое уплотнение, например длительное вибрирование с пригрузом или прессование. Зато жесткие смеси характеризуются и небольшим расходом цемента. Их используют при изготовлении сборных железобетонных изделий и конструкций на заводах, оборудованных мощными уплотняющими машинами. В построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

Подвижные смеси (марок П1...П4) содержат воды больше, чем жесткие. Они имеют вид густой, но подвижной массы, которая хорошо уплотняется вибрированием.

Смеси марок П3 и П4 изготовляют с обязательным применением пластифицирующих добавок, что дает возможность укладывать их в форму или опалубку без значительных механических усилий. В практике бетонных работ такие смеси называют литыми. Подвижные и литые смеси легко поддаются транспортировке по трубопроводам с помощью бетононасосов.

● В процессе транспортирования, укладки и уплотнения важно предотвратить *расслоение бетонной смеси.*

При уплотнении смеси составляющие ее частицы сближаются, а часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх, образуя капиллярные ходы и полости под зернами крупного заполнителя. Это явление называют *седиментацией* бетонной смеси. В процессе седиментации крупный заполнитель, плотность которого отличается от плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), также перемещается в бетонной смеси. Если заполнитель плотный и тяжелый, например гранитный щебень, частицы его будут оседать; пористые легкие заполнители, наоборот, всплывают. Все это ухудшает структуру бетона, делает его неоднородным. Если правильно назначать количество мелкого заполнителя в составе бетона и сокращать расход воды затворения путем использования пластификаторов, то расслаиваемость можно свести к минимуму — не более 5 % для тяжелого бетона и не более 10 % для легкого.

Удобоукладываемость бетонной смеси должна соответствовать типу конструкции, ее размерам, густоте армирования и применяемым средствам уплотнения. Ее можно регулировать. Для этого необходимо знать факторы, под влиянием которых удобоукладываемость изменяется: расход воды в бетонной смеси, объем цементного теста, объем растворной части, вид цемента и заполнителей, наличие пластифицирующих добавок.

#### ■ Расход воды.

Расход воды — важнейший результирующий фактор удобоукладываемости бетонной смеси. Вода в смеси с цементом образует цементное тесто. Чем больше взято воды, тем меньше оказывается вязкость теста и тем легче оно поддается деформированию под действием внешних сил. Таким образом, увеличивая расход воды и понижая тем самым вязкость цементного теста, получают более пластичные бетонные смеси.

При определении состава бетона на данных материалах следует учитывать, что количество воды, необходимое для получения смеси заданной подвижности, является приблизительно постоянной величиной, если расход вяжущего не превышает 400 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона. Это положение известно в бетоноведении как «*правило постоянства расхода воды*». Поэтому количество воды, необходимое для получения бетонных смесей заданной удобоукладываемости, можно предварительно определить по справочным данным (табл. 6.3).

Приведенные в табл. 6.3 данные справедливы для бе-

Таблица 6.3. Расход воды (литры) на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси для тяжелого бетона

Характеристика бетонной смеси		Расход воды при наибольшей крупности заполнителя							
		гравия				щебня			
		10	20	40	70	10	20	40	70
Ок, см	Ж, с								
—	40...50	150	135	125	120	160	150	135	130
—	25...35	160	145	130	125	170	160	145	140
—	15...20	165	150	135	130	175	165	150	145
—	10...15	175	160	145	140	185	175	160	155
2...4	—	190	175	160	155	200	190	175	170
5...7	—	200	185	170	165	210	200	185	180
8...10	—	205	190	175	170	215	205	190	185
10...12	—	215	205	190	180	225	215	200	190
12...16	—	220	210	197	185	230	220	207	195
16...20	—	227	218	203	192	237	228	213	202

тона, изготовленного на портландцементе и песке средней крупности. В составе некоторых вяжущих содержится значительная доля минеральных добавок, например трепела или диатомита. Такие добавки обладают тонкопористой структурой и способны поглощать много воды. Поэтому применение цементов с минеральными добавками, в частности пуццоланового портландцемента, вызывает увеличение водопотребности бетонных смесей на 15...20 л.

Используемая для приготовления бетонной смеси вода частично расходуется на смачивание частиц цемента и образования пластичного теста; другая часть адсорбируется на поверхности зерен заполнителей и впитывается внутрь зерен, если они пористые. Количество воды, адсорбируемой заполнителями, зависит от характера поверхности частиц и суммарной площади поверхности. Водопотребность природного гравия и песка, обладающих гладкой поверхностью, меньше, чем у щебня и искусственного (дробленого) песка. Суммарная поверхность частиц возрастает по мере уменьшения их размеров. Следовательно, чем меньше крупность заполнителя, тем больше потребуется воды для получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости. По этой причине возрастает водопотребность смесей, изготовляемых на мелких песках. Сильно увеличивается расход воды и при использовании заполнителей, содержащих значительные примеси тончайших частиц — пыли, ила, глины. В этих

случаях ухудшаются показатели качества затвердевшего бетона, в особенности прочность и долговечность.

#### ■ Объем цементного теста.

Удобоукладываемость бетонной смеси зависит от способности частиц заполнителя к взаимному перемещению, в результате которого возможно образование компактной их упаковки. Перемещение частиц мелкого и крупного заполнителя зависит не только от вязкости, но и от объема смазки, роль которой играет цементное тесто. Минимальный объем теста, необходимого для обмазки зерен заполнителя и заполнения пустот между ними, составляет 240...270 л на 1000 л бетона. Это соответствует минимально допустимому расходу цемента, равному 200...220 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона.

#### ■ Объем цементного раствора.

Если в бетонной смеси заполнить раствором только пустоты между зернами крупного заполнителя, то получится слишком жесткая бетонная смесь, не поддающаяся укладке, так как многочисленные контакты зерен щебня или гравия создают большое сопротивление при деформировании смеси. Для придания подвижности необходимо, чтобы объем растворной части несколько превышал объем пустот в крупном заполнителе. Тем самым вокруг зерен заполнителя образуется пластичная оболочка, облегчающая их взаимное скольжение при укладке бетонной смеси. Поэтому в подавляющем большинстве случаев объем цементного раствора принимают большим, чем объем пустот в крупном заполнителе, что учитывается при расчете состава бетона введением коэффициента избытка (коэффициент раздвижки зерен). Значения этого коэффициента для жестких смесей принимают в пределах 1,05...1,15, а для пластичных — 1,2...1,5.

#### ■ Пластифицирующие добавки.

Наиболее эффективный способ регулирования удобоукладываемости бетонных смесей — применение пластифицирующих добавок. Введенные в бетон в небольшом количестве (0,05...0,3 % от массы вяжущего), они сокращают расход воды при сохранении заданной удобоукладываемости смеси. Кроме того, добавки увеличивают связанность бетонных смесей, предотвращая их седиментацию. Затвердевший бетон, изготовленный с применением пластификаторов, обладает большей плотностью, прочностью и стойкостью к коррозии (см. 6.3).

## 6.5. Тяжелый бетон

### Структура затвердевшего бетона

● Тяжелым называют бетон плотной (слитной) структуры, приготовляемый на цементном вяжущем, плотных мелком и крупном заполнителях. Это — характерный представитель материалов конгломератного (составного) типа, включающий в себя заведомо разнородные компоненты —

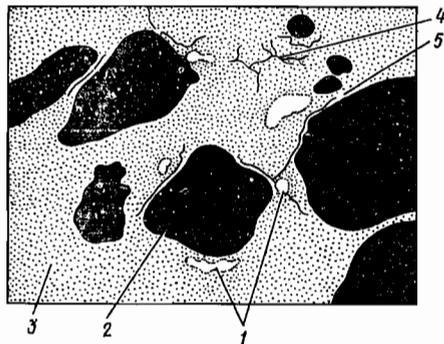


Рис. 6.5. Фрагмент макроструктуры разнородной части бетона:

1 — воздушные пустоты; 2 — мелкий заполнитель; 3 — цементирующее вещество; 4, 5 — усадочные трещины в цементирующем веществе и контактной зоне (увеличено)

недоуплотнения бетонной смеси, и усадочные трещины, которые могут образоваться в процессе твердения в цементирующем веществе и контактной зоне (рис. 6.5).

Если объемная доля цементирующего вещества относительно мала, то бетон характеризуется так называемым контактным расположением зерен заполнителя. В этом случае уменьшается вероятность трещинообразования в тонких прослойках цементирующего вещества. При увеличении расхода цемента возрастает объем цементирующего вещества и, как следствие, утолщаются прослойки между зернами заполнителя — возникает структура с плавающим расположением зерен.

● Микроструктура характеризуется составом и строением твердой фазы, объемом и характером пор, а также

строением контактной зоны. Цементирующее вещество (цементный камень) скрепляет компоненты бетона в единое целое, т. е. является минеральным клеем. Важнейшими качествами его являются прочность и адгезия, т. е. способность к сцеплению с зернами заполнителя.

Свойства цементного камня зависят от его состава и строения (см. с. 148). В состав цементного камня входят продукты гидратации цемента и многочисленные включения в виде негидратированных зерен клинкера и добавок. Структура цементного камня определяется объемом и качеством новообразований, возникающих при твердении вяжущего вещества. Объем новообразований пропорционален степени гидратации цемента  $\alpha$  (см. с. 149). Степень гидратации характеризует полноту использования режущего. Чем выше значения  $\alpha$ , тем больше относительный объем новообразований и меньше пористость цементного камня. Вследствие этого возрастают прочность и долговечность бетона. Дисперсность частиц новообразований, по данным А. В. Волженского, также влияет на прочность, пористость и другие свойства цементного камня. Чем выше удельная поверхность новообразований и чем больше их концентрация, тем лучше связующая способность цемента. При укрупнении частиц новообразований, которое наблюдается при естественном длительном твердении бетона либо при некоторых режимах его тепловой обработки, возрастает хрупкость бетона и может понизиться его прочность.

● Характер макроструктуры зависит от соотношения между компонентами и однородности их распределения в бетоне. Следует учитывать также воздушные пустоты, возникающие из-за

строением контактной зоны. Цементирующее вещество (цементный камень) скрепляет компоненты бетона в единое целое, т. е. является минеральным клеем. Важнейшими качествами его являются прочность и адгезия, т. е. способность к сцеплению с зернами заполнителя.

Свойства цементного камня зависят от его состава и строения (см. с. 148). В состав цементного камня входят продукты гидратации цемента и многочисленные включения в виде негидратированных зерен клинкера и добавок. Структура цементного камня определяется объемом и качеством новообразований, возникающих при твердении вяжущего вещества. Объем новообразований пропорционален степени гидратации цемента  $\alpha$  (см. с. 149). Степень гидратации характеризует полноту использования режущего. Чем выше значения  $\alpha$ , тем больше относительный объем новообразований и меньше пористость цементного камня. Вследствие этого возрастают прочность и долговечность бетона. Дисперсность частиц новообразований, по данным А. В. Волженского, также влияет на прочность, пористость и другие свойства цементного камня. Чем выше удельная поверхность новообразований и чем больше их концентрация, тем лучше связующая способность цемента. При укрупнении частиц новообразований, которое наблюдается при естественном длительном твердении бетона либо при некоторых режимах его тепловой обработки, возрастает хрупкость бетона и может понизиться его прочность.

Возникновение пор в бетоне связано с физико-химическими процессами твердения цемента и с испарением воды, не связываемой в новообразования. Таким образом, при наличии заполнителей из плотных горных пород пористость бетона обусловлена в основном пористостью цементного камня (см. с. 149). Общая пористость тяжелого бетона (без учета объема вовлеченного воздуха) пропорциональна объему испаряемой воды, который равен разности между объемом всей воды, использованной для приготовления смеси  $V$  (л) и объемом химически связанной воды  $V_{х.с}$ . Если обозначить относительное количество химически связанной воды  $\omega$  (безразмерная величина), а расход цемента через  $\Pi$  (кг), то  $V_{х.с} = 0,84 \omega \Pi$ , л. Плотность химически связанной воды больше единицы, поэтому ее удельный объем принят 0,84 л/кг. С учетом этих данных общую пористость бетона (%) можно рассчитать по формуле

$$P_0 = \frac{V - 0,84wЦ}{1000} 100. \quad (6.2)$$

● *Общий объем пор* можно разделить на отдельные группы в зависимости от размеров пор, их происхождения и местоположения в структуре цементного камня. По классификации Г. И. Горчакова, пористость цементного камня представлена следующими группами: поры геля, капиллярные поры и контракционный объем.

● *Капиллярные поры* имеют сравнительно большой диаметр — более 0,1 мкм, в обычных условиях насыщения они заполняются водой, которая может переходить в лед с соответствующим увеличением объема при температурах, мало отличающихся от нуля. Поэтому при значительном объеме капиллярных пор понижается морозостойкость бетона, ухудшается его сопротивляемость химической коррозии. Объем капиллярных пор сокращается по мере увеличения степени гидратации цемента.

● *Поры геля* — это промежутки между частицами геля, заполненные адсорбционно связанной водой. Эти поры имеют очень малый размер — не более 0,004 мкм, они непроницаемы для воды. Вода, адсорбционно связанная в порах геля, обладает повышенной плотностью (около 1,25 т/м<sup>3</sup>) и не замерзает вплоть до температуры —78 °С. Поэтому поры геля не ухудшают морозостойкости бетона. Объем этих пор равен объему адсорбционно связанной воды.

● Возникновение *контракционного объема* связано с уменьшением абсолютного объема системы цемент — вода в результате явления контракции. Контракционный объем возрастает по мере увеличения степени гидратации цемента.

● *Контактная зона* формируется на границе заполнителя с цементирующим веществом. Она по составу и строению отличается от близлежащего цементирующего вещества. Ширина контактной зоны в цементном камне достигает 30...60 мкм. Прочность сцепления между заполнителем и цементирующим веществом зависит от природы заполнителя, его пористости, шероховатости и чистоты поверхности зерен, вида цемента, водоцементного отношения, а также условий твердения бетона. Физико-химическое сращивание обусловлено в основном миграцией к поверхности зерна заполнителя гидроксида кальция, возникающего при твердении портландцемента. В результате на поверхности заполнителя возника-

ют кристаллы Ca(OH)<sub>2</sub> и CaCO<sub>3</sub>. Некоторые заполнители, например известняковый щебень, способны к химическому взаимодействию с продуктами гидратации цемента, что приводит к усилению сцепления.

При использовании заполнителей из плотных горных пород (гравия, щебня из гранита, диорита) прочность сцепления в контактной зоне, как правило, ниже прочности цементирующего вещества на растяжение. Лучшее сцепление дают пористые заполнители, обладающие развитой шероховатой поверхностью.

### Основной закон прочности

Прочность — основная характеристика бетона как конструкционного материала. Числовое значение прочности определяется действием многих факторов. Выделим важнейшие из них: качество примененных материалов и пористость бетона. Качество вяжущего оценивают его маркой, качество заполнителей учитывается с помощью условного коэффициента *A*, а пористость зависит от водоцементного отношения *V/Ц*.

Исследованиям и проф. И. Г. Малюги в 1895 г. было установлено, что прочность плотноуложенного бетона понижается по мере увеличения количества

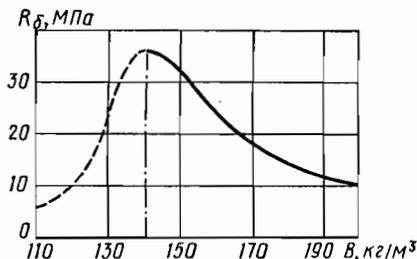


Рис. 6.6. Зависимость прочности бетона на сжатие  $R_0$  от количества воды затворения  $V$  (расход цемента и работа уплотнения постоянны)

в бетонной смеси. Рассмотрим зависимость прочности затвердевшего бетона от количества воды затворения в бетонной смеси (рис. 6.6). Эта зависимость изображается кривой, имеющей две ветви. Левая ветвь соответствует неудобокладываемым смесям, слишком жестким для данного способа уплотнения. Низкая прочность бетона в этой части кривой объясняется наличием многочисленных крупных воздушных пустот, каверн, неплотностей, которые возникают вследствие чрезмерно высокой (для данного способа уплотнения) вязкости цементного теста и недостаточного его объема. По мере увеличения расхода воды объем цементного теста воз-

растает, а его вязкость понижается, так что становится возможным уложить смесь весьма плотно, с наименьшими дефектами. Максимум на кривой прочности соответствует оптимальному для данного способа уплотнения расходу воды, при котором смесь укладывается наиболее плотно. При большем расходе воды бетонная смесь укладывается так же плотно, однако прочность бетона

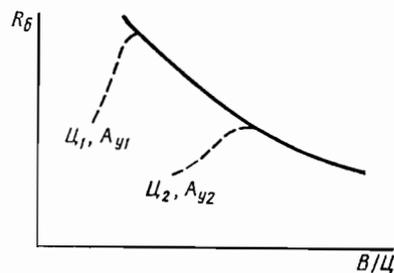


Рис. 6.7. Зависимость прочности бетона  $R_δ$  от  $В/Ц$  при различных расходах цемента  $Ц$  и неодинаковой работе уплотнения  $A_y$  ( $Ц_1 > Ц_2$ ,  $A_{y1} > A_{y2}$ )

вид имеет зависимость  $R_δ = f(В/Ц)$ , если значение  $Ц$  принять постоянным.

При изменении расхода цемента и работы уплотнения оптимум кривой смещается (рис. 6.7). Огибающая кривая, которая объединяет точки с оптимальными частными значениями  $В/Ц$ , представляет собой гиперболу и выражает общую зависимость прочности бетона слитной (плотной) структуры от водоцементного отношения. Н. М. Беляев на основании математической обработки многочисленных экспериментальных данных предложил формулу, связывающую прочность бетона при сжатии  $R_δ$  с активностью цемента  $R_ц$  и водоцементным отношением

$$R_δ = \frac{R_ц}{k(В/Ц)^n}, \quad (6.3)$$

где  $k$  и  $n$  — коэффициенты, зависящие от вида бетона и качества заполнителей. По Н. М. Беляеву, для тяжелого бетона  $n=3/2$ , при использовании щебня  $k=3,5$ , гравия  $k=4$ . Формула справедлива для расчета прочности плотноуложенного бетона, твердевшего в нормаль-

ных температурно-влажностных условиях и испытанного по стандартной методике в возрасте 28 сут.

Более удобной для практического использования является зависимость  $R_δ$  не от  $В/Ц$ , а от цементно-водного отношения. Действительная зависимость  $R_δ = f(Ц/В)$  выражается  $s$ -образной кривой, имеющей точку перегиба (рис. 6.8). Заменяя ее двумя прямыми, получим уравнение вида

$$R_δ = AR_ц(Ц/В \pm b), \quad (6.4)$$

где  $A$  — коэффициент, учитывающий качество заполнителей;  $R_ц$  — марка (активность) цемента;  $Ц$  и  $В$  — соответственно расходы цемента и воды в бетонной смеси;  $b$  — постоянный коэффициент, определяемый опытным путем.

Приведенная формула предложена И. Болломеем и усовершенствована Б. Г. Скрамтаевым. Она выражает основной закон прочности бетона, учитывающая важнейшие факторы, влияющие на его прочность: качество заполнителей ( $A$ ), качество цемента ( $R_ц$ ) и качество цементного камня, т. е. его пористость ( $Ц/В$ ). Прочность

бетона окажется тем выше, чем лучше заполнители, больше марка цемента и больше значение  $Ц/В$ . При постоянном расходе цемента прочность бетона с увеличением расхода воды уменьшается, а с уменьшением расхода воды — увеличивается.

Формула Болломея — Скрамтаева справедлива для бетона в возрасте 28 сут с теми же ограничительными условиями, которые установлены для формулы Н. М. Беляева. Для составов бетона, характеризующихся значениями  $Ц/В = 1,4...2,5$ , она принимает вид

$$R_δ = AR_ц(Ц/В - 0,5), \quad (6.5)$$

а для  $Ц/В = 2,5...3,3$

$$R_δ = A_1 R_ц(Ц/В + 0,5). \quad (6.6)$$

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$  учитывающих качество заполнителей, приведены в табл. 6.4.

При использовании цементов разных марок зависи-

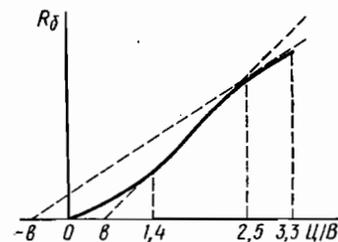


Рис. 6.8. Фактическая зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения

Таблица 6.4. Коэффициенты  $A$  и  $A_1$

Характеристика заполнителей	$A$	$A_1$
Высококачественные — чистые фракционированные заполнители из плотных и прочных горных пород	0,65	0,43
Рядовые — заполнители среднего качества, в том числе гравий	0,6	0,4
Пониженного качества — крупный заполнитель низкой прочности, например щебень из карбонатных пород, мелкий песок	0,55	0,37

мощь прочности бетона от цементно-водного отношения изображается в виде пучка прямых, сходящихся в одну точку: 0,5— для интервала  $C/V=1,4...2,5$  и —0,5— для интервала  $C/V=2,5...3,3$  (рис. 6.9).

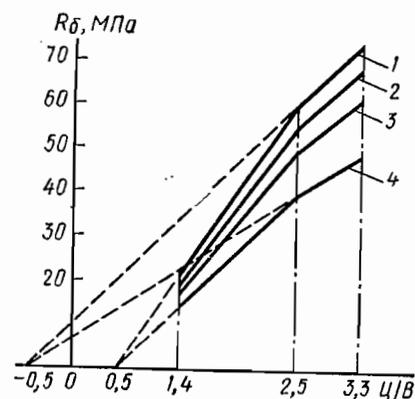


Рис. 6.9. Прочность бетона как функция  $C/V$  и  $R_{ц}$ :  
1 —  $R_{ц}=60$  МПа; 2 — 55 МПа; 3 — 50 МПа;  
4 — 40 МПа

состава обычно содержатся в техническом проекте строительства и включают по меньшей мере два требования: получить бетон необходимой прочности, а бетонную смесь — заданной удобоукладываемости. В ряде случаев, обусловленных специфическими условиями эксплуатации конструкций, главными могут стать требования по морозостойкости, водонепроницаемости или стойкости бетона к коррозии.

Обычно стремятся получить бетон с минимальным расходом цемента, так как цемент гораздо дороже других компонентов бетона. Состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом, который предусматривает предварительный расчет по формулам и последующую корректировку полученных данных по результатам экспериментального затворения бетона.

Чаще всего состав выражают в виде массовой концентрации компонентов, т. е. их расхода в кг на  $1 \text{ м}^3$  уплотненного бетона. Для этого используют следующие зависимости.

1. Расход воды  $V$ , необходимой для получения бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью, определяют по справочным данным (см. табл. 6.3).

2. Из формул, выражающих основной закон прочности, вычисляя цементно-водное отношение, обеспечивающее заданную прочность. Чаще используют формулу  $C/V = (R_b/AR_{ц} + 0,5)$ .

3. Расход цемента находят с учетом уже известных значений  $V$  и  $C/V$ :

$$C = V \cdot C/V. \quad (6.7)$$

Если расход цемента окажется меньше допускаемых нормами, то его следует увеличить, сохранив расчетное значение  $C/V$ . При этом уточняют и расход воды с учетом увеличенного расхода цемента.

В соответствии с требованиями норм минимальный расход цемента допускается в бетонных конструкциях  $200 \text{ кг/м}^3$ , в железобетонных —  $220 \text{ кг/м}^3$ . Для обеспечения плотности бетонов, предназначенных для работ в агрессивных средах, минимальный расход цемента следует принимать равным  $250 \text{ кг/м}^3$ .

4. Расход крупного и мелкого заполнителей определяют, исходя из следующих положений:

а) объем плотноуложенного бетона, принимаемый в расчете равным  $1 \text{ м}^3$  или  $1000 \text{ л}$ , складывается из объема зерен мелкого и крупного заполнителей и объема цементного теста, заполняющего пустоты между зернами заполнителей. Это положение выражается уравнением абсолютных объемов

$$C/\rho_{ц} + V/\rho_{в} + П/\rho_{п} + K/\rho_{к} = 1000; \quad (6.8)$$

б) межзерновые пустоты в крупном заполнителе должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с учетом некоторой раздвижки зерен. Это условие записывают уравнением

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} = \alpha_{к} k_{р} K / \rho_{н.к}; \quad (6.9)$$

где Ц, В, П, К — расходы на 1 м<sup>3</sup> бетона соответственно цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг;  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{в}$ ,  $\rho_{п}$ ,  $\rho_{к}$  — плотность зерен этих материалов, кг/л;  $\rho_{н.к}$  — насыпная плотность крупного заполнителя, кг/л;  $\alpha_{к}$  — пустотность крупного заполнителя,  $\alpha_{к} = 1 - \rho_{н.к} / \rho_{к}$ ;  $k_{р}$  — коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором, характеризующий превышение объема раствора над объемом пустот заполнителя. Для жестких бетонных смесей  $k_{р} = 1,05 \dots 1,15$  (в среднем 1,1), а для пластичных смесей значения этого коэффициента зависят от объема цементного теста (рис. 6.10).

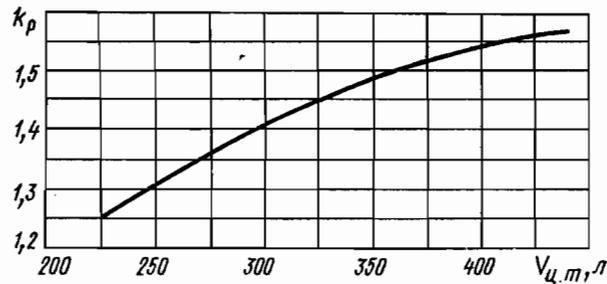


Рис. 6.10. Зависимость коэффициента раздвижки  $k_p$  от объема цементного теста  $V_{ц,т}$  для пластичных смесей

Совместное решение приведенных уравнений приводит к формулам для определения расхода крупного и мелкого заполнителей (кг/м<sup>3</sup>):

$$K = \frac{1000}{\alpha_{к} k_{р} / \rho_{н.к} + 1 / \rho_{к}}; \quad (6.10)$$

$$П = [1000 - (Ц / \rho_{ц} + В / \rho_{в} + K / \rho_{п})] \rho_{п}. \quad (6.11)$$

Сумма расходов компонентов численно равна средней плотности бетонной смеси, выраженной в кг/м<sup>3</sup>.

Иногда состав бетона выражают в относительных единицах, например по отношению к массе цемента: 1 : В/Ц : П/Ц : К/Ц.

Расчитанный состав проверяют путем пробного затворения бетона, внося коррективы для достижения заданной удобоукладываемости бетонной смеси. Из бетонной смеси изготавливают контрольные образцы, которые

после твердения по заданному режиму испытывают на прочность. Если полученная при испытании образцов прочность бетона отличается от заданной более чем на 15 %, то изменяют расход цемента (т. е. Ц/В) в большую или меньшую сторону.

Окончательно определенный номинальный (лабораторный) состав бетона, полученный для сухих материалов, пересчитывают на рабочий состав, в котором учитывают влажность заполнителей.

### Производственные факторы прочности бетона

● Основной закон прочности выражает влияние главных факторов на прочность плотноуложенного бетона, твердеющего в определенных условиях. Однако он не может учесть воздействия объективных и субъективных факторов на различных этапах переработки исходного сырья в готовый бетонный элемент. Совокупностью этих факторов, названных Н. А. Поповым производственными факторами прочности бетона, можно условно разделить на группы, охватывающие все этапы изготовления бетонных изделий.

■ Оценка качества исходных материалов и определение состава бетона.

На данном этапе можно выделить факторы, оказывающие решающее влияние на прочность бетона: качество вяжущего (цемента), заполнителей и воды.

● Качество цемента оценивают, исходя из необходимости получения бетона заданной прочности и долговечности. Поэтому марку цемента следует выбирать в зависимости от прочности бетона, а вид цемента — в соответствии с условиями изготовления и эксплуатации конструкции.

Для изготовления бетона необходимо применять цемент такой марки, чтобы его количество в бетоне по возможности было минимальным. Снижение расхода цемента важно не только по экономическим причинам. При сокращении количества цемента уменьшается усадка бетона, возрастает его трещиностойкость. В массивных конструкциях, например гидротехнических сооружениях, большой расход цемента вызывает значительное тепловыделение, которое может привести к растрескиванию бетонного массива в результате неравномерного разогрева бетона.

Экономичный расход цемента достигается в первую

очередь правильным выбором соотношения между маркой цемента и прочностью бетона. Как правило, марка цемента должна превышать прочность бетона в 1,25...2 раза. Отношение  $R_{ц}/R_{б}$ , близкое к 1, допускается только по необходимости для высокопрочных бетонов ( $R_{б} \geq 50$  МПа). Если марка цемента намного превышает прочность бетона (например, в 3 раза), то расход цемента, рассчитанный из условия прочности, окажется меньше необходимого по условию плотности бетона. Чтобы избежать перерасхода высокомарочного цемента, в состав бетона вводят тонкомолотые минеральные добавки (золу ТЭС, шлаки, зола-шлаковые смеси).

● Вид цемента выбирают с учетом особенностей изготовления и условий эксплуатации бетона. Например, быстротвердеющие цементы целесообразно использовать при изготовлении сборных железобетонных изделий, так как при быстром наборе прочности ускоряется оборачиваемость металлических форм. Однако такие цементы вследствие большей экзотермии не рекомендуются для бетонов в массивных конструкциях гидротехнических сооружений. Для этих целей больше подходят смешанные цементы (пуццолановый и шлакопортландцемент), а для наружных зон гидросооружений, подвергающихся химической и морозной агрессии, — сульфатостойкий портландцемент. Для повышения морозостойкости бетона предпочтительнее использовать цементы с добавками ПАВ.

● Качество заполнителей оценивают зерновым составом, содержанием пылевидных и глинистых примесей, органических и других вредных примесей (см. 6.2). Загрязненные заполнители подвергают промывке и классификации, рассеивая на отдельные фракции.

● Качество воды для изготовления бетона зависит от содержания сульфатов, хлоридов и ряда других соединений (см. 6.3). Без предварительного испытания можно применять питьевую воду.

#### ■ Производство.

На данном этапе необходимо обеспечить приготовление однородной, хорошо перемешанной бетонной смеси, обладающей заданной удобоукладываемостью, и плотную укладку смеси в изделие. Здесь главными факторами, определяющими качество бетона, являются однородность смешивания компонентов и степень уплотнения бетонной смеси при ее укладке.

● Приготовление бетонной смеси включает операции

дозирования и перемешивания составляющих материалов. Компоненты дозируют по массе, обычно с помощью автоматических дозаторов. Отклонения от заданной массы при дозировании на замес не должны превышать  $\pm 2\%$  для цемента, воды и водных растворов добавок и  $\pm 2,5\%$  для заполнителей.

Компоненты перемешивают в бетоносмесителях периодического или непрерывного действия. Рабочий цикл смесителя периодического действия состоит из следующих операций: загрузки компонентов, перемешивания их в однородную массу, выгрузки готовой бетонной смеси. В смесителях непрерывного действия все три операции производятся непрерывно; они более производительны, но не обеспечивают точное дозирование.

При смешивании материалов приходится преодолевать силы сцепления между частицами, сопротивление смеси сдвигу, а также силы тяжести. Поэтому подвижные смеси с повышенным содержанием воды и вяжущего вещества, обладающие малым сопротивлением сдвигу, перемешиваются значительно легче, чем жесткие.

Состав и реологические свойства бетонной смеси во многом определяют выбор способа перемешивания материалов. По принципу перемешивания бетоносмесительные аппараты подразделяют на гравитационные и с принудительным перемешиванием. Гравитационные бетоносмесители выполнены в виде барабана, вращающегося вокруг оси. Частицы смеси поднимаются на некоторую критическую высоту, затем падают и, обладая значительной кинетической энергией, внедряются в бетонную смесь в нижней части смесительного барабана. Тем самым достигается эффект перемешивания (рис. 6.11).

Продолжительность перемешивания определяют опытным путем в строительной лаборатории. Для этого отбирают из смесителя пробы бетонной смеси с интервалом 15...30 с, изготавливают контрольные образцы. После затвердевания бетона определяют прочность и рассчитывают коэффициент вариации прочности бетона. Чем меньше коэффициент вариации, тем более однороден бетон. Продолжительность перемешивания назначают по времени, при котором коэффициент вариации прочности бетона не превышает 4...5%. При отсутствии опытных данных наименьшую продолжительность перемешивания в смесителях циклического действия назначают по данным табл. 6.5. Время перемешивания отсчитывают

с момента окончания загрузки всех материалов в смеситель до начала выгрузки.

Гравитационные смесители оказываются мало пригодными для перемешивания жестких бетонных смесей; в таких случаях применяют машины принудительного перемешивания (рис. 6.12). В смесительной чаше, совершающей 6...7 об/мин, установлены лопасти, вращающиеся

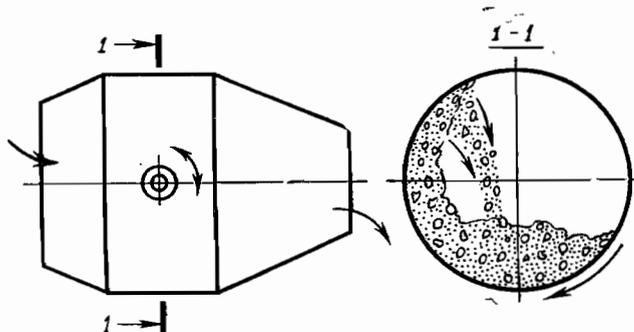


Рис. 6.11. Принцип перемешивания компонентов в гравитационном смесителе

Таблица 6.5. Минимальная продолжительность перемешивания бетонной смеси в смесителях

Объем готового замеса, л	Продолжительность смешивания, с			
	в гравитационных смесителях смеси марок			в смесителях принудительного перемешивания (для всех смесей)
	П1	П2	П3, П4	
500	90	75	60	50
Более 500	150	120	90	50

ся в сторону, противоположную вращению чаши. Компоненты смеси подвергаются принудительному перемещению по весьма сложным траекториям, благодаря чему и получают однородную бетонную смесь. Продолжительность смешивания крупнозернистых смесей обычно 2...3 мин, мелкозернистых 3...5 мин. Готовая смесь выгружается через люк в днище чаши.

● Уплотнение бетонной смеси преследует цель плотной укладке ее в форму (опалубку). Уплотненный бетон

должен обладать однородной структурой и содержать воздушные пустоты (неплотности) в минимальном объеме. Качество уплотнения характеризуют с помощью коэффициента, равного отношению фактической средней плотности бетонной смеси к теоретической, т. е.  $k_y = \frac{\rho_m^{\phi}}{\rho_m^r}$ . Уплотнение считают достаточным, если  $k_y \geq 0,98$ . Это означает, что в уплотненном бетоне содержится не более 2% вовлеченного воздуха.

Бетонные смеси требуют для уплотнения тем больше энергетических затрат, чем выше жесткость смеси. Основной способ уплотнения — вибрирование. При вибрировании частицы совершают вынужденные колебания, в результате которых ослабляются силы внутреннего трения и сцепления между частицами. Бетонная смесь приводится в состояние пластично-вязкого течения и, подобно тяжелой жидкости, равномерно заполняет форму.

Эффективность виброуплотнения зависит от интенсивности и продолжительности вибрирования. Интенсивность вибрирования  $I$  зависит от амплитуды  $a$  и частоты  $f$  колебаний, совместное влияние которых учитывается критерием В. Н. Шмигальского:

$$I = ka^2 f^3, \quad (6.12)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Для каждой бетонной смеси существует оптимальная интенсивность вибрирования, превышение которой может привести к разуплотнению структуры бетона. Подвижные бетонные смеси вибрируют при небольшой амплитуде (0,15...0,4 мм), но с высокой частотой колебаний (100...230 Гц). Для уплотнения жестких смесей — амплитуда колебаний до 0,7 мм с частотой 20...30 Гц.

Продолжительность вибрирования зависит от интенсивности применяемого уплотнения и реологических характеристик бетонной смеси. Если производственная установка создает колебания той же интенсивности, что и стандартная лабораторная виброплощадка, то длительность виброобработки бетонной смеси в изделии принимают обычно вдвое большей показателя жесткости.

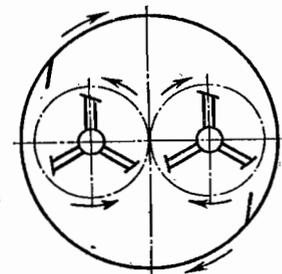


Рис. 6.12. Схема перемешивания в противоточном смесителе принудительного действия с вращающейся горизонтальной чашей (вид сверху)

Согласно основному закону прочности бетона при более сильном механическом уплотнении можно уложить бетонную смесь с меньшим значением В/Ц и получить бетон более высокой прочности (см. рис. 6.7). Если же прочность бетона оставить неизменной, то можно уменьшить расход цемента пропорционально сокращению количества воды затворения. Следовательно, интенсивное уплотнение способствует экономии цемента.

По способу передачи колебаний от вибратора к бетону различают следующие приемы вибрирования бетонных смесей: а) смесь вибрируют вместе с формой, установленной на виброплощадке; данный способ широко используют при заводском производстве изделий; б) колебания передаются бетонной смеси через упругие элементы опалубки (например, через боковые стенки), на которые навешены вибраторы; навесные вибраторы применяют при изготовлении изделий на стендах и полигонах; в) колебания передаются непосредственно через верхнюю поверхность бетонной смеси с помощью так называемых поверхностных вибраторов; г) колебания передаются с помощью глубинных (внутренних) вибраторов, погружаемых непосредственно в бетонную смесь.

Переносные поверхностные и глубинные вибраторы применяют для уплотнения монолитного бетона на строительной площадке.

По роду привода и движущей энергии вибраторы подразделяют на электромеханические, электромагнитные и пневматические. Чаще встречаются вибраторы с электромеханическим приводом, в которых механические колебания создаются в результате вращения неуравновешенного груза, расположенного на оси электродвигателя, либо соединенного с ним с помощью гибкого вала.

На заводах железобетонных изделий используют эффективные комбинированные способы уплотнения бетонных смесей: вибрирование под пригрузом, виброштампование, вибропрокат, прессование. Для изготовления полых железобетонных изделий, форма которых приближается к поверхности вращения (трубы, опоры ЛЭП), применяют уплотнение с помощью центробежных сил — центрифугирование.

### ■ Твердение.

Уложенная в опалубку бетонная смесь благодаря гидратации цемента самопроизвольно затвердевает. Заданная проектом прочность достигается при определенном уходе за твердеющим бетоном. Уход состоит в создании оптимального температурно-влажностного режима твердения и в защите бетона от ударов и сотрясаний, могущих нарушить еще не сложившуюся его структуру. Важнейшими факторами, определяющими прочность бе-

тона на данном этапе, являются температурно-влажностные условия и длительность твердения.

Твердение бетона происходит в теплой и влажной среде. При преждевременном высыхании или замерзании бетона взаимодействие цемента с водой прекращается, что отрицательно сказывается на структуре и свойствах бетона. В нормальных условиях, т. е. во влажном воздухе с температурой  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , предел прочности бетона при сжатии нарастает пропорционально логарифму времени твердения:

$$R_n/R_{28} = \lg n / \lg 28, \quad (6.13)$$

где  $n$  — срок твердения в сутках ( $n > 3$ );  $R_{28}$  — предел прочности бетона в возрасте 28 сут.

Часто возникает необходимость ускорить твердение. Для этого используют способы тепловой обработки, позволяющие повысить температуру бетона  $R_{\theta},\%$

при обязательном сохранении его влажности. В результате повышения температуры скорость взаимодействия цемента с водой значительно возрастает, что приводит к увеличению прочности бетона в начальные сроки. Обычно в качестве теплоносителя применяют пар или паровоздушную смесь с температурой  $60 \dots 90^\circ\text{C}$ . Прочность бетона после пропаривания в течение  $10 \dots 14$  ч достигает  $70 \dots 75\%$  от требуемой (рис. 6.13). Еще более значи-

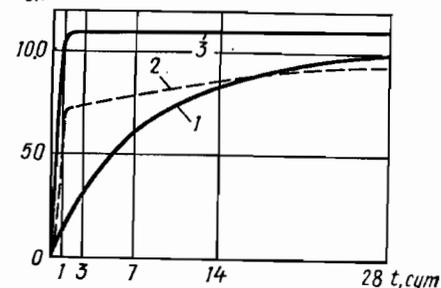


Рис. 6.13. Нарастание прочности бетона:

1 — в нормальных условиях твердения; 2 — пропаренного при атмосферном давлении и температуре  $85^\circ\text{C}$ ; 3 — пропаренного в автоклаве при давлении насыщенного пара  $0,8$  МПа и температуре  $175^\circ\text{C}$

тельно ускоряет твердение бетона обработка насыщенным паром при давлении  $0,8 \dots 12$  МПа и температуре  $175 \dots 190^\circ\text{C}$ , осуществляемая в герметичных аппаратах — автоклавах. Однако такую обработку можно использовать только в заводских условиях; она связана с удорожанием изделий. Поэтому автоклавную обработку применяют в тех случаях, когда обычные методы ускорения

твердения неэффективны, например, для изделий из силикатных и ячеистых бетонов.

Для ускорения твердения бетона применяют также электропрогрев изделий, тепловую обработку с помощью инфракрасного излучения. Излучатели нагреваются электрическим током или газом. Выделяемая ими лучистая энергия поглощается стенками опалубки либо непосредственно изделием и аккумулируется в бетоне в виде теплоты.

Для ускорения твердения бетона применяют также добавки-ускорители — хлорид кальция и др. (см. 6.3). Эффект достигается в начальные сроки твердения, а к 28 суткам прочность бетона оказывается такой же, как и без добавок.

### Свойства бетона

● *Способность бетона воспринимать в конструкциях зданий и сооружений действие силовых нагрузок зависит от его механических свойств.* Вместе с тем бетон как материал универсального типа должен сопротивляться воздействию окружающей среды, поэтому необходимо иметь представление об особенностях его поведения под влиянием влаги, температуры и других факторов, т. е. знать основные физические свойства бетона.

● *Прочность* — важнейший показатель качества конструктивных бетонов. Чаще всего контролируют прочность на сжатие, в необходимых случаях определяют также прочность на растяжение и изгиб.

Предел прочности бетона при сжатии в проектном возрасте определяют испытанием на одноосное сжатие стандартных образцов-кубов, имеющих ребро 150 мм (кубиковая прочность  $R_{сж}$ ). Допускается испытывать кубы других размеров или образцов-цилиндров; полученные результаты необходимо приводить к стандартному образцу с помощью масштабных коэффициентов.

Предел прочности на растяжение при изгибе  $R_{р,и}$  определяют, испытывая призмами размерами  $150 \times 150 \times 600$  по схеме балки на двух опорах, нагружаемой двумя сосредоточенными силами, которые приложены в средней трети пролета.

Предел прочности при осевом растяжении  $R_p$  определяют испытанием на разрывной машине образцов специальной формы — «восьмерок». Для предварительной оценки пользуются результатами определения  $R_{р,и}$ , учитывая устойчивое соотношение  $R_p/R_{р,и} = 0,58$ .

Единичные результаты испытаний образцов недостаточно характеризуют прочность бетона, уложенного в конструкцию. Часть значений может оказаться намного выше требуемой по расчету прочности, другая часть — ниже. В последнем случае конструкция может не выдержать расчетных нагрузок и обрушиться. Вследствие неоднородности получаемого бетона на передний план выдвигается проблема повышения надежности бетонных и железобетонных конструкций. Чем выше культура строительства, лучше качество приготовления и укладки бетона в конструкцию, тем меньше будут возможные колебания показателей качества, в частности прочности бетона. Статистической характеристикой однородности свойств бетона является коэффициент вариации  $v$ , который равен отношению среднего квадратичного отклонения отдельных результатов испытаний прочности к его средней прочности. Чем меньше его значение, тем более однороден по свойствам бетон. В идеальном случае  $v = 0$ , на практике для контроля прочности тяжелого бетона принимают следующие оценки: при  $v < 6\%$  однородность хорошая, при  $v = 13\%$  — удовлетворительная, значения  $v > 16\%$  недопустимы.

Таким образом, для нормирования прочности необходимо использовать стандартную характеристику, которая гарантировала бы получение бетона заданной прочности с учетом возможных ее колебаний. В соответствии со СТ СЭВ 1406—78 такой характеристикой является класс бетона.

● *Класс бетона* — это числовая характеристика какого-либо его свойства, принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это значит, что установленное свойство обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100. Например, класс бетона В20 следует понимать так: с вероятностью 0,95 при определении предела прочности при сжатии бетона на любом, произвольно взятом участке конструкции будет получен результат 20 МПа и более, и лишь в 5 % случаев можно ожидать значения менее 20 МПа.

ГОСТ 26633—85 устанавливает следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие (МПа): В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60. Допускается также применение промежуточных классов бетона В22,5 и В27,5.

В случаях, когда определяющей характеристикой является прочность на растяжение, назначают и контролируют классы тяжелого бетона по прочности на осевое растяжение (МПа): В0,8; В1,2; В1,6; В2,0; В2,4; В2,8; В3,2.

Понятие «класс бетона» позволяет назначать необходимую прочность с учетом ее фактической или возможной вариации в данной партии бетона, пользуясь соотношением

$$B = \bar{R} (1 - tv), \quad (6.14)$$

где  $B$  — класс бетона по прочности на сжатие, МПа;  $\bar{R}$  — средняя прочность в контролируемой партии бетона, МПа;  $t$  — безразмерный коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона; для обеспеченности 0,95 значение  $t=1,64$ ;  $v$  — коэффициент вариации прочности, доли единицы.

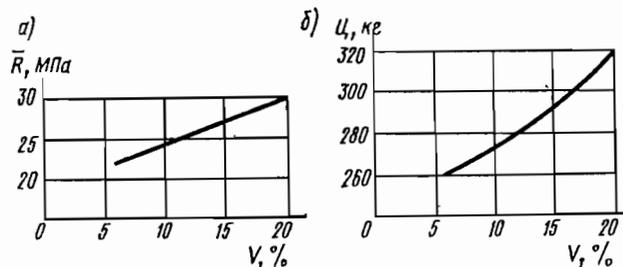


Рис. 6.14. Зависимость средней прочности  $\bar{R}$  бетона класса В20 (а) и расхода цемента  $C$  (б) от коэффициента вариации  $v$

На рис. 6.14 показано изменение средней прочности при увеличении коэффициента вариации для бетона В20, изготовляемого на рядовых заполнителях и портландцементе М400. Чем неоднороднее бетон, тем выше коэффициент вариации. Следовательно, для обеспечения заданного класса бетона придется увеличить среднюю прочность и соответственно расход цемента. Это вызовет необоснованное удорожание бетона, которое можно было избежать при тщательном выполнении всех технологических операций на стадиях приготовления, транспортирования, укладки бетонной смеси и твердения бетона.

Для конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406—78, показатели прочности бетона характеризуют марками.

● *Марка — числовая характеристика какого-либо свойства бетона, принимаемая по его среднему значению, т. е. без учета коэффициента вариации.*

Соотношение между классами и марками тяжелого бетона по прочности на сжатие и осевое растяжение при нормативном коэффициенте вариации 13,5 % (ГОСТ 26633—85) приведено на рис. 6.15.

При небольших напряжениях и кратковременном нагружении бетон деформируется как упругое тело. Если напряжение  $\sigma > 0,2R$ , то наблюдается заметная остаточная (пластическая) деформация бетона. Поэтому диаграмма деформирования бетона непрямолинейна (рис.

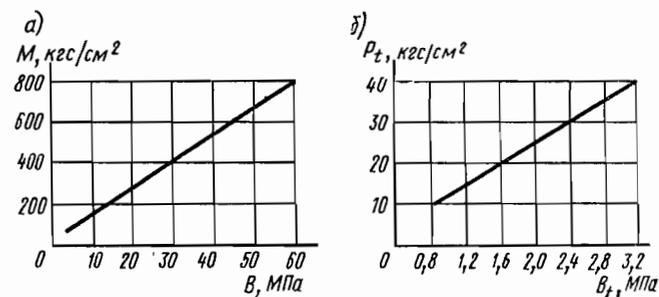


Рис. 6.15. Соотношение между классами и марками тяжелого бетона по прочности на сжатие (а) и осевое растяжение (б)

6.16), и для каждого значения напряжений существует свой модуль деформации  $E_i = \sigma_i / \epsilon_p$ . Для расчетов обычно используют начальный модуль упругости бетона (при сжатии или растяжении), который вычисляют при напряжении, не превосходящем  $0,2R$  бетона, по формуле

$$E_H = 0,2R / \epsilon_{0,2R}.$$

Возникновение пластических деформаций связано с особенностями структуры бетона. Под влиянием напряжений на поверхности сцепления цементного камня с заполнителем и в самом цементном камне образуются микротрещины. Кроме того, пластические деформации происходят в гелевой составляющей цементного камня. Цементный гель в силу особенностей своего строения обладает свойством вязкого течения под нагрузкой, что является причиной развития деформаций ползучести.

● *Ползучесть — это способность бетона к увеличению деформаций под действием постоянной нагрузки какого-либо вида — сжатия, растяжения, изгиба.* Деформации ползучести затухают только через несколько лет эксплуатации конструкции.

Конечная деформация ползучести зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, условий работы конструкции и других факторов. Ползучесть уменьшается в бетонах более тощих (т. е. с меньшим расходом цемента), а также приготовленных при меньших значениях В/Ц. Использование заполнителей из плотных прочных пород позволяет уменьшить ползучесть бетона.

Ползучесть бетона вызывает релаксацию (перераспределение) напряжений в конструкциях. Благодаря

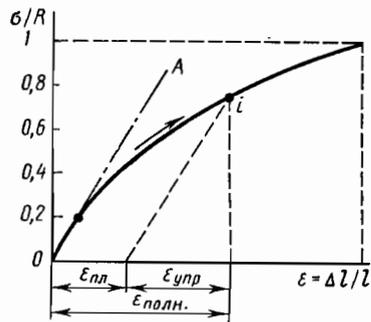


Рис. 6.16. Диаграмма деформирования бетона:

$\epsilon_{пл}$  и  $\epsilon_{упр}$  — соответственно пластическая и упругая деформации

этому значительно снижаются напряжения в статически неопределимых конструкциях, возникающие под действием температуры, влажности, осадки опор. В этом смысле ползучесть может рассматриваться как положительное свойство. В ряде случаев релаксация напряжений играет отрицательную роль. Она приводит к нежелательным потерям натяжения арматуры в преднапряженных железобетонных конструкциях.

● **Сцепление с арматурой** — свойство бетона, обеспечивающее возможность совместной работы его со стальной арматурой в железобетонной конструкции. С одной стороны, прочность сцепления зависит от прочности бетона и адгезионных свойств цементного камня, которые, в свою очередь, определяются активностью вяжущего, водоцементным отношением, сроком и условиями твердения бетона. С другой стороны, прочность сцепления повышается с увеличением площади поверхности контакта между бетоном и стальной арматурой. Последнее достигается путем применения арматурных стержней периодического профиля.

Для тяжелого бетона на портландцементе прочность сцепления со стальной арматурой составляет примерно 15...20 % предела прочности бетона при сжатии в возрасте 28 сут.

Стабильная совместная работа бетона и арматуры возможна в том случае, если арматура не подвергается

коррозии. Обычно стальная арматура в бетоне может длительное время сохраняться в хорошем состоянии, что объясняется наличием щелочной среды в цементном бетоне.

Арматура в железобетонных конструкциях всегда покрыта защитным слоем бетона толщиной 10...30 мм. При армировании ячеистых бетонов, а также плотных силикатных бетонов стальную арматуру предварительно защищают специальным покрытием (цементно-битумным, цементно-полистирольным и т. п.).

● **Влагоемкость и проницаемость.** Благодаря капиллярно-пористому строению бетон может поглощать влагу в виде водяных паров (гигроскопическое увлажнение) либо впитывать воду при непосредственном соприкосновении с ней.

● **Свойство бетона удерживать поглощенную влагу называют влагоемкостью.** После нескольких лет пребывания на воздухе бетон приобретает равновесную гигроскопическую влажность, значение которой зависит от характеристик пористости материала и условий окружающей среды. Так, равновесная гигроскопическая влажность весьма незначительна для плотных тяжелых бетонов (около 2...3 %), но в легких и ячеистых бетонах, обладающих развитой системой пор, она может достигать соответственно 7...8 и 20...25 %. Водопоглощение (максимальная влагоемкость) бетона тем больше, чем больше в бетоне относительный объем открытых, сообщающихся между собой пор. Максимальное водопоглощение тяжелого бетона достигает 4...8 % по массе (10...20 % по объему). Чрезмерное увлажнение приводит к понижению прочности бетона и создает опасность его быстрого разрушения при попеременном замораживании и оттаивании. Для уменьшения влагоемкости прибегают к гидрофобизации бетона, а также устраивают паро- и гидроизоляцию конструкций.

● **Водопроницаемость бетона зависит от проницаемости цементного камня, заполнителя и контактной зоны.** Опыты показывают, что проницаемость цементного камня при В/Ц=0,4...0,7 весьма мала и ее значения сопоставимы с проницаемостью плотных горных пород. Следовательно, основными путями фильтрации воды через бетон могут явиться: зона контакта между заполнителем и цементным камнем; микротрещины в цементном камне; дефекты в зоне сцепления бетона со стальной арматурой.

● Технической характеристикой, определяющей со-

противляемость бетона прониканию воды, служит марка по водонепроницаемости  $W$ , которая выражает максимальное давление, при котором еще не наблюдается фильтрация воды через стандартный образец (0,2...2,0 МПа).

Для уменьшения водопроницаемости необходимо при изготовлении бетона использовать материалы надлежащего качества, создавать условия твердения, способствующие повышению степени гидратации цемента и исключающие появление в бетоне микротрещин. Хорошие результаты дает применение гидрофобно-пластифицирующих и уплотняющих добавок.

● *Усадка и набухание* — способность бетона к изменению объема, обусловленная преимущественно изменением его влагосодержания. При твердении на воздухе уменьшение влажности бетона сопровождается сокращением размеров бетонного элемента, т. е. усадкой. Усадка бетона складывается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. *Влажностная усадка* происходит в результате испарения влаги из капилляров с радиусом менее 0,1 мкм, а также из цементного геля. *Карбонизационная усадка* вызывается уменьшением объема цементного камня вследствие перехода содержащегося в нем  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$  (под воздействием углекислоты воздуха). *Контракционная усадка* связана с уменьшением абсолютного объема при твердении системы цемент—вода. Эта последняя составляющая усадки невелика — 10 % от влажностной усадки.

Во избежание появления трещин в сооружениях большой протяженности устраивают усадочные швы. Усадка в различных слоях конструкции происходит неравномерно, что связано с неоднородным распределением влагосодержания в бетонном элементе. Это вызывает напряжения, приводящие к появлению усадочных трещин.

Увлажнение в результате атмосферных воздействий или прямого контакта с водой приводит к увеличению объема бетона — набуханию. Как показывают опыты, деформации набухания бетона значительно меньше его усадки (табл. 6.6).

Из табл. 6.6 следует, что вид заполнителя во многом определяет влажностные деформации бетона. В еще большей степени на усадку и набухание влияет состав бетона: чем меньше расход цемента и ниже  $W/C$ , тем меньше и влажностные деформации бетона.

Таблица 6.6. Влажностные деформации тяжелого бетона

Вид заполнителя	Усадка на воздухе, мм/м	Набухание в воде, мм/м
Щебень из гранита	0,37	0,131
Щебень из известняка	0,39	0,05
Щебень из песчаника	0,75	0,055
Гравий	0,79	0,074

● *Теплопроводность* бетона изменяется в широких пределах. Так, для тяжелого бетона теплопроводность равна 1,3...1,7 Вт/(м·°С), для легких бетонов — 0,2...0,7 Вт/(м·°С). Низкая теплопроводность легких бетонов обусловлена их пористым строением: воздух, находящийся в порах, обладает теплопроводностью 0,023 Вт/(м·°С). Низкая теплопроводность легких бетонов определяет их преимущественное применение в ограждающих конструкциях зданий. Использование для этой цели тяжелого бетона возможно при устройстве специального слоя из эффективного теплоизоляционного материала.

● *Линейный коэффициент температурного расширения* (ЛКТР) тяжелого бетона в воздушно-сухом состоянии находится в пределах  $(10...12) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , что близко к ЛКТР стали —  $12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Это обеспечивает совместимость термических деформаций бетона и арматуры.

● *Морозостойкость* во многих случаях предопределяет долговечность бетона. Это свойство является важным для бетона, используемого в гидротехнических сооружениях, промышленных конструкциях (градирни, отстойники), дорожного бетона, т. е. во всех случаях, когда возможно попеременное замораживание и оттаивание водонасыщенного или сильно увлажненного материала.

В зависимости от морозостойкости тяжелый бетон подразделяют на марки: F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F800 и F1000. Проектную марку по морозостойкости назначают с учетом условий эксплуатации конструкции.

Морозостойкость плотноуложенного бетона зависит главным образом от качества примененных для его изготовления материалов и особенностей капиллярно-пористой структуры. Цемент не должен содержать тонкомолотых добавок, повышающих его водопотребность (трепела, опоки). Высокая морозостойкость достигается

при использовании портландцемента с содержанием  $C_3A$  не более 5...8 %. Заполнители необходимо применять по возможности чистые с минимальным количеством примесей. Морозостойкость крупного заполнителя должна быть не ниже требуемой для бетона в целом.

Пористая структура морозостойкого бетона должна содержать минимум капиллярных пор, насыщающихся водой при обычном увлажнении. По данным Г. И. Горчакова, объем капиллярных пор уменьшается при сокращении количества воды затворения в бетоне и при повышении степени гидратации вяжущего вещества. Поэтому в стандартах на бетон конструкций, предназначенных для работы в условиях морозной агрессии, ограничивают максимальные значения В/Ц (табл. 6.7).

Таблица 6.7. Водоцементное отношение в бетонных смесях для гидротехнического тяжелого бетона

Бетон	В/Ц, не более, при марке по морозостойкости бетона конструкций						
	железобетонных и тонкостенных бетонных			массивных бетонных			
	F100 и менее	F150—F200	F300	F75 и менее	F100—F150	F200	F300
Подводный	0,60	—	—	0,60	—	—	—
Переменного уровня воды	—	0,45	0,42	—	0,55	0,50	0,45
Надводный	—	0,50	0,45	—	0,55	0,55	—

Повышению морозостойкости способствуют все факторы, сокращающие расход воды в бетонной смеси: увеличение интенсивности уплотнения, применение пластифицирующих добавок и др. Большое значение имеет создание необходимых температурно-влажностных условий для более полной гидратации цемента.

## 6.6. Легкие и ячеистые бетоны

### ■ Легкие бетоны.

● К легким относят бетоны со средней плотностью не более  $2000 \text{ кг/м}^3$ . Средняя плотность бетона зависит в основном от плотности и расхода заполнителей, занимающих большую часть в его объеме. Поэтому для облег-

чения бетона в его состав вводят заполнители, отличающиеся пониженной плотностью, либо сокращают их расход. Дополнительный эффект дает облегчение цементующего вещества путем его поризации. Во всех случаях образуется структура, насыщенная воздушными порами, пустотами и ячейками. Благодаря этому легкие бетоны приобретают свойства, выгодно отличающие их от тяжелого бетона (например, пониженную теплопроводность).

● По типу образующейся структуры различают *легкий бетон на пористых заполнителях, крупнопористый и поризованный бетоны*.

В тяжелом бетоне заполнителями служат гравий или щебень из прочных горных пород, средняя плотность которых достигает  $2600...2800 \text{ кг/м}^3$ . Если в качестве заполнителя используют легкие пористые материалы природного или искусственного происхождения, то получают легкий бетон на пористых заполнителях. Для изготовления крупнопористого бетона из состава намеренно исключают мелкий заполнитель (песок), благодаря чему создается значительный объем межзерновых пустот. Такой бетон называют еще беспесчаным.

Возможно также получение легкого бетона на пористом заполнителе, в котором межзерновое пространство занято тестом вяжущего, насыщенным мелкими воздушными ячейками-порами. Такой материал называют поризованным легким бетоном.

Входящие в состав легкого бетона пористые заполнители не только легче заполнителей из плотных пород, но и обладают рядом особенностей, сказывающихся на свойствах легкобетонной смеси и затвердевшего бетона. В легком бетоне применяют минеральные (природные, искусственные) и органические (употребляемые гораздо реже) пористые заполнители.

● *Природные заполнители* получают путем дробления и фракционирования пористых горных пород магматического или осадочного происхождения: вулканического туфа, пемзы, известкового туфа, известняка-ракушечника и некоторых других. Природные пористые заполнители являются местными материалами; их использование в легком бетоне в основном ограничивается районом месторождения.

● *Искусственные пористые заполнители*, специально изготавливаемые и отходы промышленности, получили гораздо большее распространение. К специально изготов-

ляемым пористым заполнителям относят: керамзит, аглопорит, вспученный перлит, вермикулит, шлаковую пемзу, зольный гравий и др. Из отходов промышленности применяют гранулированные металлургические шлаки, топливные шлаки и золы.

*Керамзит* — продукт обжига вспучивающихся глин. Его получают обычно в виде гранул округлой формы диаметром 5...40 мм (керамзитовый гравий). Этот легкий и прочный заполнитель с насыпной плотностью не более 600 кг/м<sup>3</sup> применяют чаще других пористых заполнителей: около 80 % легкобетонных конструкций изготавливают на керамзитовом гравии.

*Керамзитовый песок* получают дроблением некондиционных зерен керамзитового гравия до крупности 0,16...5 мм либо путем обжига сырья во взвешенном состоянии.

*Аглопорит* выпускают в виде пористого щебня, гравия или песка. Его изготавливают обжигом на спекательных (агломерационных) решетках глиносодержащего сырья, топливных зол или шлаков с добавкой 8...10 % топлива (каменного угля). Высокая температура, развивающаяся при сгорании угля, приводит к спеканию шихты, а образующиеся газы несколько вспучивают массу, что в итоге приводит к получению пористого материала.

*Вспученные перлит и вермикулит* получают высокотемпературной обработкой сырья, содержащего небольшое количество химически связанной воды. Для изготовления вспученного перлита сырьем служат вулканические стеклообразные породы (перлит, обсидиан), а для вспученного вермикулита — гидрослюда (см. гл. 11). В результате получают весьма легкие заполнители (щебень и песок), которые используют в производстве теплоизоляционного легкого бетона.

*Шлаковую пемзу* изготавливают на металлургических заводах путем поризации шлакового расплава при быстром его охлаждении. Куски шлаковой пемзы дробят и фракционируют, получая пористый щебень. Шлаковая пемза — один из самых дешевых пористых заполнителей.

*Зольный гравий* получают обжигом окатанных гранул, состоящих из пылевидной золы ТЭС с небольшой добавкой топлива. Возможно также изготовление безобжигового зольного гравия, в котором отдельные частицы золы скреплены в единое целое каким-либо вяжущим веществом, например портландцементом или гипсоцементно-пуццолановым вяжущим.

*Топливные шлаки* образуются в топках при спекании

и частичном вспучивании неорганических примесей, содержащихся в угле. Этот материал характеризуется неоднородностью свойств, что сильно ограничивает его применение в качестве пористого заполнителя.

*Пылевидная зола ТЭС* (зола-унос) образуется при сжигании размолотого каменного угля. Ее используют как мелкий заполнитель в легких бетонах при условии, что содержание частиц несгоревшего топлива не превышает установленных пределов (как правило, не более 5 % по массе).

● Основная характеристика пористых заполнителей — *насыпная плотность* в сухом состоянии. Для крупного пористого заполнителя установлены марки по насыпной плотности 250...1200 кг/м<sup>3</sup>, а для пористого песка — 100...1400 кг/м<sup>3</sup>.

● *Прочность* определяют путем раздавливания пробы крупного пористого заполнителя в цилиндре. Значения прочности для каждого вида заполнителей различны. У керамзитового гравия, например, они составляют 0,6...2,5 МПа.

● *Морозостойкость* крупных пористых заполнителей должна соответствовать марке не ниже F15. Их поставляют раздельно по фракциям 5...10, 10...20 и 20...40 мм.

● В отличие от тяжелых заполнителей из плотных горных пород зерна легких заполнителей обладают весьма *развитой шероховатой поверхностью и большой пористостью*. Благодаря развитой системе пор заполнители способны поглотить значительное количество воды затворения, причем наиболее интенсивное впитывание происходит в первые 15...20 мин, т. е. в момент приготовления и укладки легкобетонной смеси. Быстрое впитывание воды в первоначальные сроки связано с наличием крупных пор, в дальнейшем постепенно насыщаются тонкие поры и капилляры.

Быстрый отсос воды и шероховатая поверхность заполнителей делают легкобетонные смеси *недостаточно удобоукладываемыми*. Поэтому при изготовлении легких бетонов особенно эффективным является применение гидрофобно-пластифицирующих добавок, например мылонафта, кубовых остатков синтетических жирных кислот, кремнийорганических жидкостей и др.

Основы теории твердения легких бетонов и общий метод определения их состава разработаны проф. Н. А. Поповым.

● *Средняя плотность* бетона, как мы видели ранее,

зависит главным образом от плотности заполнителя. Чем легче заполнитель и чем больше его расход, тем ниже средняя плотность бетона. Поэтому при определении состава легкого бетона стремятся к максимальному насыщению бетона пористым заполнителем. В этом случае

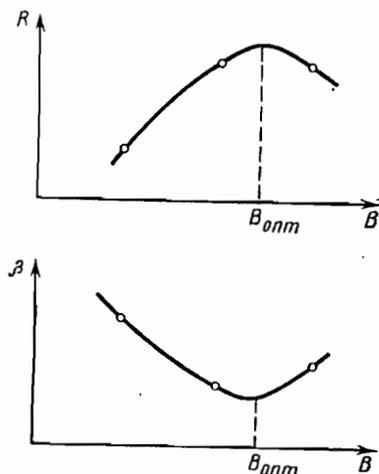


Рис. 6.17. Зависимость прочности на сжатие легкого бетона и коэффициента выхода смеси от расхода воды затворения (по Н. А. Попову)

благодаря компактному расположению зерен заполнителя становится возможным получение структур бетона с низкими расходами цемента. Одновременно достигается и наиболее выгодное сочетание основных свойств бетона: плотности, теплопроводности и прочности.

Наибольшего насыщения бетона пористым заполнителем добиваются путем подбора рационального зернового состава смеси крупного и мелкого заполнителей, а также использованием технологических приемов, к которым относятся принудительное перемешивание компонентов, интенсивное уплотнение бетонной смеси (вибрирование с при-

грузом, вибропрокат, виброштампование и др.).

● *Прочность легкого бетона* зависит от тех же факторов, что и прочность тяжелого, т. е. от качества примененных материалов и пористости цементного камня. Для определения состава легкого бетона удобно пользоваться экспериментальной зависимостью, связывающей прочность бетона с расходом воды, а не с водоцементным отношением, потому что при заданном расходе пористого заполнителя водопотребность легкого бетонной смеси оказывается примерно постоянной величиной, мало зависящей от расхода цемента. Это связано с тем, что водопотребность пористого заполнителя существенно выше водопотребности цемента.

При определении оптимального количества воды затворения используют установленную Н. А. Поповым за-

висимость прочности легкого бетона  $R$  и коэффициента выхода  $\beta$  от расхода воды  $B$  (рис. 6.17). Коэффициент выхода

$$\beta = V_{б.с.} / (V_{ц.} + V_{п.} + V_{к.}), \quad (6.15)$$

где  $V_{б.с.}$  — объем получаемой бетонной смеси;  $V_{ц.}$ ,  $V_{п.}$ ,  $V_{к.}$  — насыпные объемы использованных компонентов: цемента, мелкого и крупного заполнителей.

Наличие двух ветвей на приведенных кривых связано с неодинаковым уплотнением смеси и различной пористостью затвердевшего бетона (см. рис. 6.6). Точка минимума на кривой  $\beta = f(B)$  свидетельствует о максимальном сближении составляющих бетона и получении наиболее компактной структуры.

● *Минимальный коэффициент выхода* — важнейший признак, по которому быстро определяется оптимальный расход воды затворения в легком бетоне на пористых заполнителях.

Легкобетонные смеси характеризуются пониженной удобоукладываемостью как при недостатке, так и при избытке воды затворения. При расходе воды, меньшем оптимального, пластичность вяжущего теста недостаточна для сближения составляющих смеси и образования слитной структуры. Избыток воды вызывает расслоение бетонной смеси и, следовательно, неоднородность свойств бетона в различных зонах бетонизируемой конструкции.

Зависимость прочности легкого бетона от основных факторов — качества цемента, пористого заполнителя и значения  $\Pi/B$  — описывается такой же формулой, как и для тяжелого бетона [см. формулу Болумея—Скрамтаева (6.4)], однако значения эмпирических коэффициентов  $A$  и  $b$  другие. При оптимальном расходе воды затворения, подобранном для применяемых цемента и заполнителей, зависимость упрощается и принимает вид

$$R_0 = kR_{ц}(\Pi - \Pi_0), \quad (6.16)$$

где  $k$  и  $\Pi_0$  — параметры, определяемые экспериментально.

● *Качество легкого бетона* оценивают двумя важнейшими показателями: классом по прочности и маркой по средней плотности. Классы конструкционного легкого бетона плотной структуры по прочности на сжатие В2,5...В40, по прочности на осевое растяжение — В0,8...В3,2. Марка легкого бетона по средней плотности вы-

ражает максимальное значение этого показателя (в  $\text{кг/м}^3$ ). Для конструкционного легкого бетона установлены марки по средней плотности от D800 до D2000 с шагом  $100 \text{ кг/м}^3$ . Характерно, что для конструкционного бетона при определенных марках по средней плотности классы по прочности на сжатие нормируют в ограниченном диапазоне. Так, при марках D1000 и D1100 классы могут находиться в пределах B2,5...B12,5.

Нормирование средней плотности и, следовательно, пористости легкого бетона обусловлено необходимостью получения определенной теплопроводности, поскольку такой бетон используют в основном для изготовления наружных ограждающих конструкций.

● *Малая теплопроводность* — важное преимущество легкого бетона перед тяжелым (табл. 6.8). Благодаря

Таблица 6.8. Теплопроводность  $\lambda$ , Вт/(м·°С), легких бетонов

Вид бетона	Средняя плотность бетона, $\text{кг/м}^3$						
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Керамзитобетон	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Перлитобетон	0,15	0,22	0,28	0,35	0,4	0,45	0,55
Бетон на шлаковой пемзе	—	—	—	0,35	0,4	0,5	0,6
Бетон на топливных шлаках, аглопоритобетон и бетон на природных пористых заполнителях	—	0,23	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75
Крупнопористый (беспесчаный) бетон	0,25	0,3	0,35	0,45	0,5	0,65	0,85

этому в наружных ограждающих конструкциях из легкого бетона не устраивают дополнительного теплоизоляционного слоя, как это делается обычно в конструкциях из тяжелого бетона.

Конструкционные легкие бетоны классов B12,5...B40 изготавливают на обычном или быстротвердеющем портландцементе, шлакопортландцементе M400...M600. Заполнитель, например керамзитовый или аглопоритовый гравий, берут более прочный и более плотный со средней плотностью  $600\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ . Для увеличения прочности растворной части бетона в качестве мелкого запол-

нителя используют кварцевый песок. Средняя плотность конструкционного легкого бетона на кварцевом песке достигает  $1700\text{--}2000 \text{ кг/м}^3$ . При одинаковой прочности с тяжелым бетоном коэффициент конструктивного качества легкого бетона оказывается на  $20\text{--}40\%$  выше. Поэтому его выгодно применять в конструкциях пролетных строений мостов и ферм. Сокращение нагрузок от собственной массы конструкций позволяет значительно уменьшить расход стальной арматуры в легком железобетоне.

● *Деформативные свойства* легких бетонов лучше, чем тяжелых. При одинаковой прочности предельная сжимаемость легких бетонов литного строения составляет  $1,5\text{--}2 \text{ мм/м}$ , что в  $1,5\text{--}2$  раза выше, чем у тяжелых бетонов. Предельная растяжимость легкого бетона принимается равной  $0,2 \text{ мм/м}$  (против  $0,1 \text{ мм/м}$  для тяжелого бетона), но ее фактические значения достигают  $0,3\text{--}0,4 \text{ мм/м}$ . Благодаря большей предельной растяжимости легкие бетоны оказываются более трещиностойкими в сравнении с тяжелым бетоном. Вместе с тем надо учитывать, что легкие бетоны обладают большой усадкой и ползучестью и по этим показателям уступают тяжелому бетону.

При использовании легкого бетона в наружных ограждающих конструкциях жилых и промышленных зданий, гидротехнических, мостовых и других сооружениях к материалу предъявляются дополнительные требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Марки легкого бетона устанавливают: по морозостойкости F25...F500, по водонепроницаемости W0,2...W1,2. Фактическая водонепроницаемость легкого бетона литной структуры может быть еще выше. Например, по данным Г. И. Горчакова, керамзитобетон с расходом цемента около  $350 \text{ кг/м}^3$  не фильтрует воду даже при давлении  $2 \text{ МПа}$ .

#### ● Поризованный легкий бетон.

Этот бетон получают путем образования в цементном камне мелких пор. Для этого используют добавки пенообразующих или газообразующих веществ. Благодаря возникновению дополнительного объема пор (не менее  $6\%$ ) существенно уменьшаются средняя плотность и теплопроводность поризованного бетона. Марки бетона по средней плотности D800...D1400, классы по прочности на сжатие B2,5...B7,5.

Легкие бетоны поризованной структуры (например,

керамзитопенобетон, керамзитогазобетон) наиболее целесообразно использовать в конструкциях наружных ограждений — стенах, покрытиях, где наиболее эффективно проявляются их теплозащитные свойства.

#### ■ Крупнопористый бетон.

Этот бетон получают при затвердевании бетонной смеси, состоящей из цемента, крупного заполнителя и воды. Благодаря исключению из состава бетона песка и ограниченному расходу цемента (всего 70...150 кг/м<sup>3</sup>) средняя плотность крупнопористого бетона составляет 1700...1900 кг/м<sup>3</sup>, т. е. примерно такая же, как и кирпичной кладки.

В структуре крупнопористого бетона много сравнительно крупных пустот, образованных вследствие того, что межзерновое пространство в крупном заполнителе не полностью занято связующим веществом. Теплопроводность крупнопористого бетона составляет 0,64...0,95 Вт/(м·°С). Класс бетона по прочности на сжатие не более В7,5; прочность на растяжение не нормируют.

Крупнопористый бетон применяют только в конструкциях, воспринимающих сжимающие усилия. Из него возводят монолитные и сборные (блочные) наружные стены зданий. Для исключения продуваемости стены из крупнопористого бетона обязательно оштукатуривают с обеих сторон; используют как фильтрационный материал.

Если для изготовления крупнопористого бетона применить пористые заполнители (керамзитовый гравий, топливные шлаки и др.), то получают теплоизоляционный материал средней плотности 500...700 кг/м<sup>3</sup>. Его используют в виде плит для теплоизоляции стен и покрытий зданий.

#### ■ Ячеистые бетоны.

● *Ячеистый бетон получают в результате затвердевания предварительно вспученной смеси вяжущего вещества, кремнеземистого компонента и воды.* Вспучивание смеси достигается введением в ее состав небольшого количества порообразователя. Образующаяся при вспучивании структура характеризуется наличием большого количества воздушных пор-ячеек диаметром от десятых долей до нескольких миллиметров. Такую структуру называют ячеистой. Благодаря большой пористости ячеистый бетон обладает малой теплопроводностью. Это делает его эффективным материалом для ограждающих конструкций.

● По назначению ячеистые бетоны разделяют на *теплоизоляционные* со средней плотностью в сухом состоянии не более 500 кг/м<sup>3</sup>, *конструктивно-теплоизоляционные* со средней плотностью 500...900 кг/м<sup>3</sup> и *конструкционные* — 1000...1200 кг/м<sup>3</sup>.

В качестве вяжущего в ячеистом бетоне чаще используют портландцемент (цементный ячеистый бетон) или смесь молотой негашеной кальциевой извести с кремнеземистым компонентом (бесцементный или силикатный ячеистый бетон). Кремнеземистый компонент вводят в состав бетона в виде молотого кварцевого песка, пылевидной золы ТЭС. Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим устанавливают экспериментальным путем. При использовании портландцемента кремнеземистый компонент и вяжущее обычно берут в равных долях, в силикатном ячеистом бетоне отношение кремнеземистого компонента к извести достигает 3...4,5.

Кварцевый песок размалывают обычно мокрым способом до удельной поверхности 2000...3000 см<sup>2</sup>/г, что резко повышает его способность к химическому взаимодействию с Са(ОН)<sub>2</sub>. Зола-унос, как правило, не нуждается в помолке, поскольку ее удельная поверхность редко бывает менее 2500 см<sup>2</sup>/г. Химический состав золы должен обеспечивать достаточное содержание активного компонента — оксида кремния; одновременно в составе золы ограничивают содержание веществ, вызывающих химическую коррозию и неравномерность изменения объема. Поэтому в составе пылевидной золы ТЭС должно быть не менее 40 % SiO<sub>2</sub>, а вредных примесей (оксида магния, сернистых и сернокислых соединений) не более 2...3 % по массе. Вместе с тем установлен верхний предел содержания частиц несгоревшего угля (5 %).

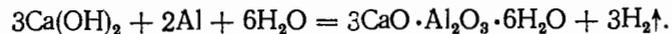
#### ● Газо- и пенобетон.

По способу образования ячеистой структуры различают газо- и пенобетон. Для получения газобетона вводят в состав сырьевой массы газообразователь (обычно алюминиевую пудру); ячеистая структура пенобетона образуется при механическом смешивании теста вяжущего с устойчивой пенной. Преимущественное распространение в СССР и за рубежом получил газобетон, который отличается от пенобетона простотой технологии и возможностью получения изделий со стабильными свойствами.

Для изготовления газобетона и газосиликата прибе-

гают к химическому способу вспучивания. В результате взаимодействия добавки-газообразователя и теста вяжущего происходят химические реакции с выделением газа, вспучивающего пластичную смесь.

Наиболее широкое распространение из всех газообразователей получила алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидроксидом кальция, выделяет водород по уравнению



Расход алюминиевой пудры для изготовления 1 м<sup>3</sup> газобетона при средней плотности 600...700 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,4...0,5 кг. Поставляемая промышленностью пудра ПАП-1 покрыта тонкой пленкой парафина и поэтому не смачивается водой. Для придания гидрофильных свойств ее обрабатывают водными растворами поверхностно-активных веществ.

Изготовление изделий из газобетона или газосиликата по обычной (литьевой) технологии сводится к следующему. Исходные материалы — вяжущее, кремнеземистый компонент и воду — тщательно перемешивают до получения текучей смеси, в которой содержится 50...60 % воды (считая от массы сухих компонентов). После этого в смесь добавляют водную суспензию алюминиевой пудры и вновь перемешивают для равномерного распределения пудры. Затем смесь заливают в металлические формы, но не на полную высоту, а с таким расчетом, чтобы после вспучивания форма оказалась заполненной доверху. Для ускорения процесса газообразования и отвердевания массы после вспучивания температура заливаемой смеси должна быть около 40 °С.

После схватывания, т. е. через 3...6 ч, избыток смеси («горбушку») срезают туго натянутыми струнами или прикатывают и изделия отправляют на тепловлажностную обработку, которую проводят обычно в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при температуре 175...200 °С и давлении 0,8...1,3 МПа. При повышенной температуре в условиях влажной среды кремнеземистый компонент проявляет химическую активность, вступая во взаимодействие с гидроксидом кальция, в результате чего образуются гидросиликаты кальция. Это придает ячеистому бетону достаточно высокие прочность и морозостойкость.

Возможна также обработка ячеистого бетона (на цементе) в пропарочной камере при температуре 80...100 °С и атмосферном давлении. Получаемые в этом случае не-

автоклавные бетоны несколько уступают автоклавным по прочности, трещиностойкости и морозостойкости.

Литьевая технология ячеистого бетона обладает рядом недостатков, связанных с чрезмерно большим количеством воды, которую вводят при затворении смеси. Получаемые изделия обладают высокой влажностью (25...30 % вместо 15 %, нормируемых стандартом), большой усадкой, вызывающей появление трещин. Удлиняется производственный цикл изготовления изделий из-за медленного газовыделения и схватывания смеси.

Этих недостатков в значительной мере лишена более прогрессивная вибрационная технология. Она отличается тем, что при перемешивании в смесителе и вспучивании в форме газобетонную массу подвергают вибрированию. Под влиянием вибрационных импульсов ослабляется связь между частицами и смесь тиксотропно разжижается. Это позволяет сократить расход воды затворения на 25...30 %. Процесс газовыделения в смеси, подвергаемой вибрированию, существенно ускоряется: вспучивание заканчивается через 5...7 мин вместо 15...20 мин при литьевой технологии. После прекращения вибрирования газобетонная смесь быстро приобретает структурную прочность, позволяющую разрезать изделие на блоки. Продолжительность автоклавной обработки также сокращается. Все это способствует повышению производительности предприятий, снижает себестоимость и повышает качество продукции.

В нашей стране разработаны и совершенствуются и другие прогрессивные технологические приемы изготовления ячеистого бетона, в частности использование холодных смесей, автоклавная обработка при небольших давлениях (до 0,4 МПа), применение грубомолотого песка.

Пенобетон и пеносиликат готовят путем смешивания предварительно подготовленной растворной смеси с технической пеной. Пену получают энергичным взбиванием водного раствора поверхностно-активных веществ, понижающих поверхностное натяжение воды.

Качество пены оценивают кратностью, прочностью и устойчивостью во времени.

*Кратность пены* — это отношение ее объема к объему водного раствора пенообразователя. Чем выше кратность пены, тем больший объем ячеистой массы может быть получен из данного количества пенообразователя. *Прочность и устойчивость* (стабильность) пены определяют ее способностью не осаждаться и не расслаиваться, по

крайней мере, в начальный период схватывания ячеистобетонной массы. Стабильность пены возрастает при введении животного клея, растворимого стекла или сернистого железа.

Для получения пены применяют клееканифольный, алюмосульфонафтенный, смолосапониновый пенообразователи, а также гидролизованную кровь. В последнее время все большее распространение получают синтетические пенообразователи, например сульфонол.

Пенобетонную смесь на цементе или извести с кремнеземистой добавкой обычно готовят в трехбарабанных пенобетоносмесителях. В двух верхних барабанах смесителя отдельно готовят пену и раствор, которые затем смешивают в нижнем барабане. Полученную ячеистую массу заливают в формы, выдерживают до приобретения необходимой структурной прочности и подвергают тепловой обработке в автоклавах.

По структуре ячеистый бетон является газонаполненным искусственным камнем с развитой системой пор. Пористость ячеистого бетона достигает весьма высоких значений — 70...80 % и более, что предопределяет малую теплопроводность данного материала.

Важнейшими характеристиками ячеистого бетона являются средняя плотность и прочность. Установлены следующие марки по средней плотности: для теплоизоляционного ячеистого бетона — D300...D500, конструктивно-теплоизоляционного — D600...D900, конструктивного — D1000...D1200. Классы по прочности на сжатие находятся в пределах B0,35... B12,5.

Показатели основных свойств конструктивно-тепло-

Таблица 6.9. Свойства ячеистого бетона

Наименование свойств	Марки по плотности					
	D600	D700	D800	D900	D1000	D1100
Класс по прочности на сжатие	B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10
Начальный модуль упругости, МПа	1700	2500	3800	5000	7500	10 000
Пористость, %	73	70	67	63	60	56
Водопоглощение в течение 72 ч, % по объему	28	30	33	35	38	40
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/(м·°С)	0,14	0,16	0,2	0,23	0,26	0,3
То же, при влажности 8 %	0,22	0,24	0,28	0,32	0,34	0,37

изоляционных и конструктивных ячеистых бетонов приведены в табл. 6.9.

Усадка при высыхании автоклавных ячеистых бетонов марок D500...D1200 достигает 0,5...0,7 мм/м, неавтоклавных — 3 мм/м. Это гораздо выше, чем у тяжелого бетона. Ячеистые бетоны обнаруживают также большую ползучесть, они обладают высокой сорбционной влажностью, паро- и воздухопроницаемостью. Поэтому при использовании их для ограждающих конструкций наружную поверхность защищают более плотными слоями строительного раствора, керамической плиткой, наносят гидрофобизирующие покрытия.

Ячеистый бетон применяют для наружных стен и покрытий промышленных, гражданских и жилых зданий в виде крупных панелей и мелких стеновых блоков.

## 6.7. Специальные бетоны

● *Бетоны специальных видов применяют в конструкциях, которые эксплуатируются в особых условиях.* В этих случаях необходимо придать бетону какое-либо специфическое свойство или комплекс свойств (например, стойкость к действию высоких температур, химическую стойкость), гарантирующих длительную безотказную работу материала в сооружении. В конечном счете это приносит большой экономический эффект.

Для получения специального бетона с необходимыми свойствами пользуются различными методами. Чаще всего применяют регулирование компонентного состава бетона. В этом случае в состав бетона вводят такие компоненты, которые придают ему нужное качество. Другой путь основан на использовании технологических приемов, благодаря которым регулируется структура бетона.

Отличительные особенности состава и свойств материалов этой группы рассмотрим на примере жаростойких и химически стойких бетонов.

### ■ Жаростойкие бетоны.

Жаростойкие бетоны предназначены для конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации длительное воздействие высоких температур. При нагревании обычного бетона на портландцементе происходит дегидратация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, образовавшихся в процессе твердения цемента. В результате прочность бетона сильно уменьшается, а оксид кальция в последующем под воздействием

влаги гидратируется с увеличением объема. Это приводит к растрескиванию бетонной конструкции.

Для придания бетону на портландцементе необходимой стойкости к действию высоких температур в его состав вводят тонкодисперсные добавки, содержащие активный аморфный кремнезем, который способен связывать оксид кальция при температуре 700...900 °С благодаря реакциям в твердом состоянии. Обычно применяют пемзу, золу ТЭС, шамот, доменный гранулированный шлак. Заполнителями в жаростойких бетонах служат огнеупорные материалы: шамот, бой огнеупорного магнезитового кирпича, корунд, хромитовая руда и др. В качестве вяжущих используют жидкое стекло, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, периклазовый цемент, фосфатные вяжущие. Тип вяжущего вещества и заполнителей для жаростойкого бетона выбирают с учетом температуры эксплуатации конструкции.

По степени огнеупорности жаростойкие бетоны разделяют на следующие группы: высокоогнеупорные с огнеупорностью выше 1770 °С; огнеупорные с огнеупорностью 1580...1770 °С и жароупорные с огнеупорностью ниже 1580 °С.

Установлены классы по прочности на сжатие (В1...В40). В зависимости от предельно допустимой температуры применения жаростойкие бетоны условно подразделяют на классы от 3-го ( $t=300$  °С) до 18-го (1800 °С).

Важной характеристикой жаростойких бетонов является термическая стойкость, которую оценивают числом воздушных или водных теплосмен. Марки жаростойких бетонов по числу водных теплосмен (нагрев — охлаждение в воде) нормируют в пределах Твд5...Твд40, а по числу воздушных теплосмен (нагрев — охлаждение на воздухе) — от Твз5 до Твз25.

При использовании специальных пористых заполнителей получают легкие бетоны, а при введении газообразователей — ячеистые бетоны. Жаростойкие бетоны применяют для футеровки печей, котлов, устройства дымовых каналов, труб в сооружениях различных отраслей промышленности: черной и цветной металлургии, химической, энергетической, в производстве строительных материалов.

#### ■ Химически стойкие бетоны.

Эти бетоны изготавливают на специальных вяжущих — синтетических смолах, жидком стекле, с полимерной добавкой.

Критерием оценки химической стойкости является коэффициент стойкости  $k_{х.с.}$ , равный отношению прочности образцов, подвергшихся воздействию агрессивной среды в течение 360 сут, к прочности контрольных образцов. Чем выше этот коэффициент, тем большей стойкостью обладает бетон. Различают бетоны высокой стойкости ( $k_{х.с.} \geq 0,8$ ), стойкие ( $k_{х.с.} = 0,5...0,8$ ), относительно стойкие ( $k_{х.с.} = 0,3...0,5$ ) и нестойкие ( $k_{х.с.} < 0,3$ ).

Необходимая химическая стойкость бетона обеспечивается применением стойких связующих веществ и заполнителей. Обычно используют следующие связующие: фурфурол-ацетоновую смолу, полиэфирную смолу, фурано-эпоксидную смолу, жидкое стекло. Заполнители также должны быть кислотостойкими: кварцевый песок, гранитный щебень и др. Для повышения плотности бетона, уменьшения усадки и сокращения расхода дорогостоящих смол в состав бетона вводят кислотостойкие наполнители — кварцевую или андезитовую муку.

Прочность на сжатие химически стойких бетонов 30...110 МПа, морозостойкость 1000 циклов.

#### ■ Полимербетоны и полимерсиликаты.

Бетоны на основе полимерных связующих называют полимербетонами, а на основе жидкого стекла с добавками полимеров — полимерсиликатами. Они хорошо сопротивляются действию кислот — минеральных (азотной, серной, соляной, фосфорной) и органических (молочной, лимонной, уксусной), а также солей, оснований, органических растворителей (ацетона, бензола, толуола) и жидких нефтепродуктов (дизельного топлива, бензина, керосина, мазута).

Химически стойкие бетоны применяют для изготовления конструкций на предприятиях с агрессивными воздействиями, быстро разрушающими обычный цементный бетон: производство кислот, минеральных удобрений, цветных металлов, искусственного волокна, целлюлозы, сахара и в ряде других случаев.

### 6.8. Применение бетона в сборных и монолитных конструкциях

Универсальность свойств, возможность их регулирования в широком интервале делают бетон эффективным и надежным материалом для изготовления практически любой строительной конструкции.

Таблица 6.10. Характеристики стальной арматуры

Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм	Нормативные значения, МПа, не менее	
			предел текучести	временного сопротивления разрыву
A-I	СтЗспЗ	6...40	240	—
A-II	ВСт5сп2	10...40	300	—
	10ГТ	10...32	300	—
A-III	35ГС	6...40	400	—
	25Г2С	6...40	400	—
A-IV	80С	10...18	600	—
	20ХГ2Ц	10...22	600	—
A-V	23ХГ2Т	10...22	800	—
At-IV	—	10...25	600	—
At-V	—	10...25	800	—
At-VI	—	10...25	1000	—
B-I	—	3...5	—	550
Bp-I	—	3...5	—	550...525
B-II	—	3...8	—	1900...1400
Bp-II	—	3...8	—	1800...1300

● Железобетонными называют конструкции, изготовленные из бетона и стальной арматуры (рис. 6.18). Арматура в растянутой зоне элемента увеличивает его несущую способность при действии изгибающих и растягивающих усилий. При соответствующем армировании из железобетона можно изготавливать конструкции, работающие на центральное либо внецентренное сжатие (колонны с консолями), изгиб (балки), растяжение (элементы ферм), либо сопротивляющиеся действию более сложных статических и динамических нагрузок (сжатие с кручением и т. д.).

Конструкции армируют отдельными стержнями, сетками, пространственными каркасами, проволокой (рис. 6.19). Стержневую горячекатаную арматуру изготавливают гладкой (класс А-I) или периодического профиля (классов А-II, А-III, А-IV и А-V). Лучшими характеристиками обладает горячекатаная арматура периодического профиля классов At-IV, At-V и At-VI, подвергнутая термическому упрочнению. Арматурная холоднотянутая проволока также может быть гладкой (классов В-I и В-II) либо периодического профиля (классов Вр-I и Вр-II). Высокопрочная проволока класса В-II намного превосходит обыкновенную класса В-I по механическим свойствам.

Наиболее употребительные виды арматурных сталей и их основные характеристики приведены в табл. 6.10.

Применение бетонных и железобетонных конструкций при возведении различных объектов существенно сокращает расход стали для нужд строительства.

Технологические особенности бетонной смеси и бетона допускают два способа производства работ при возведении сооружений. Сущность первого заключается в укладке бетонной смеси в опалубку непосредственно на строительной площадке. При этом получают так называемые монолитные конструкции. Другой способ ос-

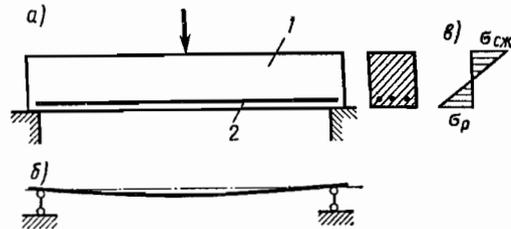


Рис. 6.18. Совместная работа бетона 1 и арматуры 2 в железобетонной балке:

а — схема балки; б — деформация продольной оси; в — эпюра напряжений сжатия  $\sigma_{сж}$  и растяжения  $\sigma_p$  в поперечном сечении балки

нован на использовании сборных конструкций. Такие конструкции в виде крупноразмерных элементов изготавливают на специализированных заводах, транспортируют к месту строительства и затем монтируют в сооружение. Основные преимущества использования сборного бетона и железобетона сводятся к уменьшению затрат ручного труда, сокращению сроков возведения сооружений при одновременном резком повышении качества конструкций, которые поставляются на стройку полностью подготовленными к эксплуатации.

Основой создания в нашей стране промышленности сборного железобетона стало постановление

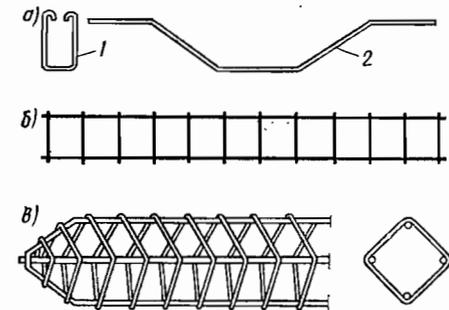


Рис. 6.19. Виды арматурных изделий:

а — отдельные стержни; 1 — открытый хомут; 2 — гнутый стержень с наклонными отгибами; б — сетка типа «лесенка» для армирования ленточных изгибаемых конструкций; в — пространственный каркас для армирования свай

ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 19 августа 1954 г. «О развитии производства сборных железобетонных конструкций и деталей для строительства». По выпуску сборного железобетона СССР занимает первое место в мире.

Сборные железобетонные изделия изготовляют на мощных специализированных предприятиях. Особое внимание уделяется повышению эффективности и качества продукции. Совершенствуется технология изготовления изделий, возрастает доля использования местных материалов и попутных продуктов промышленности при производстве конструкций, повышается степень заводской готовности. Все больше изготавливается прогрессивных изделий из легких бетонов, предварительно напряженных конструкций.

Вместе с тем в ряде областей строительства (гидротехническое, дорожное) довольно значительный объем занимают монолитные конструкции. В монолитном варианте возведены некоторые уникальные объекты (Останкинская телевизионная башня в Москве), а также ряд гражданских и жилых зданий.

При строительстве высотных зданий эффективным является совместное применение монолитного и сборного железобетона.

● *Сборные конструкции изготовляют с применением любых видов бетона: тяжелого, легкого на пористых заполнителях, ячеистого, специального.* Для достижения необходимых эксплуатационных качеств бетон в ряде случаев сочетают с материалами специального назначения — теплоизоляционными, акустическими, гидроизоляционными, антикоррозионными, отделочными.

Например, панели наружных стен жилых и промышленных зданий можно изготовлять трехслойными: два внешних несущих слоя выполняют из тяжелого бетона, а внутренний — из теплоизоляционного материала. Более эффективным, как правило, является применение легких бетонов, из которых изготовляют значительную часть наружных ограждений. Иногда в конструкциях используют одновременно бетоны различных видов. Например, комплексные плиты покрытий промышленных зданий выполняют из тяжелого бетона, воспринимающего силовые воздействия, и газобетона, выполняющего роль теплоизоляции.

В конструкции сборных железобетонных изделий предусмотрены монтажные стальные петли для строповки

изделий на крюке грузоподъемного механизма. Кроме того, при заводском изготовлении в тело бетона заформовываются так называемые закладные детали, обычно в виде стальных пластинок, благодаря которым обеспечивается фиксация конструкций в проектном положении. Соединение сборных элементов в единое целое производится путем электрической сварки закладных деталей либо стягивания их болтами.

Зазоры (швы) между сборными элементами заполняют строительным раствором или, если это позволяют размеры шва, бетоном. При затвердевании раствора в швах происходит омоноличивание всей конструкции. Для предотвращения фильтрации через швы влаги в необходимых случаях используют герметики (см. гл. 13).

Эффективность сборного железобетона значительно возрастает при использовании унифицированных элементов. Унификация изделий массового производства позволяет уменьшить число типоразмеров и обеспечивает взаимозаменяемость изделий; одновременно совершенствуется технология и улучшается качество продукции. Так, благодаря разработке единого каталога унифицированных деталей для жилищного строительства число элементов для полносборного домостроения сократилось на 20% по сравнению с ранее существовавшими типовыми решениями. Вместе с тем улучшились эксплуатационные характеристики и архитектурные качества жилых домов, поскольку унификация допускает возможность комбинирования изделий в разнообразных сочетаниях.

Из сборного железобетона изготовляют все части здания: фундамент, стены подвала, наружные и внутренние стены, элементы каркаса, перегородки, междуэтажные перекрытия, лестничные площадки и марши, кровлю и другие элементы (рис. 6.20 и 6.21).

В промышленном строительстве разработаны проекты производственных зданий различного назначения, возводимых из унифицированных элементов. Широко используют сборный железобетон в дорожном строительстве (мосты, путепроводы, опоры контактной сети), гидротехническом (элементы плотин, облицовка каналов), при возведении выставочных павильонов, рынков, спортивных сооружений.

● *В монолитных конструкциях используют в основном тяжелый бетон или легкий на пористых заполнителях.* Бетонную смесь обычно готовят на автоматизированных и механизированных бетонных заводах и пос-

тавляют на строительную площадку в виде так называемого товарного бетона. Вместе с тем для этой цели нередко используют автобетоносмесители. Это особенно удобно в тех случаях, когда строительный объект уда-

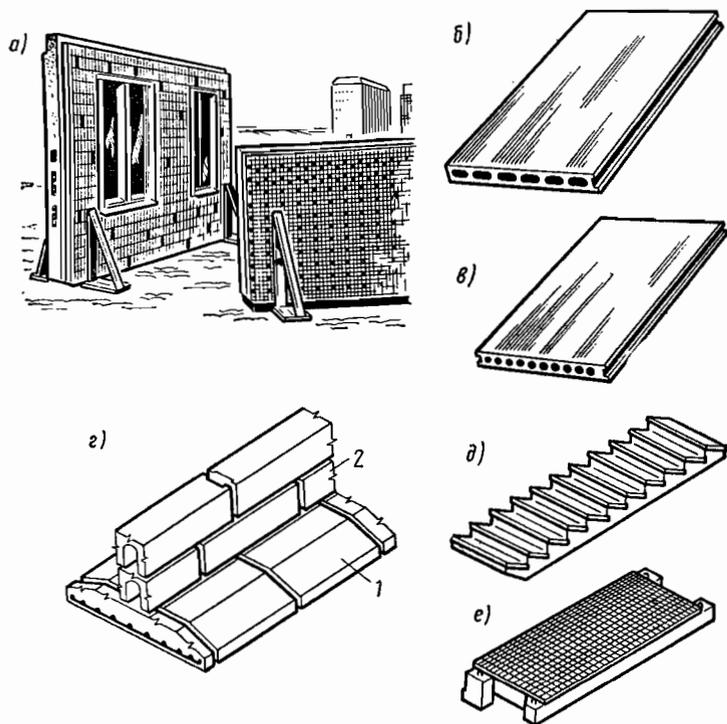


Рис. 6.20. Некоторые виды сборных железобетонных изделий:

а — стеновые панели с различной наружной облицовкой б, в — панели перекрытий с овальными и круглыми пустотами; г — элементы сборных фундаментов; 1 — фундаментный блок; 2 — блок стен подвала; д, е — лестничные марши и лестничная площадка

лен от центрального бетонного завода на значительное расстояние — более 35..40 км. В автобетоносмесителях можно перевозить как сухие бетонные смеси (не затворенные водой), так и готовые смеси с перемешиванием их в пути. Использование автобетоносмесителей особенно целесообразно при необходимости изготовления смесей высокой подвижности, если предъявляют повышенные требования к однородности состава бетона. Это относит-

ся, например, к бетонированию в скользящей опалубке, использованию трубопроводного транспорта.

Укладке бетона в конструкцию предшествуют подготовительные работы: изготовление и монтаж опалубки, установка арматурных каркасов. Опалубка может быть деревянной, фанерной, металлической. Обычно стремятся применять такую конструкцию опалубки, которая допускает возможность ее многократного использования, например разборно-переставную или скользящую (поднимаемую домкратами).

Удобоукладываемость бетонной смеси назначают с учетом имеющихся на стройке средств уплотнения, типа и размеров конструкции, характера и густоты ее армирования. Бетонную смесь подают к месту укладки с помощью кранов, транспортеров или бетононасосов. Для перекачивания по трубопроводам наиболее пригодны смеси с осадкой конуса 6..8 см и водоцементным отношением 0,4..0,6. Серийно выпускаемые бетононасосы способны перекачивать бетонную смесь на расстояния до 400 м по горизонтали и до 100 м по вертикали, их производительность достигает 40..60 м<sup>3</sup>/ч.

Уплотнение смеси в построечных условиях осуществляют с помощью навесных, т. е. прикрепляемых снару-

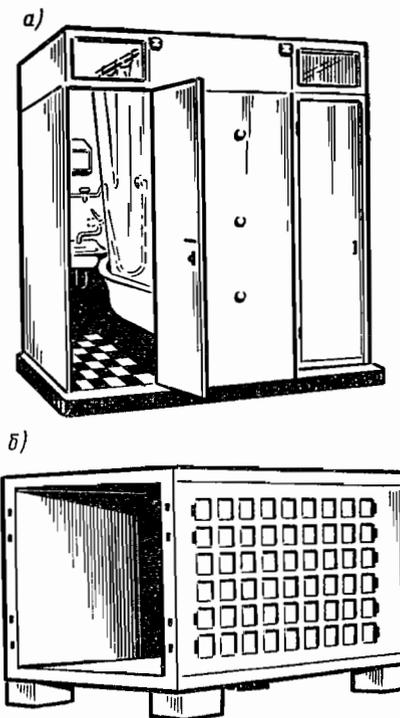


Рис. 6.21. Объемные элементы:

а — сантехкабина; б — коллектор для прокладки подземных коммуникаций

жи к опалубке, и переносных вибраторов — поверхностных или глубинных.

После укладки необходим уход за твердеющим бетоном, заключающийся в создании нормальных температурно-влажностных условий. В летнее время следует защищать открытую поверхность свежеложенного бетона от высыхания, а в первые часы после укладки — от дождя. Влажные условия твердения поддерживают до достижения бетоном 70 % проектной прочности. После снятия опалубки открытые поверхности бетона регулярно поливают водой.

Особые требования предъявляют к производству бетонных работ в экстремальных условиях — жаркую погоду или в зимний период. В жаркое время года, особенно в районах с сухим климатом, вследствие разогривания материалов возникает опасность быстрого загустевания и схватывания бетонной смеси из-за увеличения скорости гидратации цемента при повышенных температурах. Поэтому цемент и заполнители надо хранить в условиях, исключающих их чрезмерное нагревание. Температура применяемого цемента должна быть не более 50 °С. Для затворения используют холодную воду. Температура бетонной смеси в момент ее приготовления не должна превышать 20...25 °С. Для замедления сроков схватывания в состав смеси необходимо вводить пластифицирующие добавки и добавки-замедлители (нитрило-триметилен, кормовую сахарную патоку).

Уложенный в конструкцию бетон защищают от попадания прямых солнечных лучей и иссушающего действия ветра. Для этой цели его укрывают влагонепроницаемыми или влагоемкими материалами — полиэтиленовой или полиамидной пленкой, брезентом, мешковиной, влажным песком, опилками. После затвердевания бетона продолжают уход, обильно увлажняя влагоемкие покрытия или создавая на поверхности конструкции слой воды (метод «покрывающих водных бассейнов»).

При бетонировании в зимнее время используют специальные мероприятия, предохраняющие бетон от преждевременного замерзания и обеспечивающие набор прочности в заданные сроки.

Скорость гидратации цемента по мере понижения температуры замедляется, и это приводит к недобору прочности бетона по сравнению с нормальными условиями твердения (рис. 6.22). При температуре -4...-6 °С вода в бетоне замерзает и твердение прекращается. Пос-

ле оттаивания с появлением жидкой фазы процессы твердения возобновляются.

Если бетон подвергся замораживанию в раннем возрасте, то после оттаивания и последующего твердения он будет обладать пониженной прочностью. Это объясняется разрыхлением еще не вполне сложившейся структуры бетона вследствие перехода воды в лед. Поэтому в зимнее время необходимо создавать такие условия твердения, при которых за 2...3 сут бетон набирает достаточную прочность (около 8...12 МПа), позволяющую выдержать воздействие мороза. Эта цель достигается различными приемами.

● *Создание в бетонной смеси запаса теплоты*, необходимой для поддержания положительной температуры твердеющего бетона вплоть до момента, когда его замерзание уже безопасно. В первую очередь сюда относится

способ «термоса», при котором подогретую бетонную смесь укладывают в утепленную опалубку и покрывают сверху слоем теплоизоляционного материала. Благодаря экзотермии цемента поддерживается положительная температура твердеющего бетона в первые 3...5 сут. В качестве вяжущего лучше употреблять цементы алито-алюминатного типа, например быстротвердеющий портландцемент, который отличается не только высокой скоростью набора прочности, но также и большим тепловыделением.

Бетонную смесь можно подогревать с помощью электрического тока в специальных бункерах, оборудованных электродами. Для создания запаса теплоты прибегают к подогреву компонентов бетонной смеси. Воду обычно подогревают до 60...80 °С, заполнители — до 40...60 °С; цемент не подогревают. Температуру бетонной смеси назначают с учетом температуры окружающего воздуха: чем сильнее мороз, тем теплее должна быть бетонная смесь. Предельная температура бетонной смеси 35...45 °С;

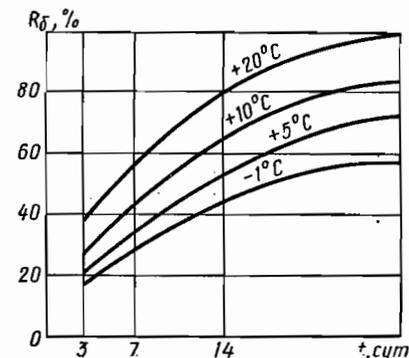


Рис. 6.22. Нарастание прочности бетона при пониженных температурах

при более высокой температуре из-за быстрого схватывания смесь преждевременно загустевает.

● *Подвод теплоты к твердеющему бетону* от внешнего источника применяют в тех случаях, когда запаса аккумулированной теплоты не хватает для достижения к установленному сроку заданной прочности бетона. С этой целью прогревают конструкцию при помощи пара, теплого воздуха, электрического тока либо инфракрасных лучей.

Для обогрева бетона паром используют двойную опалубку («паровую рубашку»). В течение 2 сут прогрева паром при температуре 60...80 °С бетон набирает в среднем 60...70 % требуемой прочности.

Более эффективным является ускорение твердения путем пропускания через бетон электрического тока (электропрогрев). Применяя электропрогрев, следует хорошо позаботиться о строгом контроле за ходом процесса и осуществлением мероприятий по охране труда.

В ряде случаев, когда позволяют размеры и конфигурация конструкции, используют индукционный прогрев бетона. Для этого вокруг прогреваемой конструкции укладывают витки изолированного провода. При пропускании по нему электрического тока происходит индукционный разогрев железобетонного элемента. Скорость разогрева составляет 5...10 °С/ч, а продолжительность обработки зависит от требуемой прочности бетона.

Обогрев инфракрасными лучами с длиной волны 0,8...6 мкм применяют в основном для тонких конструкций. Генераторы инфракрасных лучей в виде трубок и стержней нагреваются до 600...1000 °С. Поток излучения направляют с помощью рефлекторов на конструкцию, поверхность которой для сокращения теплопотерь покрывают водонепроницаемой пленкой, хорошо пропускающей инфракрасные лучи. При бетонировании массивных конструкций инфракрасный прогрев применяют в сочетании с другими методами, например методом термоса.

● *Введение в состав бетона противоморозных добавок* понижает температуру замерзания (метод «холодного» бетона). Температура замерзания воды, как известно, понижается по мере повышения концентрации растворенных в ней солей. При использовании метода «холодного» бетона компоненты бетонной смеси не подогревают, а заготавливают на холоду водным раствором солей. Вода в свежеложенной бетонной смеси не замерзает даже при низких температурах, поэтому гидратация цемента про-

должается и прочность бетона постепенно нарастает. Наиболее часто применяют хлориды натрия и кальция, которые рекомендуется вводить в бетон совместно, а также поташ и нитрит натрия. Концентрация добавки в водном растворе берется тем больше, чем ниже температура твердения бетона.

При использовании чрезмерного количества хлористых солей, являющихся электролитами, возникает опасность коррозии стальной арматуры в железобетонных конструкциях. Кроме того, со временем растворимые соли могут мигрировать в бетоне, образуя на поверхности конструкций солевые налеты.

Большинство противоморозных добавок сильно ускоряют схватывание бетонной смеси, и в ряде случаев их приходится использовать совместно с замедлителями схватывания.

## Глава 7

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

#### 7.1. Общие сведения

● *Строительные растворы получают в результате затвердевания смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя и воды.* По составу растворы отличаются от бетонов только меньшей крупностью заполнителя, т. е. в сущности, это мелкозернистые бетоны. Поэтому общие закономерности, характерные для бетона, в принципе применимы и к растворам.

Однако при использовании растворов надо учитывать две особенности: 1) растворы укладывают тонкими слоями (обычно 1...2 см), не применяя при этом специального механического уплотнения; 2) растворы часто наносят на пористые основания (кирпич, бетон, легкие камни и блоки из пористых горных пород), способные сильно отсасывать воду.

Вследствие этих особенностей раствор в тонком слое сразу после укладки подвергается действию факторов, которые могут значительно изменить его состав (в результате отсоса воды) и повлиять на конечные свойства. Это надо учитывать при определении состава растворовных смесей.

● *По назначению* строительные растворы бывают кла-

дочные, отделочные и специальные. *Кладочные растворы* применяют для скрепления элементов при кладке фундаментов, стен, столбов, сводов из кирпича или природного камня, а также для монтажа крупноблочных и крупнопанельных элементов. *Отделочные растворы* служат для оштукатуривания поверхностей конструкций, устройства выравнивающих слоев, декоративной отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и блоков, фасадов и интерьеров зданий. *Специальные растворы* — инъекционные, жаростойкие, кислотостойкие, рентгенозащитные, акустические применяют в случаях, когда к конструкциям предъявляются особые требования.

● В зависимости от *вида заполнителя* растворы подразделяют на *тяжелые* (обычные) и *легкие*. Отличительным признаком их служит средняя плотность затвердевшего раствора в сухом состоянии (более и менее  $1500 \text{ кг/м}^3$ ), в основном зависящая от вида применяемого заполнителя.

● По *виду вяжущего* различают *цементные, известковые и смешанные* растворы. Вяжущее выбирают в соответствии с условиями эксплуатации конструкций.

Строительные растворы изготовляют, как правило, централизованно на автоматизированных растворных заводах или узлах и оттуда доставляют на объекты в виде готовых пластичных смесей. При значительном удалении строительного объекта от завода рекомендуется изготовлять сухие растворные смеси, которые затворяют водой на месте производства работ. Влажность сухих смесей должна быть не более 1 % по массе; их поставляют в упаковке, исключающей возможность увлажнения.

## 7.2. Основные свойства строительных растворов

● *Удобоукладываемость* — важнейшее свойство строительного раствора. Под удобоукладываемостью подразумевают способность растворной смеси распределяться на основании тонким однородным слоем. Элементы кладки надежно скрепляются раствором в том случае, когда смесь равномерно заполняет все неровности и шероховатости основания. Жесткий, неудобоукладываемый раствор контактирует с основанием лишь частично, и это снижает прочность кладки. При использовании неудобоукладываемых растворов резко ухудшается и сопротивляемость кладки физико-химическому воздействию окружающей среды.

Удобоукладываемость растворных смесей оценивают по показателям подвижности и водоудерживающей способности.

● *Подвижность* растворной смеси определяют в лаборатории или непосредственно на строительной площадке по глубине погружения ( $h$ , см) металлического стандартного конуса массой 300 г (рис. 7.1). Подвижность выбирают с учетом назначения раствора и способа производства работ. Например, растворы, перекачиваемые по трубопроводам, характеризуются глубиной погружения конуса 14 см, а растворы для вибрированной бутовой кладки — всего 1...3 см.

● *Водоудерживающая способность* отражает свойство растворной смеси удерживать в своем составе достаточное для твердения вяжущего количество воды в условиях интенсивного ее отсоса пористым основанием. Знание этого свойства позволяет избежать получения малопрочных растворов в конструкции.

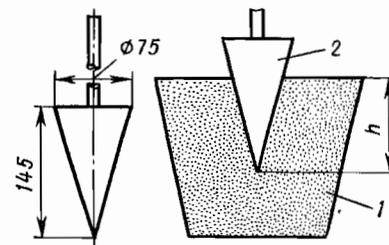


Рис. 7.1. Определение подвижности строительного раствора 1 по глубине погружения конуса 2

Водоудерживающую способность оценивают по потере воды слоем растворной смеси толщиной 12 мм (соответствует толщине шва в каменной кладке), уложенным на 10 листов промокающей бумаги. Расчет водоудерживающей способности  $V$  производят по формуле  $V = 100 - \Delta B$ , где  $\Delta B$  — относительное содержание воды, отсосанной промокающей бумагой, выраженное в процентах от первоначальной массы растворной смеси. Чем выше значения  $V$ , тем лучше водоудерживающая способность смеси. Раствор с хорошей водоудерживающей способностью при укладке на пористое основание отдает лишнюю воду постепенно, становясь при этом плотнее и прочнее.

Растворы с недостаточной водоудерживающей способностью, как правило, склонны к расслоению. Это выражается в отделении воды и оседании наиболее тяжелого компонента — песка. Расслоение нарушает однородность смеси и, следовательно, снижает прочность раствора. Смеси, расслоившиеся при перевозке, необходимо перемешивать на месте работ.

Нужная удобоукладываемость достигается при правильном выборе соотношения между составляющими строительного раствора и надлежащем зерновом составе.

ве песка. Опытами установлено, что удобоукладываемая смесь получается в том случае, когда пустоты в песке заполнены тестом вяжущего и поверхность песчинок покрыта тонким слоем этого теста.

Примерное количество вяжущего для изготовления вполне удобоукладываемой смеси определяют следующим расчетом. Пустотность крупного песка равна 35...40 %, следовательно, 1 м<sup>3</sup> песка содержит в среднем 375 дм<sup>3</sup> пустот. Для получения удобоукладываемой смеси необходимо заполнить эти пустоты вяжущим тестом с некоторым избытком (около 1,2...1,3). Таким образом, объем цементного теста должен составлять 450...500 дм<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> бетона. При таком расходе цемента получают очень прочный раствор. Между тем от строительных растворов обычно требуется невысокая прочность — 1...5 МПа, для достижения которой необходим гораздо меньший расход цемента. Так, вводя на 1 м<sup>3</sup> песка около 100 кг цемента М300, можно получить раствор с пределом прочности при сжатии 2,5 МПа. Однако такой раствор будет неудобоукладываемым. Таким образом, чтобы выполнить условие удобоукладываемости, следует расходовать цемента в 3...4 раза больше, чем необходимо по условию прочности, а это недопустимо по экономическим соображениям.

Как совместить эти противоречивые требования? Теория рекомендует два пути, позволяющие получать удобоукладываемые растворы с необходимыми свойствами при умеренном расходе цемента. Первый заключается в применении специальных низкомарочных цементов, изготавливаемых на цементных заводах путем совместного помола небольшого количества кликера (25...35 %) с большим количеством минеральных веществ, например известняка, доломита, шлака. Активность смешанного вяжущего, как известно, обратно пропорциональна количеству тонкомолотой добавки, играющей роль наполнителя. Получаемый низкомарочный «кладочный» цемент, называемый также цементом для строительных растворов, имеет М200. Однако такой цемент выпускают пока в небольших количествах. Поэтому для получения удобоукладываемых растворов смесей основным является другой путь: введение добавок-пластификаторов, сообщаящих смесям необходимые свойства при небольшом расходе цемента.

Пластифицирующие добавки для строительных растворов бывают неорганические и органические.

● *Неорганические пластификаторы* состоят из очень мелких частиц и способны удерживать в своем составе значительное количество воды, образуя пластичное тесто. Из числа неорганических пластифицирующих добавок наиболее часто применяют известь и глину. Добавки вводят в количестве 30...200 % от массы цемента.

● *Органические пластификаторы* — это поверхностно-активные вещества, которые вводят в состав раствора в небольших количествах — всего 0,03...0,3 % от массы цемента. Таким образом, производство строительного раствора с органическими пластификаторами по сравнению с неорганическими является менее материалоемким. Вместе с тем поверхностно-активные вещества улучшают технические характеристики затвердевших растворов: сокращают водопоглощение и усадку, повышают морозостойкость. К числу наиболее распространенных органических пластификаторов относят гидрофобизирующие вещества (мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот), употребляемые иногда в сочетании с добавкой ЛСТ (комплексный пластификатор «Флегматор-1»). Применяют и добавки-микропенообразователи (см. § 6.3).

Для растворов прочностью 10 МПа и выше к песку предъявляют те же требования, что и к песку для бетонов (см. гл. 6); песок для кирпичной кладки должен иметь крупность зерен не более 2 мм.

Затвердевшие строительные растворы должны обладать такими свойствами, которые гарантируют их безотказную работу в течение всего периода эксплуатации конструкции. Из комплекса свойств в соответствии с назначением строительного раствора обычно выделяют главные, которые определяют его качество. Например, в растворах для каменной кладки и монтажа сборных конструкций такими характеристиками являются прочность при сжатии и морозостойкость.

● В отделочных растворах определяющим условием служит совместная работа отделочного слоя и основания. Важнейшие требования к таким растворам — *прочность сцепления с основанием и малая усадка*, предотвращающая возникновение трещин в отделке.

Предел прочности растворов при сжатии определяют на образцах-кубах с длиной ребра 7,07 см или балочках размерами 4×4×16 см. Если раствор предназначен для укладки на пористое основание, то контрольные образцы для определения прочности изготовляют в формах, не имеющих дна, и устанавливают на водоотсасы-

вающее основание — кирпич. Водопоглощение кирпича должно быть 10...15 % по массе, влажность — не более 2 %. Условия хранения образцов до момента испытания (обычно 28 сут) должны соответствовать будущим условиям эксплуатации раствора.

По пределу прочности при сжатии строительные растворы имеют следующие марки (МПа): М0,4; М1,0; М2,5; М5,0; М7,5; М10,0; М15,0; М20,0. Растворы марок М0,4 и М1,0 изготавливают преимущественно на известии или местных вяжущих, например известково-шлаковом или известково-пуццолановом.

● **Морозостойкость** растворов зависит от тех же факторов, что и морозостойкость бетонов, т. е. от свойств исходных материалов, их соотношения и особенностей сформировавшейся при твердении структуры раствора. Нормируемые марки по морозостойкости находятся в широких пределах — F10...F300.

### 7.3. Применение растворов различных видов

● **Растворы для каменной кладки и монтажа стен из панелей и крупных блоков.** Вид и состав растворов зависят от расчетных напряжений и условий эксплуатации кладки. Кладку надземных конструкций, работающих при небольших напряжениях, следует выполнять на растворах, содержащих дешевые местные вяжущие вещества: известь, известково-шлаковое, известково-пуццолановое вяжущее. В растворах для кладки фундаментов при наличии агрессивных сульфатных вод применяют сульфатостойкие цементы, для монтажа крупноблочных и крупнопанельных стен — портландцемент, шлакопортландцемент, а также портландцементы с органическими добавками. Подвижность растворной смеси выбирают с учетом назначения раствора.

#### Рекомендуемая подвижность строительных растворов

Назначение раствора	Глубина погружения конуса, см
Монтаж стен и расшивка швов в стенах из крупных панелей и блоков . . . .	5...7
Кладка из обыкновенного кирпича, бетонных камней и камней из легких горных пород . . . . .	9...13
Кладка из пустотелого кирпича или керамических камней . . . . .	7...8
Кладка из бутовых камней обычная . . . . .	4...6
То же, вибрированная . . . . .	1...3
Заливка пустот в бутовой кладке . . . .	13...14

При кладке из камней правильной формы основное значение имеет не марка скрепляющего раствора, а прочность камней. Поэтому подбор состава строительного раствора не требует такой точности, как определение состава бетона. Состав растворов обычно назначают, используя готовые таблицы, и корректируют их по результатам испытания в строительной лаборатории. Примерные составы растворов указаны в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Рекомендуемые составы растворов (цемент : известковое тесто : песок) (в ч. по объему)

Марка вяжущего	Марки растворов			
	25	50	75	100
<i>Цементно-известковые растворы для надземных конструкций</i>				
200	1:0,8:7	1:0,3:4	1:0,1:2,5	—
300	1:1,4:10,5	1:0,6:6	1:0,3:4	1:0,2:3,5
400	—	1:0,9:8	1:0,5:5,5	1:0,4:4,5
<i>Цементные растворы для подземных конструкций</i>				
200	—	1:0:4	1:0:2,5	—
300	—	1:0:6	1:0:4	1:0:3
400	—	—	1:0:5,5	1:0:4,5

При использовании органических пластификаторов указанные в таблице составы корректируют в сторону уменьшения расхода вяжущего, т. е. они будут более экономичны. В то же время в растворе любого состава должно содержаться такое количество вяжущего, которое обеспечивает получение удобоукладываемой смеси и затвердевшего раствора необходимой плотности, прочности и долговечности. Так, в цементно-известковых растворах для надземных конструкций минимальный расход вяжущего на 1 м<sup>3</sup> песка установлен 75 кг, а в растворах для подземных конструкций — 100 кг.

При кладке растворов зимой скорость твердения сильно замедляется, поэтому используют раствор, имеющий марку на одну-две ступени выше, чем летом.

В необходимых случаях при возведении каменных, крупноблочных и крупнопанельных конструкций в зимних условиях применяют растворы прочностью 5 МПа и выше с противоморозными добавками (поташом, нит-

ритом натрия, нитритом кальция с мочевиной и др.). Температура кладочного раствора в момент укладки должна быть не менее 15 °С при температуре наружного воздуха от —11 до —20 °С и не менее 20 °С при температуре наружного воздуха ниже —20 °С. Раствор для монтажных швов крупнопанельных и крупноблочных стен в момент его разравнивания должен быть на 10 °С теплее, чем для обычной кладки.

● *Отделочные растворы* делят на штукатурные и декоративные. Применение этих растворов в построечных условиях (т. е. при оштукатуривании мокрым способом) допускается в виде исключения, когда обоснована невозможность использования промышленных методов отделки поверхностей. Для обычных штукатурок чаще всего применяют цементные, известковые, цементно-известковые и известково-гипсовые растворы.

● *Известковые растворы* хорошо сцепляются с основанием и относительно мало изменяются в объеме при колебаниях температуры и влажности окружающего воздуха. Эти растворы рекомендуется применять для оштукатуривания внутренних стен, перегородок, перекрытий в помещениях с относительной влажностью воздуха меньше 60 %, а также паружных стен, не подвергающихся систематическому увлажнению. Известковые растворы медленно твердеют и долго сосыхают.

● *Цементно-известковые и цементные растворы* используют для получения прочных быстротвердеющих и водостойких штукатурок. Их применяют для оштукатуривания цоколей, карнизов, парапетов, наружных стен и других конструкций, систематически увлажняющихся при эксплуатации.

Известково-гипсовыми растворами оштукатуривают внутренние деревянные и каменные стены, а также наружные стены в районах с устойчивым сухим климатом. Введение гипсового вяжущего существенно увеличивает скорость твердения и прочность сцепления известкового раствора с основанием, особенно деревянным.

Перед употреблением в дело штукатурные растворы обязательно процеживают через сита, удаляя посторонние включения и комья непромешанного раствора.

● *Декоративные растворы и составы* предназначены для придания определенных архитектурно-художественных качеств фасадам и интерьерам зданий. Чаще всего декоративные цветные растворы используют при заводской отделке лицевых поверхностей стеновых панелей

и крупных блоков. В зависимости от вида отделки применяют декоративные растворы (*известково-песчаные, цементно-песчаные* и др.), а также декоративные составы (*полимер-цементные, цементно-перхлорвиниловые* и т. п.). Кроме прочности на сжатие и необходимого сцепления с основанием декоративные растворы должны в течение всего периода эксплуатации сохранять первоначальный цвет, текстуру и другие качества независимо от воздействия окружающей среды. Поэтому к таким растворам предъявляют повышенные требования по *морозо-, свето- и водостойкости*. Стабильность этих показателей во времени зависит в основном от свойств использованных при изготовлении растворов материалов.

В качестве вяжущих для декоративных растворов и составов, наносимых на наружные поверхности зданий, применяют белый и цветные портландцементы, полимерцементы. Для отделки интерьеров чаще используют известь, гипсовые вяжущие, гипсополимерцемент, цементно-перхлорвиниловое вяжущее. Красящими добавками служат свето-, щелоче- и кислотостойкие пигменты природного или искусственного происхождения, например оксид хрома, железный сурик, графит и др. Из белых пигментов наиболее пригодны мраморная мука, белый портландцемент.

В качестве заполнителей используют промытые кварцевые пески или каменную крошку, получаемую при дроблении горных пород. Применяют также керамическую, стеклянную, угольную, сланцевую, пластмассовую крошку с размером частиц 2...5 мм, приклеиваемую на полимерцементном составе (внешняя отделка) или водоэмульсионной краске (отделка интерьеров). В необходимых случаях для получения искрящихся поверхностей в состав раствора вводят слюду или дробленое стекло.

● *Гидроизоляционные растворы* состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент:песок по массе) используют для гидроизоляционных слоев, стяжек, штукатурок. Их изготавливают на портландцементе, сульфатостойком портландцементе, расширяющемся цементе.

● *Рентгенозащитный раствор* готовят на портландцементе или шлакопортландцементе и баритовом песке ( $\text{BaSO}_4$ ) не крупнее 1,25 мм с добавкой в раствор легких элементов (литий, бор и т. п.).

● *Акустические растворы* используют для штукатурки, обеспечивающей снижение уровня шума в помещении. Их изготавливают на портландцементе, шлакопорт-

ландцементе, извести, гипсовых вяжущих или их смесях и на однофракционном (3...5 мм) пористом песке (из перлита, пемзы, керамзита и т. п.), что обеспечивает таким растворам открытую (незамкнутую) пористость и низкую среднюю плотность (600...1200 кг/м<sup>3</sup>).

#### 7.4. Методика преподавания бетонов и строительных растворов

Эти главы составляют значительный объем курса строительных материалов, что соответствует широкому применению бетонов и растворов в строительстве. Для повышения эффективности строительства необходимо изыскивать и применять по возможности недорогие материалы, производство которых обеспечено достаточной сырьевой базой. При прочих равных условиях лучшими являются материалы, допускающие возможность изготовления индустриальных конструкций, которые монтируются в сооружении с малыми трудовыми затратами и в короткие сроки.

Именно таким материалом является бетон. Большая сырьевая база, универсальность свойств, возможность их регулирования в широких пределах и некоторые другие качества делают его незаменимым материалом для массового строительства. Поэтому производство бетона постоянно увеличивают, уделяя внимание изготовлению сборных бетонных и железобетонных конструкций. Изложение разделов «Бетоны и изделия из них» и «Строительные растворы» имеет много общего, так как эти группы материалов, по существу, примыкают друг к другу. Те и другие получают в результате перемешивания вяжущих, заполнителей и воды, затвердевают в результате сходных физико-химических процессов. По текстуре бетон и раствор представляют собой материалы составного типа, в которых компоненты с заведомо различными свойствами соединены в одно целое.

В процессе преподавания основной упор рекомендуется делать на материаловедение. Технология бетона обычно излагается в общем виде, поскольку учащиеся знакомятся с техникой бетонных работ в курсе технологии строительного производства. При изложении обоих разделов целесообразно придерживаться единой методической схемы.

Вначале даются определение понятий (бетона или строительного раствора) и общая характеристика дан-

ного материала. Используя в качестве предпосылки универсальность свойств бетона, можно показать на примерах применение его для ограждающих и несущих конструкций в различных областях строительства.

Далее необходимо изложить основные требования к материалам для производства бетона.

При изготовлении изделий вначале рассматривают получение бетонной (растворной) смеси, свойства которой во многом определяют свойства затвердевшего бетона или раствора. Поэтому в первую очередь следует рассмотреть важнейшие реологические свойства смесей и факторы, которые оказывают на них решающее влияние, а уж потом переходить к затвердевшему бетону или раствору.

Особое внимание необходимо обратить на расход воды, качество и объем теста в бетонной смеси, от которых зависит ее удобоукладываемость, а в затвердевшем бетоне (растворе) — прочность, морозостойкость и другие свойства.

Затем подробно рассматривают особенности структуры затвердевшего бетона, имея в виду очевидную связь структуры со свойствами. В структуре выделяют отдельные элементы: цементирующее вещество (в частном случае цементный камень), заполнитель и зону контакта между ними. Выделение элементов макроструктуры позволяет проследить влияние каждого из них на свойства бетона. Например, прочность бетона будет, очевидно, зависеть от качества примененных заполнителей. По этой причине в стандартах устанавливают требования к прочности и другим свойствам заполнителей для бетона. В цементном камне важнейшей характеристикой является пористость, от которой зависит не только прочность, но и долговечность всего конгломерата. При плохом качестве контактной зоны нарушается совместная работа цементирующего вещества и заполнителя. Для увеличения сцепления компонентов в контактной зоне следует применять чистые, промытые заполнители.

Основным элементом микроструктуры является пористость. Надо подчеркнуть, что по своему происхождению и местоположению, а также по размерам поры могут весьма различаться и оказывают неоднозначное влияние на свойства бетона. Вследствие избытка воды в бетонной смеси по сравнению с теоретически необходимым затвердевший бетон всегда содержит поры. Особенно важно обратить внимание на то, что характер и объем

пор в твердеющем бетоне постоянно меняются по мере продолжающейся гидратации цемента. В этом состоит принципиальное отличие бетонов и строительных растворов от других пористых материалов, например природных камней или керамики, у которых однажды сформированная пористость со временем не меняется.

Среди свойств затвердевшего бетона определяющее значение имеет прочность. Из множества факторов, на нее влияющих, необходимо выделить важнейшие: качество примененных материалов и пористость цементирующего вещества. Именно эти факторы и входят в основной закон прочности бетона.

Зависимость прочности бетона от количества воды затворения (при постоянном расходе цемента) имеет вид двухветвевой кривой. Необходимо разъяснить, почему понижается прочность бетона при недостатке и избытке воды в бетонной смеси. Возрастание пористости (и уменьшение прочности) бетона при отклонении количества воды от оптимального вызывается разными причинами: при недостатке воды — понижением удобоукладываемости смеси, а при ее избытке — возникновением системы мелких пор и капилляров, образованных свободной (несвязанной) водой.

Рассматривая в историческом аспекте работы в области бетоноведения, следует подчеркнуть заслуги русских и советских ученых: И. Г. Малюги, установившего влияние расхода воды на прочность бетона, Н. М. Беляева, предложившего на основе статистической обработки большого экспериментального материала зависимость прочности от водоцементного отношения (Н. М. Беляев впервые учел влияние качества цемента путем введения величины  $R_{ц}$ ). Большой вклад в развитие науки о бетоне внесли Б. Г. Скрамтаев, сформулировавший закон прочности в современном виде, и Н. А. Попов, открывший фундаментальные закономерности в области легких бетонов и строительных растворов.

Основной закон прочности используют при расчете состава бетона. Основная задача здесь состоит в определении такого состава, при котором бетонная смесь и затвердевший бетон обладают заданным комплексом свойств при минимальном расходе цемента. Требование экономичности очень важно; его соблюдение позволяет сберечь стране миллионы тонн цемента.

Влияние основных производственных факторов на прочность бетона лучше всего рассматривать по схеме,

предложенной Н. А. Поповым. Эта схема предусматривает выделение основных факторов, решающим образом влияющих на качество бетона на всех стадиях переработки сырьевых материалов и определения состава бетона, стадии приготовления бетонной смеси и укладки ее в конструкцию и, наконец, стадии твердения изделия.

Из числа других свойств бетона описываются важнейшие, определяющие его работу в период эксплуатации: деформации под действием нагрузки, усадка, ползучесть, проницаемость, морозостойкость и т. п. Здесь же необходимо указать, что прочность бетона на растяжение намного меньше прочности на сжатие, и это вызывает необходимость сочетания бетона со стальной арматурой в железобетонных изделиях.

Особо следует рассматривать легкие бетоны, которые относятся к числу наиболее прогрессивных видов бетона. После изложения классификации легких бетонов надо выявить особенности бетонов на пористых заполнителях. Эти бетоны имеют малую плотность за счет замены плотных заполнителей на пористые, но именно вследствие особых свойств пористых заполнителей легкобетонные смеси обладают пониженной удобоукладываемостью.

Ячеистые бетоны благодаря газонаполненной структуре могут быть очень легкими, поэтому их употребляют не только для ограждающих конструкций, но и в качестве теплоизоляции.

Рассмотрение специальных бетонов позволяет подчеркнуть универсальность свойств бетона и возможность его использования в различных областях строительства.

При изложении вопроса об использовании бетона и железобетона в сборных и монолитных конструкциях целесообразно показывать плакаты, диапозитивы с изображением наиболее часто встречающихся конструкций, а также знакомить с ними учащихся в процессе экскурсий и практики на строительных объектах.

Необходимо выделить отличительные особенности растворных смесей и затвердевших растворов, обусловленные спецификой их применения (тонкие слои, невысокая прочность, укладка на пористое основание и т. д.).

На практических и лабораторных занятиях учащиеся должны приобрести практические навыки по определению основных свойств бетонной (растворной) смеси и затвердевших бетонов (растворов), уяснить сущность методов определения состава бетона (раствора) с задан-

ными свойствами и научиться пользоваться для этих целей таблицами и справочными материалами.

Изучение каждой главы рекомендуется закончить проведением коллоквиума или семинара.

## Глава 8

### ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ БЕЗОБЖИГОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Искусственные каменные безобжиговые материалы и изделия получают на основе неорганических вяжущих веществ и разнообразных минеральных и органических заполнителей. В отличие от керамических и плавящихся материалов и изделий их называют безобжиговыми, так как они приобретают камневидное состояние в результате затвердевания вяжущего вещества при обычной или относительно невысокой температуре — до 200 °С (прогревание паром, в том числе в автоклавах).

В эту группу материалов и изделий кроме рассмотренных бетонных и железобетонных изделий (см. гл. 6) входят силикатные, асбестоцементные, гипсовые и гипсобетонные и применяемые весьма органично магниевые материалы и изделия.

#### 8.1. Силикатные материалы и изделия

● Силикатными называют искусственные каменные материалы и изделия, получаемые в результате формования и последующей тепловлажностной обработки в автоклавах смесей, состоящих из известково-кремнеземистых вяжущих, заполнителей (кварцевого песка, шлака и др.) и воды. Такие композиции, хотя медленно, образуют камень и при твердении на воздухе, но получаемый материал имеет невысокую прочность (1...2 МПа). В этом случае взаимодействие  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  извести и  $\text{SiO}_2$  песка протекает очень медленно и практически не сказывается на прочности камня. Однако, как было установлено в 1880 г. немецким ученым В. Михаэлисом, твердение уплотненной смеси извести с кварцевым песком резко ускоряется, если эту смесь подвергнуть тепловлажностной обработке в автоклаве, где температура насыщенного пара достигает 170 °С и более, а давление — 0,8 МПа и выше. В этих условиях  $\text{SiO}_2$  песка приобретает химическую активность и между ним и известью происходит

энергичное химическое взаимодействие с образованием гидросиликатов кальция, цементирующих зерна песка в прочный монолит.

#### ■ Сырье.

Многие годы единственным видом силикатных строительных материалов был силикатный кирпич, для изготовления которого применяют кварцевый песок и воздушную известь. Если часть кварцевого песка тонко размолоть, то прочность изделий после автоклавного твердения значительно возрастает. Регулируя количество и степень измельчения тонкомолотого песка и выбирая в соответствии с этим оптимальные соотношения  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ , можно изменять активность вяжущего и некоторые физико-механические свойства силикатного бетона.

Для производства автоклавных изделий в качестве кремнеземистого компонента кроме песка используют и другие местные материалы — шлаки, золы от пылевидного сжигания топлива, нефелиновый шлам и др.

На базе местных материалов в Советском Союзе разработана технология и создано производство силикатных автоклавных изделий и конструкций для сборного строительства. Наша страна по объему производства силикатных изделий занимает первое место в мире. Такие изделия и конструкции по своим техническим и строительно-эксплуатационным качествам близки к аналогичным изделиям из цементных бетонов, но для их изготовления требуется меньше вяжущего, шире используются местные материалы, технология их изготовления дает возможность полностью механизировать и автоматизировать производственные процессы. Силикатобетонные изделия, как правило на 15...25 % дешевле цементобетонных.

Большой вклад в разработку технологии, изучение процессов твердения и свойств силикатных автоклавных материалов и изделий внесли советские ученые П. П. Будников, Ю. М. Бутт, П. И. Боженков, А. В. Волженский, А. В. Саталкин и др.

#### ■ Производство.

Особенностью автоклавного производства силикатобетонных изделий является возможность получения изделий различной плотности и прочности при одних и тех же исходных материалах и процессах их подготовки по технологическим схемам, в своей основе аналогичным при производстве бетонных и железобетонных изделий.

Производство силикатных изделий обычно складыва-

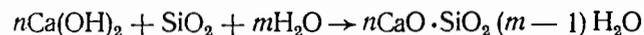
ется из следующих операций: приготовления известково-кремнеземистой смеси, приготовления и гомогенизации силикатобетонной смеси, формования изделий, твердения изделий в автоклавах в среде насыщенного водяного пара при давлении 0,9...1,6 МПа и температуре 175...200 °С.

Некоторые технологические переделы в зависимости от исходного сырья и вида выпускаемых изделий могут изменяться или дополняться другими операциями. Например, в производстве силикатного кирпича иногда отсутствует операция помола известково-кремнеземистой смеси, но необходима операция гашения извести в смеси с песком, которую осуществляют в специальных силосах или в гасильном барабане. При изготовлении ячеистых силикатно-бетонных изделий процесс приготовления смеси дополняется приготовлением устойчивой пены или суспензии газообразователя и их смешиванием с известково-песчаной смесью.

Выбор способа формования изделий зависит от удобоукладываемости силикатно-бетонной смеси. При изготовлении силикатного кирпича и мелких блоков используют жесткие смеси с влажностью 8...10 %. Такие смеси формуют на специальных прессах под давлением 15...20 МПа. Для формования силикатно-бетонных изделий из смесей с большой пластичностью применяют вибрирование или вибрирование с пригрузом. Очень пластичные смеси, например, при изготовлении пеносиликатных или газосиликатных изделий укладывают без принудительного уплотнения или кратковременным вибрированием.

Последняя и самая важная стадия производственного процесса — твердение силикатно-бетонных изделий — осуществляется в автоклавах. Автоклав представляет собой горизонтально расположенный стальной цилиндр диаметром 2 м и более, длиной 20...30 м, с торцов герметически закрытый крышками (рис. 8.1). В нижней части автоклава уложены рельсы, по которым передвигаются загружаемые в него вагонетки с изделиями.

При автоклавной обработке происходит реакция между гидроксидом кальция извести и кремнеземистым компонентом:



в результате которой синтезируется цементирующее вещество в виде гидросиликатов кальция различного состава, связывающее зерна песка или другого заполнителя

в прочный и водостойкий каменный материал. Условия быстрого прохождения этого процесса обеспечиваются в автоклаве путем использования насыщенного пара с температурой 175 °С и выше, но при этом необходимо давление пара 0,9 МПа и более. Длительность цикла запаривания составляет 10...14 ч.

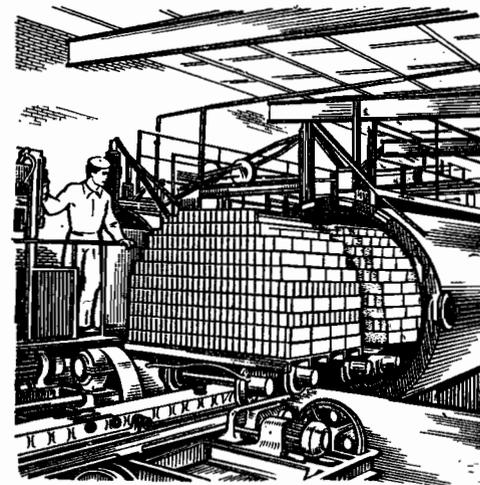


Рис. 8.1. Загрузка кирпича и автоклав

Наращение прочности изделий продолжается и после их выгрузки из автоклава. Это обусловлено высыханием изделий.

● Силикатный (известково-песчаный) кирпич имеет те же форму и размеры, что и керамический. Его 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 — светло-серый, но может быть и цветным, если в состав смеси ввести щелочестойкие пигменты. В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич подразделяют на марки: 75; 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300. Морозостойкость силикатного кирпича, как и керамического, не ниже F15, а водопоглощение — 8...16 % (по массе). Плотность си-

ликатного кирпича 1800...1900 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность 0,82...0,87 Вт/(м·°С), т. е. несколько больше, чем керамического кирпича.

Силикатный кирпич применяют там же, где и керамический, за исключением конструкций, подвергающихся систематическому действию воды (фундаменты) и высоких температур (печи, трубы и т. п.). В условиях систематического увлажнения, особенно водой, содержащей агрессивные примеси (соли, кислоты), происходит разложение гидросиликатов. При длительном действии температуры выше 500 °С силикатный кирпич разрушается вследствие дегидратации гидросиликатов кальция, а также полиморфного превращения кварца в другую модификацию, что сопровождается скачкообразным увеличением объема его зерен.

Для получения силикатного кирпича требуется меньше производственных площадей, чем на заводах керамического кирпича, расходуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза ниже трудоемкость производства. В результате себестоимость силикатного кирпича на 25...35 % ниже, чем керамического. Поэтому он продолжает занимать значительную долю в общем объеме выпуска стеновых материалов. При этом возрастает средняя марка кирпича, увеличивается выпуск пустотелого силикатного кирпича и пустотелых блоков, что позволит снизить расход материалов и вес ограждающих конструкций и уменьшить суммарные приведенные затраты на 1 м<sup>2</sup> стены.

● Разновидностями силикатного кирпича являются *известково-шлаковый и известково-золенный кирпич*, отличающиеся от него несколько меньшими плотностью (1400...1600 кг/м<sup>3</sup>), теплопроводностью 0,6...0,7 Вт/(м·°С) и прочностью (2,5...7,5 МПа).

Использование в производстве силикатного кирпича взамен песка и частично извести, шлаков и зол расширяет сырьевую базу, обеспечивает сокращение расхода вяжущего на 35...40 %. При этом выдержка продукции в автоклавах уменьшается. На этой основе обеспечивается снижение себестоимости кирпича не менее чем на 15...20 %.

Изделия из силикатного бетона могут быть плотного или пористого строения.

● *Плотные силикатные изделия* преимущественно изготавливают из тяжелых мелкозернистых силикатных бетонов (на кварцевом песке без крупного заполнителя)

плотностью 1800...2300 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 11...50 МПа. Можно получать силикатный бетон и большей прочности (до 100 МПа) при увеличении дисперсности и количества тонкомолотого кварцевого песка в известково-кремнеземистой смеси, сильном ее уплотнении и соответствующем режиме автоклавной обработки.

Модуль упругости тяжелого силикатного бетона в 1,5...2,5 раза ниже цементного, поэтому его деформации при кратковременном действии нагрузки больше. Однако максимальное значение характеристики ползучести силикатного бетона в 1,5...3 раза меньше, чем цементного. Суммарные деформации (кратковременные и длительные) у обоих видов бетонов практически одинаковы. Поэтому при замене обычного бетона плотным силикатным сечения конструкций и их армирование не требуют изменений.

Водостойкость (коэффициент размягчения не менее 0,75) и морозостойкость (F50 и более), плотность силикатного бетона хотя и несколько ниже, чем у плотных цементных бетонов, но вполне достаточны для обеспечения требований к наружным конструкциям гражданских и промышленных зданий. При необходимости для повышения прочности и морозостойкости силикатных изделий в состав известково-кремнеземистой смеси добавляют небольшое количество портландцемента (10...15 %).

Коррозионная стойкость арматуры в конструкциях из тяжелого силикатного бетона надежно обеспечивается в помещениях с влажностью воздуха до 60 %. При влажном и переменном режимах эксплуатации арматуру необходимо защищать антикоррозионными обмазками.

Таким образом, по совокупности свойств плотные силикатобетонные изделия не уступают цементно-бетонным, а себестоимость их меньше.

Из плотных силикатных бетонов изготавливают: панели внутренних стен и перекрытий, балки, прогоны и колонны, карнизные плиты и другие сборные детали.

● *Легкобетонные силикатные изделия* изготавливают из двух видов бетонов автоклавного твердения — легкого силикатного бетона на пористых заполнителях и ячеистых силикатных бетонов (пеносиликатные и газосиликатные изделия).

● *Легкие силикатные бетоны на пористых заполнителях* приготавливают на тех же вяжущих, что и плотные силикатные бетоны. Пористыми заполнителями для них служат керамзит, вспученный перлит, аглопорит, шла-

ковая пемза и другие пористые материалы в виде гравия и щебня. Такие бетоны имеют прочность 3,5...20 МПа, водопоглощение 12...30 % (по объему), морозостойкость 15...50 циклов.

Конструкционные легкие силикатные бетоны с плотностью 1400...1800 кг/м<sup>3</sup> применяют для изготовления армированных силикатобетонных изделий и конструкций. Конструкционно-теплоизоляционные бетоны с плотностью 500...1400 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью до 0,58 Вт/(м·°С) используют для изготовления наружных ограждающих конструкций (блоков и панелей стен, совмещенной кровли и т. п.). Из теплоизоляционных силикатных бетонов с плотностью менее 500 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью около 0,18 Вт/(м·°С) изготавливают плиты разных размеров для тепловой изоляции покрытий и перекрытий промышленных и жилых зданий.

● *Ячеистые силикатные бетоны* делят на газосиликатные и пеносиликатные.

● *Пеносиликат* получают путем смешивания технической пены с предварительно размолотой известково-кремнеземистой смесью и последующей обработкой отформованных изделий в автоклаве. При смешивании известково-кремнеземистой смеси с газообразователем (алюминиевой пудрой и др.) получают *газосиликат* (см. с. 234).

● Из *ячеистых силикатных бетонов* можно изготовить изделия с плотностью 300...1200 кг/м<sup>3</sup> и прочностью 0,4...20 МПа. Такие изделия имеют мелкопористую структуру, небольшую теплопроводность 0,1...0,45 Вт/(м·°С) и характеризуются достаточной морозостойкостью (более 15 циклов), позволяющей использовать их для наружных конструктивных элементов в промышленном и гражданском строительстве. Ячеистые силикатные изделия (плиты, скорлупы) плотностью менее 500 кг/м<sup>3</sup> применяют для утепления как строительных конструкций (стен, покрытий), так и тепловых установок (трубопроводов, котлов и т. п.). Ячеистобетонные силикатные изделия плотностью 500...850 кг/м<sup>3</sup>, прочностью 2,5...7,5 МПа и теплопроводностью 0,22...0,29 Вт/(м·°С) успешно применяют в конструкциях наружных стен (панели, крупные блоки). Наружные стены из газосиликатных панелей на 25...30 % дешевле крупнопанельных керамзитобетонных и железобетонных стен с утеплителем.

Из газосиликата и пеносиликата с плотностью 900...1200 кг/м<sup>3</sup> и прочностью выше 7,5 МПа изготавливают кон-

струкционные армированные изделия (панели покрытий и перекрытий) при условии защиты арматуры от коррозии специальными обмазками.

## 8.2. Гипсовые и гипсобетонные изделия

К этой группе относят изделия, изготовленные на основе гипсовых и гипсоцементно-пуццолановых вяжущих. Быстрое твердение и хорошие формовочные свойства гипсовых вяжущих позволяют сравнительно просто и в короткие сроки изготавливать различные виды перспективных изделий для сборного строительства.

Изделия на основе гипса подразделяют на гипсовые и гипсобетонные.

● *Гипсовые изделия* изготавливают из гипсового теста без добавок или с небольшой добавкой органических волокнистых или молотых минеральных наполнителей. При изготовлении гипсобетонных изделий применяют гипсобетонную смесь, состоящую из гипса, воды и пористых наполнителей — минерального (топливные и доменные шлаки, ракушечник, туфовый и пемзовый щебень, керамзит, аглопорит и др.) и органического происхождения (древесные опилки и шерсть (стружка), сечка камыша, солома, льняная костра и т. п.).

### ■ Свойства.

Изделия на основе гипса имеют небольшую плотность (гипсовые 800...1100 кг/м<sup>3</sup>, гипсобетонные 1200...1500 кг/м<sup>3</sup>), достаточную прочность (2,5...10 МПа), хорошие звуко- и теплоизоляционные свойства. Они хорошо поддаются механической обработке и легко окрашиваются. Недостатками этих изделий являются низкая водостойкость, высокая ползучесть под нагрузкой, хрупкость при применении в тонкостенных элементах. Этим объясняется преимущественное применение гипсовых изделий в помещениях с влажностью воздуха до 60 %. Эффективным методом придания высокой водостойкости таким изделиям является применение для их изготовления гипсоцементно-пуццолановых вяжущих. На их основе стало возможным изготовление панелей стен, оснований под полы, панелей для ванных комнат, объемных санитарно-технических кабин и других крупногабаритных конструкций для полносборного строительства.

● *Изделия из гипса и гипсобетона* могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными. Роль арматуры могут выполнять органические

волокна, равномерно распределенные в самой формовочной массе, или армирующие материалы, являющиеся частями конструкции самого изделия (картонная оболочка в гипсовой штукатурке, деревянный каркас из реек в перегородочных панелях, камыш в гипсобетонных плитах и т. д.). Стальная арматура в гипсобетонных изделиях ржавеет, поэтому ее применяют редко и тщательно защищают от коррозии специальными покрытиями (битумными лаками и др.).

Для уменьшения плотности изделий и расхода гипсового вяжущего иногда в процессе подготовки гипсового теста добавляют пену или газообразующие добавки, получая пеногипсовые или газогипсовые изделия с плотностью 700...800 кг/м<sup>3</sup>.

#### ■ Производство.

Технология изделий из гипсовых и гипсобетонных смесей принципиально не отличается от технологии бетонных и железобетонных изделий и состоит из следующих операций: дозирования всех составляющих смеси, приготовления гипсового теста или гипсобетонной смеси, формования изделий, быстрого освобождения от форм, сушки изделий для повышения прочности. Прочность гипсовых растворов и бетонов зависит в общем от тех же факторов, что и прочность цементных растворов и бетонов — активности гипсового вяжущего, водогипсового (или гипсоводного) фактора и прочности заполнителя.

При формовании гипсовых и гипсобетонных изделий используют метод литья, вибрирование, прессование. В Советском Союзе разработан метод изготовления крупногабаритных изделий путем проката (рис. 8.2). Изделия формируют с помощью вибрирования и обжатия гипсобетонной смеси между двумя бесконечными непрерывно движущимися лентами, а после схватывания направляют в туннельные сушилки.

При вибрировании и других видах интенсивного уплотнения в гипсобетон вводят меньше воды (примерно в 1,5 раза), чем при литьевом способе, в результате чего в 1,5...2 раза возрастает прочность изделия, экономится вяжущее, упрощается и ускоряется сушка изделий. Сушат изделия дымовыми газами или нагретым воздухом (см. гл. 5).

● *Гипсобетонные панели* нашли широкое применение в индустриальном строительстве для устройства перегородок, санитарно-технических кабин, вентиляционных коммуникаций, оснований под полы и других целей.

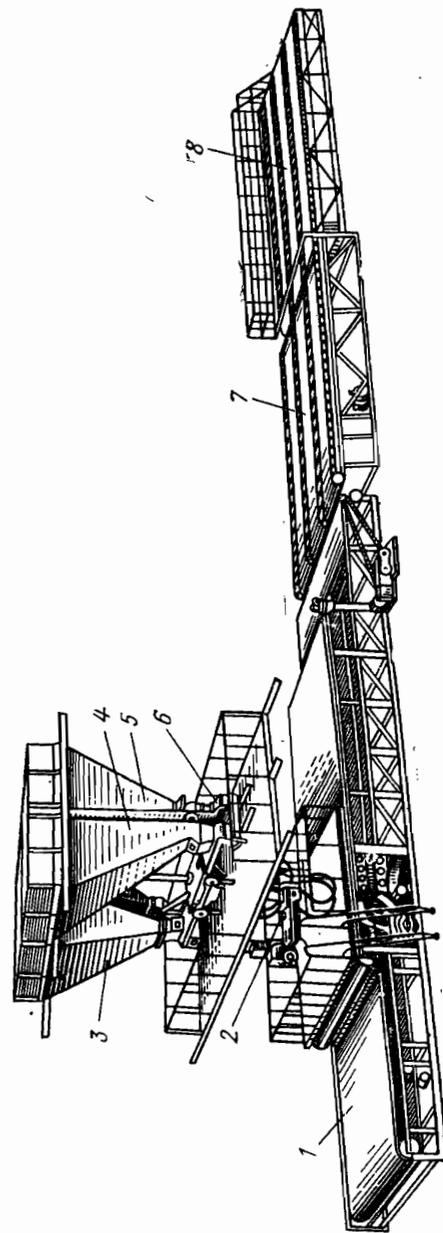


Рис. 8.2. Технологическая схема производства гипсобетонных панелей методом проката: 1 — прокатный агрегат; 2 — растворомескитель; 3, 4, 5 — бункера гипса, песка, опилки; 6 — дозатор-питатель; 7 — обгонный ролик; 8 — кантователь

● *Панели для перегородок* (не несущих нагрузки) изготавливают из гипсобетона, армируя деревянными реечными каркасами. Гипсобетон для панелей должен иметь прочность не менее 3,5 МПа, плотность 1250...1400 кг/м<sup>3</sup>.

Изготавливают панели в сборных формах, кассетах, методом непрерывного проката. На прокатном стане изготавливают перегородки размером «на комнату», высотой до 3 м, длиной до 6 м и толщиной 8...12 см. Они могут быть сплошными и с проемами для дверей. Готовые панели имеют ровные поверхности, пригодные для окраски или оклеивания обоями, что упрощает и ускоряет сроки отделочных работ на строительстве.

Гипсобетонные перегородки значительно экономичнее кирпичных (на 25...35%), железобетонных (на 10...15%), фибролитовых и деревянных щитовых (на 40...50%). Это и определяет их доминирующее положение в общем балансе перегородок.

*Панели, предназначенные для устройства санитарно-технических кабин и вентиляционных коммуникаций* в жилых и промышленных зданиях, изготавливают из гипсобетона на гипсоцементно-пуццолановых вяжущих. Такие бетоны должны иметь прочность при сжатии не менее 6...7 МПа. По суммарным трудовым затратам гипсобетонные кабины примерно равноценны с асбестоцементными и на 30...35% экономичнее железобетонных монолитных.

*Панели для основания пола* служат «черным полом» под линолеум, плитку из пластмасс и под мастичные полы. Толщина панелей должна быть не менее 50 мм, влажность — не более 10%, марка гипсобетона по прочности — не ниже 7,5 МПа при плотности не более 1300 кг/м<sup>3</sup>. Эти панели изготавливают на гипсоцементно-пуццолановом вяжущем и армируют деревянным каркасом.

Главное преимущество панелей в том, что с завода они выпускаются с гладкой поверхностью и при их укладке не требуется создания в перекрытиях трудоемких звукоизоляционных засыпок и выравнивающих стяжек. Применение панелей для основания пола позволяет в 1,5...2 раза снизить общую трудоемкость работ по устройству полов.

● *Гипсобетонные плиты для перегородок* могут быть сплошными, пустотелыми и армированными камышом или штукатурной дранью (рис. 8.3). Их размер 800×400 мм при толщине 80...100 мм. Влажность плит

не должна быть более 8% при плотности 1000...1400 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 3...4 МПа.

● *Гипсовые обшивочные листы* (сухая гипсовая штукатурка) представляют собой тонкие плиты, внутренняя часть которых состоит из затвердевшего гипсового теста, содержащего небольшое количество пены, а поверхность и кромки листов оклеены картоном (рис. 8.4). Картон армирует листы и повышает их прочность при изгибе, а его гладкая поверхность позволяет вести отделку без особой подготовки. Изготавливают гипсовые обшивочные листы на конвейере.

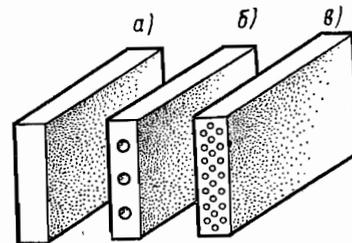


Рис. 8.3. Гипсовые перегородочные плиты:

а — сплошная; б — пустотелая; в — армированная камышом

Промышленность выпускает также *бескартонные гипсоволокнистые листы*, изготавливаемые из гипсовой массы, в которую для уменьшения хрупкости добавляют до 10% тонких волокнистых наполнителей (измельченной древесины, бумажной макулатуры, льняной костры и т. п.). Прочность таких листов близка к прочности листов с картоном, а стоимость значительно ниже.

Гипсовые обшивочные листы выпускают длиной 2,5...3 м, т. е. на всю высоту этажа при ширине 1, 2...1,3 м, толщиной 10 и 12 мм. Влажность листов не должна превышать 2%. Гипсовые обшивочные листы применяют для обшивки внутренних стен, перегородок и потолков зданий.

Для внутренней отделки помещений различного назначения промышленность выпускает также листы сухой гипсовой штукатурки с отделкой их лицевого слоя декора-

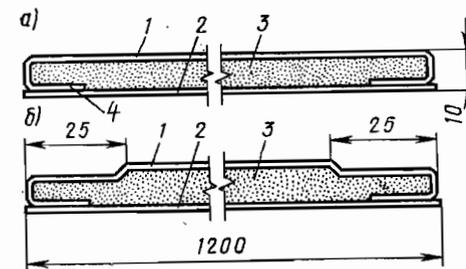


Рис. 8.4. Поперечное сечение гипсовых обшивочных листов:

а — с гладкими кромками; б — с обжатыми кромками; 1 — картон; 2 — лицевая сторона; 3 — гипсовый камень; 4 — тыльная сторона

тивным покрытием из поливинилхлоридных пленок или текстурной бумагой (под дерево, мрамор), отделанной прозрачными лаками (материал «декорт»).

Применение гипсовых обшивочных листов взамен обычной («мокрой») штукатурки позволяет во много раз ускорить отделочные работы и снизить их стоимость. Сухая гипсовая штукатурка уже сейчас занимает 10...12 % в балансе материалов для внутренней отделки, а в будущем будет возрастать преимущественно за счет офактуренных листов, не требующих последующей отделки.

### 8.3. Асбестоцементные материалы и изделия

● *Асбестоцементом называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси цемента, асбеста и воды.* Цементный камень хорошо сопротивляется сжимающим и плохо растягивающим нагрузкам. Введение в цемент небольшого количества (10...20 %) тонковолокнистого асбеста, обладающего высокой прочностью при растяжении, существенно изменяет физико-механические свойства цементного камня. Такой материал обладает достаточно высокой прочностью, огнестойкостью, долговечностью, малыми водопроницаемостью, теплопроводностью и электропроводностью, но хрупок и подвержен короблению при изменении влажности.

Номенклатура асбестоцементных изделий, вырабатываемых в СССР, насчитывает свыше 40 наименований. Они могут быть разделены на следующие основные группы: *профилированные листы* — волнистые и полуволнистые для кровель и обшивки стен; *плоские плиты* — обыкновенные и офактуренные или окрашенные для облицовки стен; *панели кровельные и стеновые* с теплоизоляционным слоем; *трубы напорные и безнапорные* и соединительные *муфты* к ним; *специальные изделия* (архитектурные, санитарно-технические, электроизоляционные и т. д.).

По объему производства асбестоцементных изделий Советский Союз занимает первое место в мире. Более половины мирового выпуска асбестоцементных изделий производится в нашей стране.

#### ■ Сырье.

Асбестоцементные изделия изготовляют из трех основных компонентов: асбеста, цемента и воды. Сырьевая

смесь (в расчете на массу сухих веществ) содержит в среднем 85 % цемента и 15 % асбеста.

● *Асбестом* называют встречающиеся в природе тонковолокнистые неорганические массы, состоящие главным образом из водных или безводных силикатов магния, а некоторые разновидности — из силикатов кальция и натрия. Наибольшее значение в промышленности имеет хризотил-асбест ( $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), месторождения которого в СССР являются крупнейшими в мире.

При механической обработке асбест сравнительно легко расщепляется на тонкие волокна (до 0,0005 мм), обладающие гибкостью, высокой механической прочностью (до 600...1000 МПа), несгораемостью. В распушенном состоянии асбест легок, имеет малую теплопроводность [0,055...0,075 Вт/(м·°C)] и высокие электроизоляционные свойства. Хризотил-асбест обладает высокой щелочестойкостью, но его легко разрушают кислоты.

В результате распушки асбеста резко возрастает поверхность волокон, что способствует его высокой адсорбционной активности по отношению к цементу.

Товарный хризотил-асбест состоит из смеси волокон различной длины и их агрегатов. Агрегаты асбеста с недеформированными волокнами, размер которых в поперечнике более 2 мм, условно называют «кусковым» асбестом, а менее 2 мм — «иголками». «Распушенным» называют асбест, в котором волокна тонки, деформированы и перепутаны. Частицы сопутствующей породы крупностью более 0,25 мм носят название «галь», а менее 0,25 мм — пыль.

Большое влияние на качество продукции оказывает длина волокон асбеста. Это основной признак деления асбеста на сорта. Чем больше средняя длина волокон, тем выше сорт. Для производства асбестоцементных изделий применяют коротковолокнистый асбест—3, 4, 5 и 6-го сортов с длиной волокон от 10 мм до нескольких сотых мм, а содержание их составляет 50...24 % по массе, остальные 50...76 % приходятся на долю пылевидных и других неволоконистых частиц. Иногда часть асбеста (10...15 %) заменяют базальтовой или шлаковой минеральной ватой.

● В качестве *вязящего* компонента при производстве асбестоцементных изделий используют специальный портландцемент для асбестоцементных изделий. Такой цемент характеризуется быстрым нарастанием прочности как в начале, так и в последующие сроки твердения, замедленным началом схватывания (не ранее 1,5 ч) и достаточно большой тонкостью помола, необходимой для того, чтобы создать значительную поверхность сцепления

между цементом и тонко распушенными волокнами асбеста. Этот цемент содержит не менее 52 %  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  и не более 8 %  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ , в нем не должно быть минеральных добавок (кроме гипса).

В случае автоклавной обработки изделий используют песчанистый портландцемент, что позволяет сократить расход портландцементного клинкера.

При изготовлении асбестоцементных изделий для облицовки применяют также специальные белый и цветные цементы.

При смешивании асбеста с портландцементом и водой волокна асбеста равномерно распределяются в массе цемента, при этом каждое волокно оказывается окруженным цементным тестом. Адсорбируя выделяющийся при твердении цемента гидроксид кальция и другие продукты гидратации цемента, асбест уменьшает их концентрацию в растворе. В результате этого схватывание и твердение цемента ускоряются, он прочно связывается с волокнами асбеста. Вследствие дальнейшей кристаллизации продуктов гидратации цемента прочность связи волокон асбеста с цементным камнем в асбестоцементных изделиях возрастает.

Для улучшения технологических свойств асбестоцементной суспензии и свежеформованных листов применяют химические добавки, например, в качестве пластификатора — ЛСТ (см. с. 191).

● **Вода** для производства асбестоцементных изделий должна быть чистой и слегка подогретой (до 30 °С). Не следует использовать болотную, торфяную, морскую и другую минерализованную воду.

● **Водонепроницаемые эмали и лаки** на основе синтетических смол (глифталевые, перхлорвиниловые, нитроцеллюлозные и др.) применяют для отделки асбестоцементных изделий.

#### ■ Производство.

Производство асбестоцементных изделий обычно складывается из распушки асбестового волокна, смешения его с водой и цементом, формования на листоформовочной машине, раскроя отформованных изделий и их твердения.

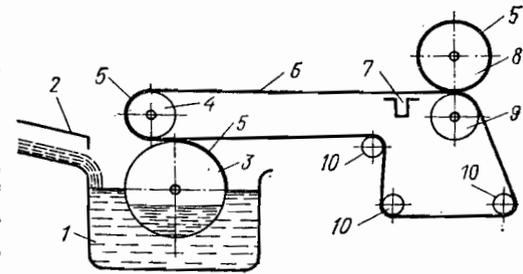
В процесс изготовления могут быть включены дополнительные операции: прессование для улучшения свойств плоских листов, волнировка для получения волнистых листов и различные виды отделки. Твердение изделий происходит в естественных условиях или при

повышенной температуре (в пропарочных камерах или автоклавах). Для изготовления асбестоцементных изделий применяют мокрое, полусухое и сухое формование.

● При *мокроем способе* формования асбест распушивают в присутствии воды на бегунах, а затем тщательно смешивают с цементом и большим количеством воды в специальных машинах (голландерах) до образования водной суспензии с содержанием сухих компонентов (асбест, цемент) не более 5...7 %. Формование изделий производят на круглосетчатых листо- и трубоформовочных машинах (рис. 8.5). Асбестоце-

Рис. 8.5. Схема формовочной машины:

1 — ванна; 2 — желоб для подачи асбестовой массы; 3 — полый барабан, обтянутый сеткой; 4 — прижимной вал; 5 — слой асбестоцементной массы; 6 — бесконечное сукно; 7 — вакуум-коробка; 8 — форматный барабан; 9 — ведущий барабан; 10 — натяжной валик



ментная суспензия фильтруется через сетку вращающегося сетчатого барабана и откладывается на его поверхности, образуя первичный слой асбестоцемента, который затем снимается движущейся лентой конвейера на бесконечное техническое сукно. Здесь асбестоцементная пленка несколько обезвоживается за счет вакуумирования и переходит с сукна на поверхность металлического барабана, называемого форматным барабаном — при производстве листовых изделий и форматной скалкой — при производстве труб. На барабан постепенно навивается все более толстый слой асбестоцемента. Когда слой достигнет требуемой толщины, его разрезают по образующей барабана и передают на конвейер для дальнейшей обработки. Здесь сырой асбестоцементный лист разрезается на заданные размеры, при необходимости прессуется или волнируется, а затем твердеет в естественных условиях, в пропарочных камерах или автоклавах. При изготовлении труб используют съемные форматные барабаны (скалки) с диаметром, равным внутреннему диаметру изготавливаемых труб.

● При *полусухом* способе формирования изделия изготовляют из концентрированной сметанообразной асбестоцементной массы с минимальной влажностью 30...

35 % на специальных машинах, обеспечивающих более сильное уплотнение и непрерывный бесслонный способ получения изделий.

● *Способ сухого* формирования предусматривает распушку асбеста и смешивание его с цементом и песком в сухом состоянии. Эту смесь, увлажненную до 12...16 %, уплотняют на конвейерной ленте катками или под прессом. Твердеют изделия в автоклавах. Так изготовляют облицовочные плитки и плитки для полов.

Отделку изделий осуществляют в процессе формирования (применением пигментов или цветных цементов, тиснением рельефа на лицевой поверхности) или при получении готовых изделий (окраской, покрытием декоративным слоем, полировкой).

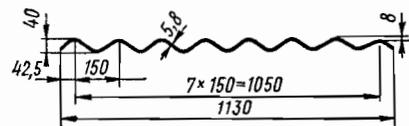
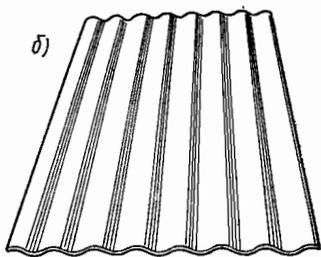
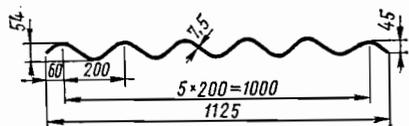
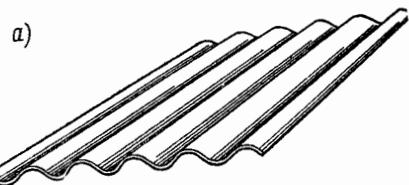


Рис. 8.6. Асбестоцементные волнистые листы:

а — унифицированного профиля УВ-175-7,5;  
б — средневолнистого профиля СВ-40-175

### ■ Виды асбестоцементных изделий.

Асбестоцементные изделия подразделяют на листы, плиты, панели, трубы и фасонные детали.

Все более широкое распространение в строительстве получают крупногабаритные асбестоцементные профи-

лированные и плоские листы и конструкции на их основе. Применение крупноразмерных изделий упрощает и удешевляет производство кровельных и облицовочных работ, а также сокращает количество стыков. Так, затраты на устройство асбестоцементной кровли, включая стропила, обрешетку, на 24 %, а трудовые затраты на 27 % меньше, чем для кровли из рубероида.

● *Асбестоцементные волнистые листы* обыкновенного профиля (ВО) и усиленного (ВУ) имеют относительно небольшие размеры. Асбестоцементная промышленность выпускает восемь основных типоразмеров крупноразмерных волнистых листов для жилищного, сельскохозяйственного и промышленного строительства. Максимальный пролет листов для кровельных покрытий 1,5 м, а для стеновых ограждений — 2,4 м.

По своим конструктивным характеристикам листы профилей УВ и СВ (рис. 8.6) превосходят выпускаемые за рубежом.

Высокая экономичность достигается применением таких листов длиной 2,5 м в стеновых ограждениях неотопливаемых промышленных зданий, где они заменяют при толщине 6...8 мм железобетонные плиты с приведенной толщиной 35...40 мм или кирпичные стены минимум в полкирпича. Это позволяет снизить в 6...10 раз массу ограждений и значительно уменьшить трудоемкость и стоимость их возведения.

● *Асбестоцементные плоские листы и плиты* выпускают двух типов — прессованные (П) и непрессованные (НП). Лицевая поверхность их может быть гладкой (полированной или неполированной) или тисненой (рельефной), обычного серого цвета, окрашенной или офактуренной. Плотность асбестоцементных непрессованных листов 1600...1700 кг/м<sup>3</sup>, прессованных не менее 1800 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе соответственно не менее 18...20 МПа и 23...25 МПа. Значительную часть этой продукции составляют пока листы размером 1200×800 и 1600×1200 мм, толщиной 6...10 мм, но все в большем объеме выпускают крупноразмерные листы длиной до 3...6 м, шириной 1,5 и 1,2 м.

Плоские асбестоцементные листы используют для изготовления сборных утепленных ограждающих конструкций (плит и панелей) гражданских и промышленных зданий. Асбестоцементные листы и плиты с различной отделкой лицевой поверхности применяют для внутренней и реже для наружной отделки стен, потолков, пере-

городок в жилых, общественных и промышленных зданиях.

Для покрытия полов выпускают плитки размером  $150 \times 150 \times 10$  (13) мм различной окраски, что позволяет создавать разнообразные цветовые композиции пола в санитарных узлах, кухнях, магазинах, столовых и других помещениях.

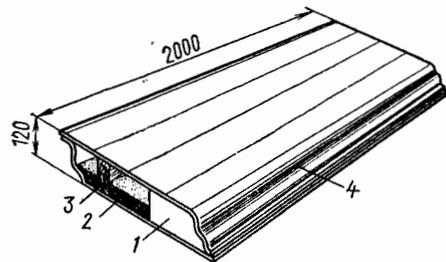


Рис. 8.7. Асбестоцементная панель для покрытий промышленных зданий:

1 — торцовая заглушка из асбестоцемента; 2 — минераловатная плита; 3 — деревянная бобышка; 4 — гнутый асбестоцементный лист

● **Плиты покрытий типа АП**, утепленные минераловатной плитой (рис. 8.7), предназначены для укладки под рулонный ковер в покрытия промышленных зданий с относительной влажностью воздуха внутри помещений до 70 % и с уклоном кровли не менее 5...7 %. Эти плиты имеют полную заводскую готовность, небольшую массу ( $50 \text{ кг/м}^2$ ) и невысокую стоимость, но характеризуются малой площадью монтажной единицы (до  $1,5 \text{ м}^2$ ).

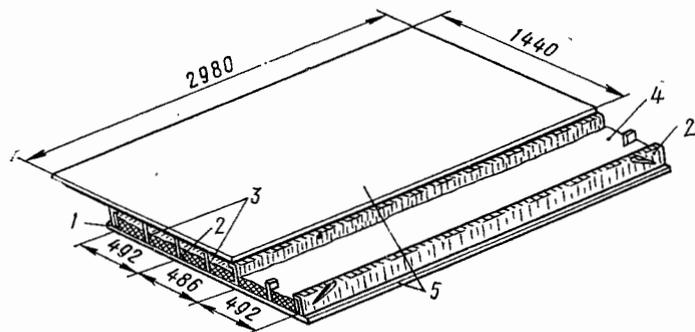


Рис. 8.8. Асбестоцементная каркасная плита для покрытий промышленных зданий:

1, 3 — бобышки деревянные; 2 — каркас из асбестоцементных швеллеров; 4 — утеплитель; 5 — асбестоцементные листы

● **Плиты типа АКП** (рис. 8.8) эффективны для покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий с большими пролетами и стальными несущими конструкциями, особенно в районах повышенной сейсмичности. Они состоят из двух асбестоцементных листов толщиной 10 мм, соединенных клеем или шурупами с каркасом из асбестоцементных швеллеров. В полость помещается утеплитель не на полную высоту, в результате чего образуется вентилируемое воздушное пространство.

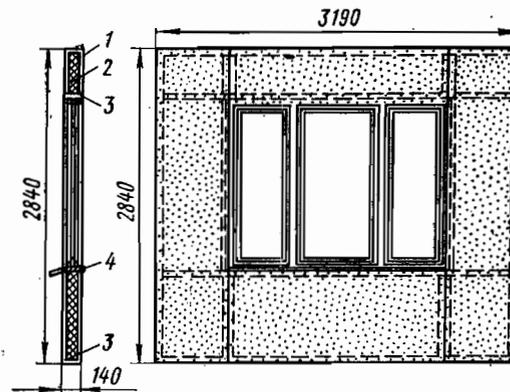


Рис. 8.9. Асбестоцементная стеновая панель:

1 — асбестоцементный лист; 2 — утеплитель; 3 — бруски; 4 — подоконник и слив

● **Асбестоцементные стеновые панели** по конструктивному решению могут быть каркасные, подобно описанным плитам покрытий (рис. 8.9), и бескаркасные, состоящие из жесткого или полужесткого утеплителя, наружного и внутреннего облицовочных слоев из асбестоцементных листов. Бескаркасные панели имеют иногда периметральное обрамление из деревянных брусков, которое облегчает их сопряжение при монтаже.

Стеновые панели для производственных и сельскохозяйственных зданий изготовляют длиной до 3 м на деревянном каркасе и до 6 м на каркасе из асбестоцементных брусков или из алюминиевых профилей. Масса  $1 \text{ м}^2$  стеновых асбестоцементных панелей не превышает 70 кг, т. е. значительно меньше, чем масса панелей из других материалов.

● **Асбестоцементные трубы** применяют для устройства водо-, нефте- и газопроводов, канализации, дренажа, дымовых и вентиляционных каналов, мусоропроводов, прокладки телефонных кабелей. По сравнению с металлическими асбестоцементные трубы в 3...4 раза легче,

в 2...4 раза дешевле, на них не действуют разрушительные блуждающие токи, быстро выводящие из строя металлические трубы. Они более стойки против действия минерализованных вод. Трение воды по стенкам этих труб меньше, чем у металлических, что увеличивает их пропускную способность и сокращает расход электроэнергии на перекачивание жидкостей. Благодаря тому что волокна асбеста обладают высокой прочностью при растяжении и частично расположены длиной по окружности трубы, асбестоцементные трубы выдерживают давление до 1,2 МПа и выше.

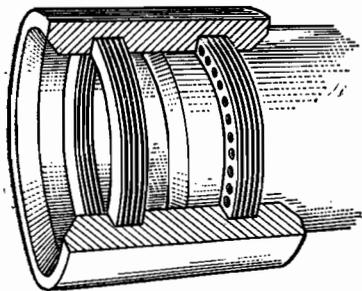


Рис. 8.10. Асбестоцементная самоуплотняющаяся муфта типа САМ

Существенным недостатком асбестоцементных труб является их хрупкость, что необходимо учитывать при перевозке, хранении и монтаже.

Водопроводные (напорные) трубы выпускают с рабочим давлением до 0,6...1,8 МПа классов: ВТ 6, 9, 12, 15, 18. Длина труб 3; 4; 5 и 6 м, внутренний диаметр до 0,5 м. Применение труб длиной 5; 6 м экономически выгоднее, чем длиной 3; 4 м за счет уменьшения числа стыков в трубопроводах, снижения расхода муфт, уплотнительных колец и трудоемкости при укладке. Долю таких труб в общем выпуске асбестоцементных труб намечено увеличить.

Газопроводные трубы применяют для сетей с давлением газа, не превышающим 0,5 МПа. Отечественной промышленностью освоено производство асбестоцементных труб с газонепроницаемыми покрытиями из полимерных материалов. Такие трубы обладают высокой водо-, бензо- и маслостойкостью и надежно заменяют стальные трубы. Капитальные вложения и эксплуатационные расходы по газопроводу из асбестоцементных труб, приходящиеся на единицу транспортируемого газа, уменьшаются в 3 раза по сравнению с газопроводом из стальных труб.

Для соединения асбестоцементных труб служат асбестоцементные муфты с резиновыми прокладками.

● Соединение типа «САМ» (рис. 8.10) состоит из асбестоцементной муфты с проточными пазами и двух резиновых манжет. Давление воды в трубопроводе передается на стенки цилиндрических углублений в манжетах и плотно прижимает их к уплотняемым поверхностям труб и муфт.

● Из асбестоцемента изготавливают ряд специальных изделий для строительства: вентиляционные короба, полуцилиндры для покрытий теплоизоляционных слоев на трубопроводах, асбестоцементные электроизоляционные доски (АЦЭИД), а также изделия так называемых малых форм — подоконники, оконные сливы и др.

#### 8.4. Методика преподавания искусственных каменных безобжиговых материалов и изделий

Строительные материалы и изделия, объединенные в эту группу, характеризуются разнообразными техническими свойствами и характеристиками и поэтому имеют различное строительное назначение. Однако общими характерными особенностями этой группы материалов и изделий является то, что они состоят из вяжущего и минеральных или органических заполнителей, имеют много общего в технологии, а превращение их в искусственный камень происходит в обычных условиях или при небольшом подогреве (без обжига и плавления). В связи с этим изучение раздела целесообразно начать с классификации изделий, которую удобно провести по виду вяжущего вещества, использованного для цементации заполнителей.

На основе известки получают силикатные изделия, гипса — гипсовые и гипсобетонные, портландцемента — асбестоцементные. В небольшом объеме изготавливают изделия на основе магнезиальных вяжущих. В эту группу входят также бетоны и строительные растворы и изделия из них, но исключительная роль, которую они играют в современном строительстве, и большие объемы производства позволяют выделить их в самостоятельную группу материалов, рассматриваемую отдельно (см. гл. 6).

Переходя к изучению отдельных групп искусственных каменных материалов и изделий и их разновидностей внутри каждой группы, необходимо помнить, что главным для строителя является знание свойств материала. Это позволит ему правильно выбрать материал

и грамотно его уложить в дело с учетом реальных условий эксплуатации. Но свойства связаны с составом и строением материала, которые, в свою очередь, зависят от состава сырья и технологии получения материала или изделия. Поэтому при изучении материалов и изделий этого раздела, как и для других материалов, следует придерживаться указанной методической последовательности, акцентируя внимание учащихся на узловых моментах, имеющих общее значение для каждой группы материалов и изделий.

Рассматривая силикатные изделия, необходимо указать на широкие возможности дешевых сырьевых ресурсов для их производства как за счет использования песка, так и побочных продуктов металлургии, теплоэнергетики и т. п. Сообщая краткие сведения о технологии, особое внимание следует обратить на физико-химическую сущность упрочнения этих изделий при автоклавной обработке, а также общие принципы получения силикатных изделий плотной и ячеистой структуры.

Необходимо отметить технико-экономические преимущества силикатных изделий по сравнению с керамическими и железобетонными, а также указать на отрицательные свойства, вытекающие из состава и строения силикатных изделий.

Описательный материал, касающийся характеристик конкретных видов силикатных изделий и их применения, целесообразно давать учащимся для самостоятельного изучения и закреплять на практических занятиях, на экскурсиях и в процессе производственной практики (техникум) или обучения (ПТУ).

Изучая гипсовые и гипсобетонные изделия, следует обратить внимание учащихся на относительную простоту и короткие сроки изготовления таких изделий, что базируется прежде всего на быстром твердении и хороших формовочных свойствах гипсовых вяжущих. При этом необходимо подчеркнуть, что отрицательные свойства затвердевшего гипса (хрупкость, повышенная ползучесть) в известной мере могут быть улучшены за счет использования в гипсовых и гипсобетонных смесях армирующих материалов и сильного уплотнения (вибрирование, прессование, прокат), а низкая водостойкость повышена за счет использования гипсоцементно-пуццолановых вяжущих или специальных покрытий. Следует остановить внимание учащихся на общих зависимостях прочности гипсобетонных изделий от активности вяжу-

щего, водогипсового отношения, степени уплотнения и показать их идентичность с такими же закономерностями у обычных бетонов. При знакомстве с основными видами гипсовых и гипсобетонных изделий целесообразно ознакомить учащихся с особенностями технологии этой продукции, подчеркнув необходимость сушки изделий. Оценивая свойства изделий и рациональные области применения, рекомендуется провести их технико-экономическое сопоставление с другими видами подобных изделий, особенно для индустриального строительства (перегородочные панели, панели для пола, обшивные листы и т. д.). С конкретными требованиями на отдельные изделия удобнее знакомить учащихся на практических занятиях.

Асбестоцементные изделия вследствие высоких строительных качеств (прочности, морозостойкости, коррозионной стойкости, относительно небольшой плотности, теплопроводности и стоимости) занимают прочное место среди важнейших строительных материалов. По производству асбестоцементных изделий СССР занимает первое место в мире. Все это следует подчеркнуть, приступая к изложению этой группы материалов и изделий.

Знакомясь с сырьем, следует прежде обратить внимание учащихся на особенности строения, состава и требования к асбесту, цементу и воде, используемым в производстве асбестоцемента. При рассмотрении основ технологии асбестоцементных изделий особое внимание уделить операциям объединения асбеста с вяжущим, методам формования изделий и процессам твердения, так как эти технологические передельные определяют основные свойства изделий.

При ознакомлении с номенклатурой асбестоцементных изделий, с ее качественными показателями, указанными в ГОСТах, полезно провести технико-экономическое сравнение основных видов асбестоцементных изделий и конструкций с аналогичными по назначению изделиями из других прогрессивных материалов. В заключение полезно провести семинар или контрольную работу, предварительно выдав учащимся перечень основных вопросов.

## 9.1. Общие сведения

Исключительно важное значение металлов и сплавов в современной технике и строительстве объясняется ценными свойствами, выгодно отличающими их от других материалов. Это — высокая прочность; способность к значительным пластическим деформациям, что дает возможность обрабатывать их давлением (прокатка, ковка, штамповка, волочение); хорошие литейные свойства; свариваемость; способность работать при низких и высоких температурах и т. д. Наряду с этим металлы обладают и существенными недостатками: имеют большую плотность, при действии различных газов и влаги корродируют, а при высоких температурах значительно деформируются.

В строительстве обычно применяют не чистые металлы, а сплавы. Наибольшее распространение получили сплавы на основе черных металлов (~94 %) и незначительное — сплавы цветных металлов (рис. 9.1).

Успехам отечественной металлургии во многом способствовали работы русских ученых. М. В. Ломоносов в труде «Первые основания металлургии и рудных дел» (1763) изложил научные основы процессов выплавки и обработки металлов. П. П. Аносов и Д. К. Чернов заложили основы металлографии — науки о строении металлов и сплавов. Развитию производства и применения металлов способствовали работы русских ученых М. А. Павлова, А. А. Бочвара, А. А. Байкова, И. П. Бардина, Е. О. Патона и др., благодаря чему советская металлургия занимает в настоящее время ведущее положение в мире. В 1986 г. произведено 112 млн. т готового проката черных металлов, 33 млн. т которого использовано в строительстве.

В соответствии с Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 и на период до 2000 года планируется довести к 1990 году выпуск готового проката до 116...119 млн. т.

Несмотря на высокий уровень производства чугуна и стали в СССР, необходимо всегда помнить об их экономном и рациональном расходовании: в производстве металлических конструкций — путем применения низколегированных и высокопрочных сталей, использования наиболее экономичного проката и гнутых профилей, внедрения эффективных форм и систем (предварительного напряжения, пространственных, висячих, трубча-

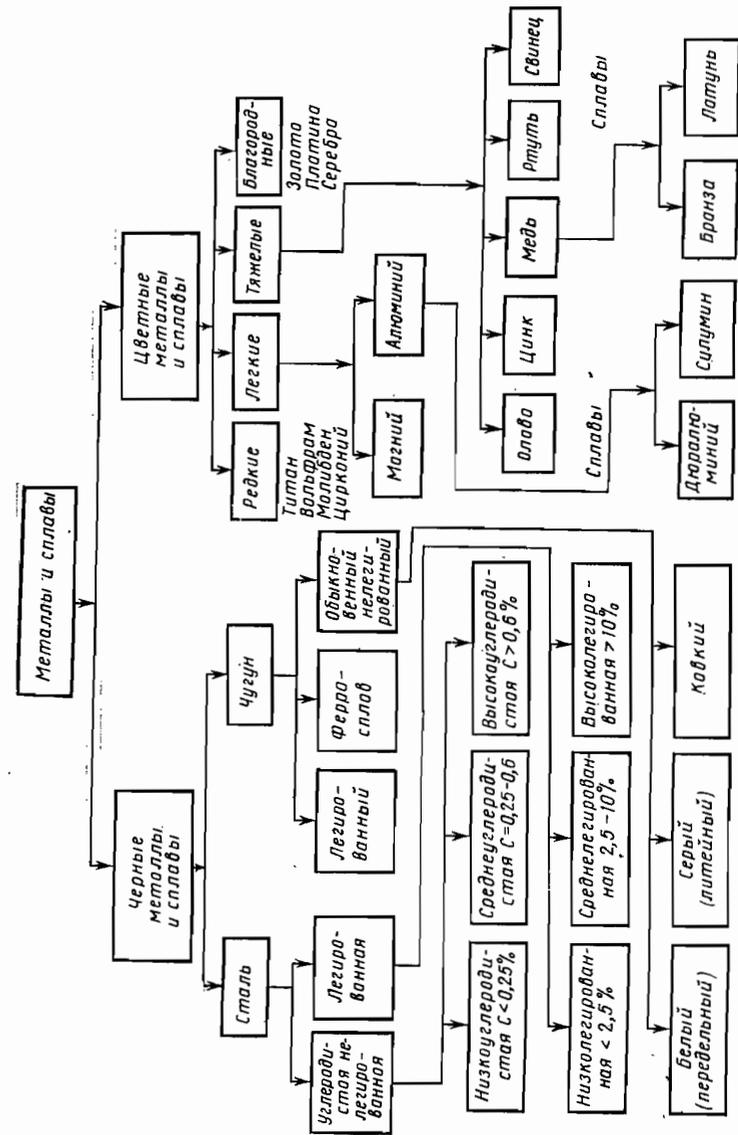


Рис. 9.1. Классификация металлов и сплавов

тых и т. п.); в производстве железобетонных конструкций — путем точного выполнения рекомендаций ГОСТов и инструкций по разработке и внедрению наиболее прогрессивных конструкций, электротермическим упрочнением сталей для арматуры, использованием отходов, улучшением формовочного оборудования, централизованной заготовки арматуры и т. п.

## 9.2. Основы технологии черных металлов

Производство черных металлов из железной руды — сложный технологический процесс, который может быть условно разделен на две стадии. На первой стадии получают чугуны, а на второй — его перерабатывают в сталь.

Учитывая, что учащиеся уже знакомы с основами металлургических процессов из средней школы, ниже рассмотрим лишь основные положения технологии чугуна и стали.

### ■ Производство чугуна.

● *Чугоном называют сплав железа с углеродом (2...6,67%), кроме них в состав сплава могут входить кремний, марганец, сера, фосфор и др.* Исходными материалами для производства чугуна являются железные руды, топливо и флюсы. Наиболее часто применяемые железные руды: красный ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнитный ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), бурый ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), шпатовый ( $\text{FeCO}_3$ ) железняки, содержащие 30...70% железа и пустую породу из различных природных химических соединений ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.) и вредные примеси (серы, фосфора). Топливом служит кокс — продукт сухой перегонки (без доступа воздуха) коксующихся каменных углей. Флюсы (плавни) — известняки, доломиты, кварц, песчаники применяют для понижения температуры плавления пустой породы и перевода ее и золы топлива в шлак. Основным способом производства чугуна из руд в настоящее время является доменный процесс, заключающийся в восстановлении железа из руд (оксидов) при высокой температуре и отделении его от пустой породы руды.

Чугун выплавляют в доменных печах (рис. 9.2) объемом до 5000 м<sup>3</sup>, куда руду, кокс и флюсы загружают чередующимися слоями, опускающимися вниз печи под влиянием собственной массы. В нижнюю часть печи — горн через отверстия — фурмы подают под давлением

нагретый воздух, необходимый для поддержания горения топлива.

Кокс, сгорая в верхней части горна, образует  $\text{CO}_2$  ( $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ ), который поднимается вверх по печи и, встречая на своем пути раскаленный кокс, переходит в оксид углерода:  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ . Оксид углерода восстанавливает оксиды железа до чистого железа по схеме  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ . Этот процесс может быть представлен следующими реакциями:  $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$ ;  $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{CO} = 6\text{FeO} + 2\text{CO}_2$ ;  $6\text{FeO} + 6\text{CO} = 6\text{Fe} + 6\text{CO}_2$ .

В нижней части печи часть восстановленного железа соединяется с углеродом и образуется карбид железа  $\text{Fe}_3\text{C}$  (науглероживание железа). Затем происходит расплавление науглероженного металла, который стекает в горн доменной печи, при этом насыщение железа углеродом продолжается. В результате плавления происходит восстановление не только железа, но и других элементов, находящихся в руде (Si, Mn, P), которые, а также часть серы в виде  $\text{FeS}$  переходят в чугун. В горн стекает также расплавленный шлак и всплывает над чугуном, так как его плотность меньше, чем чугуна. Расплавленный чугун и шлак периодически выпускают через специальные отверстия — чугунную и шлаковую летки, сначала шлак, а затем — чугун.

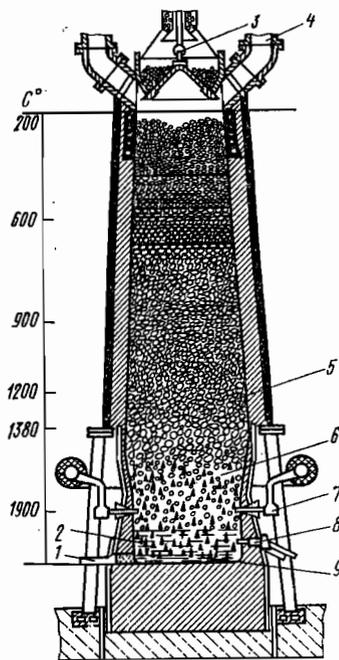


Рис. 9.2. Схема доменной печи:

1 — летка для выпуска жидкого чугуна; 2 — расплавленный шлак; 3 — загрузочное устройство; 4 — газотводная труба; 5 — капли расплавленного чугуна; 6 — капли шлакового расплава; 7 — фурмы для подачи воздуха; 8 — летка для выпуска расплавленного шлака; 9 — жидкий чугун

К прогрессивным процессам развития доменного производства следует отнести улучшение подготовки шихты за счет дробления,

тщательной промывки, сортировки и обогащения железных руд, которое производится, например, путем магнитной сепарации. Широко развивается производство агломерата путем спекания мелочи руды в более крупные куски. Объем доменных печей достиг 5 тыс. м<sup>3</sup>, что обеспечило улучшение коэффициента использования полезного объема, снижение расхода топлива на 1 т переплавленного чугуна. Получают большое развитие механизация и автоматизация основных процессов при производстве чугуна. В доменном процессе широко используется повышенное давление и более высокий нагрев дутья, автоматическое регулирование температур, снижение влажности дутья, промывка углей перед коксованием, а также кислород для интенсификации процессов производства.

В результате доменной плавки могут быть получены различные виды чугунов: *переплавленные* (80...90 %), идущие в основном на производство стали; *литейные* (8...18 %), предназначенные для получения чугунных отливок; *ферросплавы* (2...3 %), содержащие повышенное количество марганца, кремния. Ферросплавы применяют как добавки при производстве стали.

#### ■ Производство стали.

● *Сталью называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2 %*. При производстве стали происходит снижение содержания углерода и примесей, присутствующих в чугуне (Mn, Si, S, P и др.), за счет окисления кислородом воздуха и кислородом, содержащимся в руде. Снижению содержания углерода и примесей способствует закись железа FeO, которая образуется в начале плавки  $2Fe + O_2 = 2FeO$  и далее  $C + FeO = CO + Fe$ . Так как излишняя закись железа вызывает хрупкость стали, производят раскисление жидкой стали путем введения ферросплавов (ферромарганца, ферросилиция, ферроалюминия) по следующим схемам:  $Mn + FeO \rightarrow MnO + Fe$ ;  $Si + 2FeO \rightarrow SiO_2 + 2Fe$ ;  $2Al + 3FeO \rightarrow Al_2O_3 + 3Fe$ .

Образовавшиеся оксиды всплывают и удаляются вместе со шлаком.

В зависимости от степени законченности раскисления различают *спокойную сталь* (сп), т.е. наиболее раскисленную. Такая сталь в слитке имеет плотное и однородное строение, более качественная и дорогая; *кипящую сталь* (кп), в которой процесс раскисления прошел не до конца, в ней имеются пузырьки газа CO, которые остаются в прокате. Кипящая сталь сваривается, удовлетворительно обрабатывается, но при температуре —10 °С проявляет хрупкость. Кипящая сталь дешевле спокойной. *Полуспокойная сталь* (пс) по свойст-

вам занимает промежуточное положение между (сп) и (кп).

Выплавку стали осуществляют в мартеновских печах, в конвертерах и электропечах.

● В *мартеновских печах* (рис. 9.3) помимо чугуна может быть произведена переплавка металлического лома, руды и флюса. Топливом служит газ (смесь доменного, коксовального и генераторного) и подогретый воз-

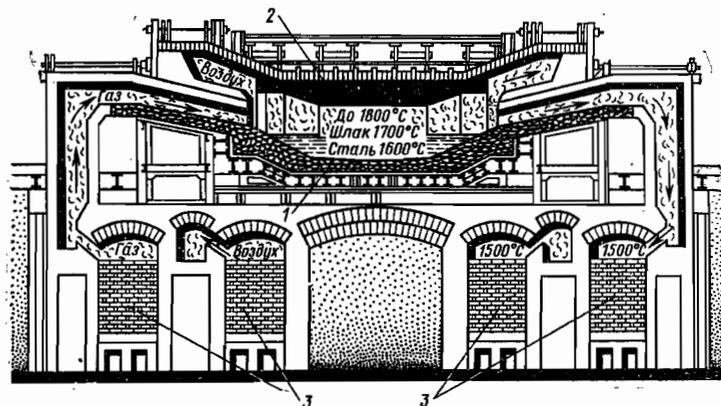


Рис. 9.3. Схема мартеновской печи:

1 — под; 2 — свод; 3 — регенераторы

дух, обеспечивающий температуру 1800...2000 °С. Производительность печи за одну плавку (8...12 ч) до 900 т.

В мартеновских печах (рис. 9.3) может быть произведена переплавка металлического лома (до 60...70 %), возможны автоматизация процесса плавки, повышенная точность химического состава стали. Недостатки плавки стали в мартеновских печах: периодичность процесса плавки, сложность оборудования, более высокая стоимость выплавляемой стали.

Для интенсификации производства стали в мартеновских печах широко применяют кислород, что обеспечивает повышение производительности печей на 25...30 %. Большую экономию топлива дает использование теплоты остывающих мартеновских печей, для чего используют принцип работы двухванных печей, при котором теплота от одной остывающей ванны направляется в соседнюю, а затем происходит изменение направления потока, теплоты.

● Конверторный способ получения стали позволяет использовать в качестве шихты жидкий чугун, до 50 % металлического лома, руду, флюс (рис. 9.4). Сжатый воздух под давлением (0,3...0,35 МПа) поступает через специальные отверстия. Теплота, необходимая для нагрева стали, получается за счет химических реакций окисления углерода и примесей, находящихся в чугуне.

Особенностями конверторного способа производства

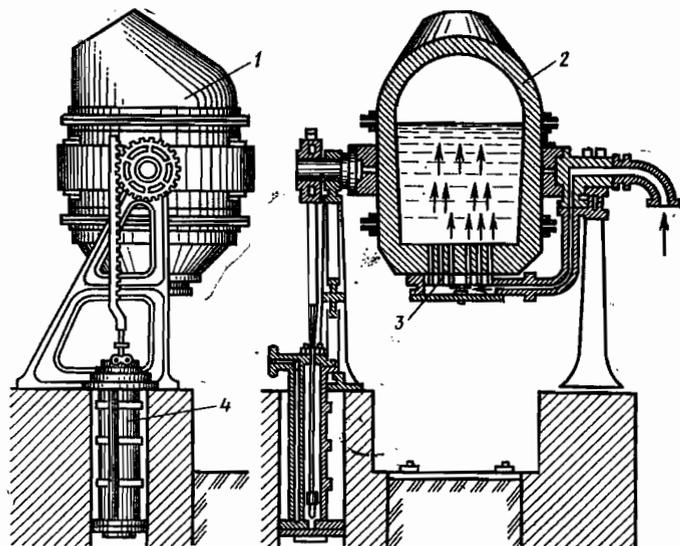


Рис. 9.4. Схема конвертера:

1 — вращающийся грушевидный сосуд; 2 — футеровка; 3 — фурменные отверстия для подачи воздуха; 4 — поворотный механизм

стали являются: быстрота процесса, применение чугунов с минимальным содержанием фосфора и серы, трудность управления процессом, так как продолжительность плавки не превышает 15...25 мин, большой угар металла, повышенное содержание азота.

Производство стали в конверторах постепенно вытесняет ее в мартеновских печах. Емкость современных конверторов достигает 600 т. Наибольшее развитие получает кислородно-конверторное производство стали, так как дополнительное использование кислорода обеспечивает резкое повышение производительности (на

25...30 %), а также уменьшение содержания вредных примесей в стали, особенно азота, и увеличивает стойкость футеровки. Себестоимость конверторной стали на 3...5 % ниже мартеновской, а производительность труда

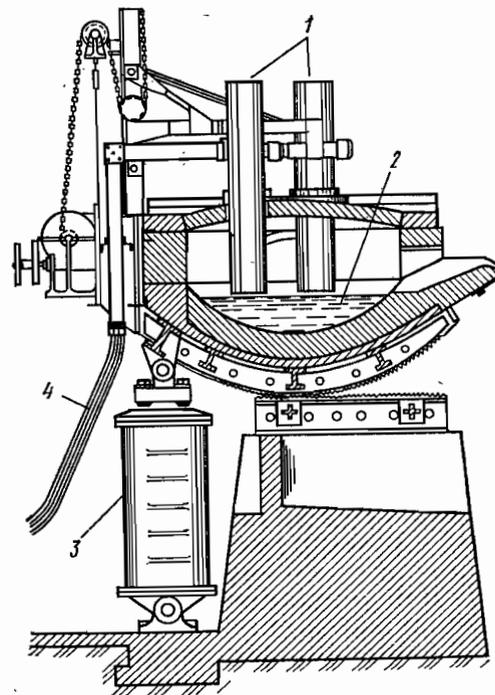


Рис. 9.5. Схема дуговой электропечи:

1 — электроды; 2 — ванна расплавленного металла; 3 — поворотный механизм; 4 — электропровод

на 40 % выше. Недостатки способа: повышенный расход огнеупоров и высокий угар металлов.

● Производство стали в электрических печах — наиболее совершенный способ получения специальных и высококачественных сталей. Сталь выплавляют в дуговых или индукционных электропечах. Наиболее распространены дуговые электропечи емкостью до 270 т (рис. 9.5). При электроплавке стали используют как стальной скрап и железную руду, так и жидкие стали, поступающие из мартеновской печи или конвертера.

В состав шихты вводят флюсы и легирующие добавки. Источником теплоты является электродуга, образующаяся между вертикально установленными угольными электродами и расплавленным металлом. Особенности производства стали в электропечах: восстановительная атмосфера, что способствует значительному сокращению угара стали и уменьшению расхода легирующих добавок; возможность достижения более высокой температуры, позволяющей получать специальные легированные стали; точное регулирование химического состава стали; более полно удаляются вредные примеси фосфора и серы. Применение электропечей пока ограничено достаточно высокой стоимостью электроэнергии.

Начинают развиваться комбинированные способы производства стали с использованием последовательной выплавки стали в кислородных конверторах, а затем в основных мартеновских печах, где окончательно формируется сталь заданного химического состава. Для уменьшения расхода электроэнергии вначале используют для нагрева и расплавления мартеновскую печь, а для окончательной доводки стали до заданных свойств — электропечь.

Перспективным видом производства является процесс получения губчатого железа непосредственно из руд путем продувки их водородом или смесью водорода с оксидом углерода под давлением до 3 МПа с последующим отделением железа от пустой породы магнитной сепарацией. На основе этой технологии на базе руд Курской магнитной аномалии строится большой металлургический комбинат.

#### ■ Разливка стали.

Из сталеплавильных печей сталь выпускается в специальный ковш и в нем транспортируется к литейным формам или изложницам, в которых получают слитки для прокатки или изготовления крупных поковок. В СССР для улучшения свойств стали (уменьшение примесей O и N) начали применять при разливке вакуумирование.

В настоящее время вместо разливки стали в изложницы применяют непрерывный метод разливки стали, который является наиболее прогрессивным, так как устраняет усадочные раковины, снижает отходы, значительно повышает производительность труда и обеспечивает получение плотных мелкозернистых отливок.

На рис. 9.6 показана схема непрерывной разливки стали, из которой видно, как струя расплавленного металла поступает в кристаллизатор, представляющий собой изложницу со сквозной литейной полостью, охлаждаемой водой. После затвердевания слиток на специальном поддоне вытягивается вниз, где разрезается на нужные размеры. Начинает развиваться также и горизонтальный метод непрерывной разливки стали.

#### ■ Обработка металлов.

Для изготовления металлических строительных конструкций используют наиболее прогрессивные методы обработки металла давлением, обеспечивающие изготовление их в готовом виде. Сущность обработки металлов давлением основана на использовании пластических свойств металла, т. е. способности в определенных условиях принимать под воздействием внешних сил остаточные деформации без нарушения целостности заготовки требуемой формы. Обработка металлов давлением существенно изменяет не только форму заготовки, но и структуру и свойства металла, так как при этом изменяются размеры и форма зерен.

● При *холодной обработке* давлением вызывается изменение формы зерен — вытягивание их в направлении наибольшей деформации с ориентацией в одном направлении. Одновременно повышаются механические свойства (пределы прочности и текучести, твердость) и снижаются деформативные свойства (относительное удлинение и сужение, ударное сопротивление), изменяются также и физические свойства.

● При *горячей обработке* заготовку стали нагревают до 900...1000 °С в зависимости от состава стали и вида обработки и затем подвергают ее давлению, в результате чего она легко деформируется в известных пределах без нарушения цельности и связи между зернами. Для получения изделий металлы обрабатывают давлением различными способами: прокаткой, волоче-

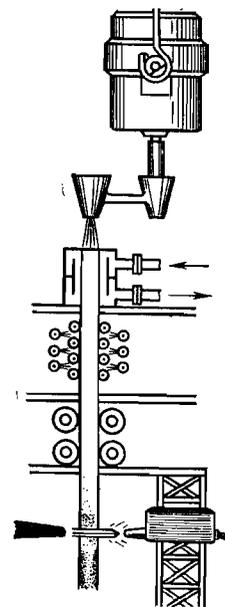


Рис. 9.6. Схема вертикальной непрерывной разливки стали

нием, прессованием, ковкой, штамповкой и литьем (рис. 9.7).

● **Прокатка** — самый распространенный вид горячей обработки стали, до 90 % всей выплавляемой стали перерабатывают этим методом. При прокатке металл обжимают между двумя валиками прокатного стана, вращающимися в разные стороны, в результате происходит обжатие заготовки и увеличение ее длины и ширины (рис. 9.7, а). После такой обработки можно получить прокат различной формы и размеров (рис. 9.8). Если необходима значительная деформация сечения, то повторяют прокатку изделия до 10...15 раз, а во избежание холостых пробегов слитка применяют дополнительные валки, обеспечивающие прокатку и при обратном ходе слитка. Станы, в которых при обратном направлении движения валков заготовка движется в обратном направлении, называют *реверсивными*.

Наиболее совершенными станами являются непрерывные, в которых рабочие клетки с обжимными валками устанавливают последовательно одну за другой и прокатываемая полоса попадает из одной клетки в другую.

На станах прокатывают также арматурную сталь, применяемую при производстве железобетона (рис. 9.9).

● **Волочением** называют процесс протягивания прутка или проволоки через отверстие в волоке (матрице), размеры поперечного сечения которого меньше разме-

ров исходной заготовки (см. рис. 9.7, б). Волочение проводят на волочильных станах для получения тонкой и тончайшей проволоки, калибрования прутков и труб круглого и фасонного сечения из стали и цветных металлов.

● **Прессование** — процесс, в результате которого металл выдавливают через круглое или фасонное очко в матрице (см. рис. 9.7, в). Форма и размеры очка определяют форму и сечение прессуемого изделия — прутков, труб и фасонных профилей из цветных металлов

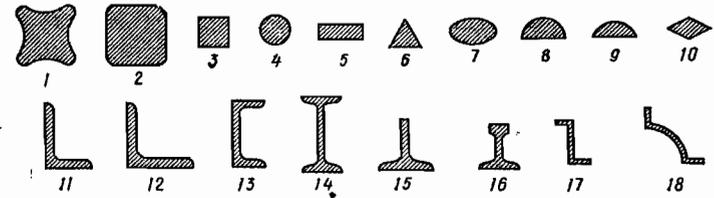


Рис. 9.8. Некоторые виды профилей проката:

1 — блюмс; 2 — квадратный с закругленными углами; 3 — квадратный; 4 — круглый; 5 — полосовой; 6 — треугольный; 7 — овальный; 8 — полукруглый; 9 — сегментовый; 10 — ромбовидный; 11, 12 — угловой неравнобокий и равнобокий; 13 — швеллерный; 14, 15 — тавровые; 16 — рельсовый; 17 — зетовый; 18 — колонный

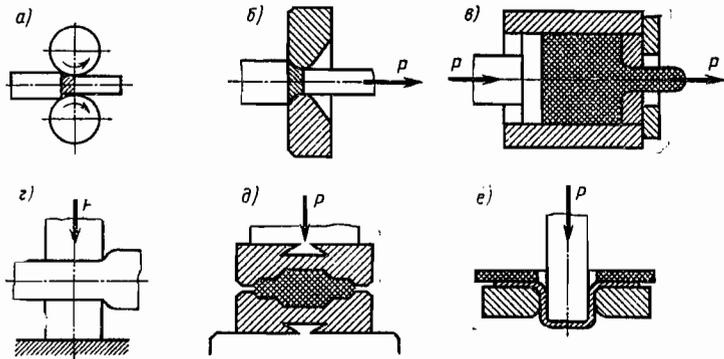


Рис. 9.7. Схема основных способов обработки металлов давлением: а — прокатка; б — волочение; в — прессование; г — ковка; д — объемная штамповка, е — листовая штамповка

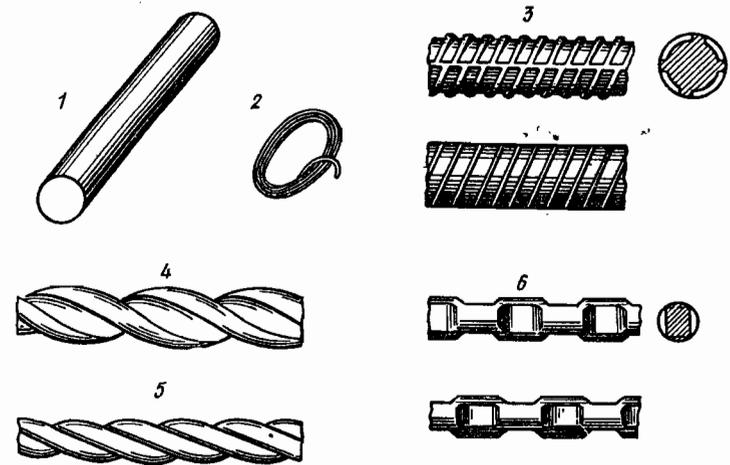


Рис. 9.9. Виды арматуры:

1 — гладкая стержневая; 2 — гладкая проволочная; 3 — горячекатаная перидического профиля; 4, 5 — пряди из проволоки; 6 — холодносплюснутая

и их сплавов, а также сталей. Прессование производят на гидравлических или механических прессах.

● *Ковка* металла заключается в обжатии заготовки между верхним и нижним бойками (см. рис. 9.7, з) с применением разнообразного кузнечного инструмента. Различают свободную ковку (металл течет в стороны) и ковку в штампах (металл принудительно должен заполнять полость штампа). При ковке происходит изменение микроструктуры металла с образованием измельченного зерна или волокнистой структуры. В строительстве ковку применяют для изготовления болтов, тяжей, анкеров, хомутов, скоб, башмаков, бугелей и т. п. Путем ковки пневматическими клепальными молотками или машинами производят неразъемное соединение отдельных листов и фасонных профилей (клепка).

● *Штамповкой* изготавливают значительное количество строительных конструкций. Это процесс деформации металла в штампах, при котором обеспечиваются однородность и точность ковочных поверхностей, не требующих дополнительной обработки. Различают *объемную и листовую штамповку*.

При объемной штамповке (см. рис. 9.7, д) предварительно нагретую заготовку деформируют в замкнутой полости штампа на молотах, прессах или горизонтально-ковочных машинах.

Для строительных конструкций, толщина стенок которых мало отличается от толщины исходных заготовок, используют листовую штамповку, которая состоит в деформации в холодном состоянии листовой исходной заготовки в штампе, имеющем матрицы с прижимным кольцом и пуансон (см. рис. 9.7, е). Металл для штамповок должен обладать высокой пластичностью, чаще это малоуглеродистые или легированные стали. В отдельных случаях возможно совмещение штамповки и сварки, что обеспечивает возможность получения конструкций сложной формы.

Для облегчения массы конструкций и экономии металла производят тонкостенные штампованные строительные профили из специальной высокопластичной, антикоррозионной листовой стали толщиной 2...3 мм. В конструкциях эти профили сваривают точечной или электродуговой сваркой.

● *Литье* широко применяют в производстве различного вида изделий или заготовок из металла. Литые детали изготавливают путем отливки расплавленного ме-

талла в формы. Примерно  $\frac{4}{5}$  всех отливок получают в разовых песчаных формах и  $\frac{1}{5}$  — специальными видами литья. Чугун плавится в вагранках, которые обеспечивают расплавление жидкого чугуна при минимальном угаре и экономном расходе топлива.

Получение стальной отливки значительно сложнее, чем чугуновой, так как у стали большая усадка (стали — 2 %, чугуна — 1 %), необходима высокая температура (до 1600 °С), выше растворимость газов, что способствует пузыристости стальной отливки. Для получения стальной отливки следует пользоваться только полностью раскисленным металлом и применять последующую термическую обработку. Отливку можно производить также из цветных металлов.

Литье деталей в песчаных формах имеет существенные недостатки, а именно: форма изготавливается только на одну отливку, точность отливки недостаточна.

Для массового производства точных отливок успешно используют специальные виды литья, обеспечивающие повышенную точность, а в ряде случаев не требующие последующей механической обработки. Имеется более чем 50 способов специальных видов литья, основными из которых являются: литье в металлические формы (кокильное литье), литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы (корковое литье) и др.

● *Литье в металлические формы* обеспечивает многократную оборачиваемость форм (100...50 000 раз) и высокую производительность. Формы изготавливают из чугуна, стали и других сплавов. Металл заполняет формы под действием силы тяжести.

*Литье под давлением*, осуществляемое в металлических формах, чаще всего применяют для цветных металлов. Металл заполняет формы под давлением, создаваемым поршневой системой.

*Центробежное литье*, осуществляемое путем заливки жидкого металла во вращающуюся форму (250...1500 мин<sup>-1</sup>) с последующим охлаждением, чаще всего применяют для изделий, имеющих форму тел вращения (труб, втулок и т. п.). Особенности этого метода являются большая плотность отливок и возможность получения тонких стенок.

*Литье по выплавляемым моделям* (прецизионное) рекомендуется производить при изготовлении мелких деталей сложной формы и с высокой степенью точности.

При *корковом литье* подогретая металлическая модель обсыпается специальной смесью песка и пульвербакелитовой смолы. При спекании этой смеси на модели образуется корка прочностью до 7,5 МПа. Две приготовленные таким образом полуформы соединяются и образуют литейную форму для отливки изделия. Особенности этого вида литья являются высокая точность и возможность автоматизации процесса отливки.

### 9.3. Строение металлов

Исследование структуры металла проводят путем изучения макроструктуры с увеличением до 10 раз и без увеличения; микроструктуры с увеличением от 10 до 2000 раз на оптических микроскопах и до 100 000 раз на электронных микроскопах, атомной структуры — рентгенографическим анализом.

● Металлы представляют собой кристаллические тела с закономерным расположением атомов в узлах пространственной решетки. Решетки состоят из ряда кри-

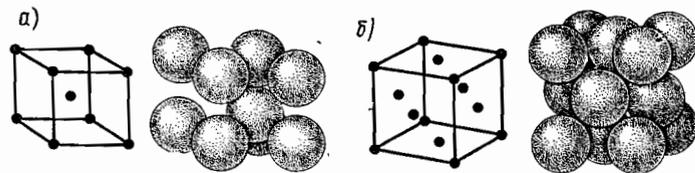


Рис. 9.10. Элементарный кубический кристалл: а — объемно-центрированный; б — гранецентрированный

сталлических плоскостей, расположенных друг от друга на расстоянии нескольких нанометров ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ). Для железа эти расстояния 28,4 нм ( $\alpha\text{-Fe}$ ) и 36,3 нм ( $\gamma\text{-Fe}$ ). Большинство металлов имеет пространственные решетки в виде простых геометрических фигур. Отдельные участки кристаллической решетки прочно связаны между собой в комплексы — зерна. Взаимное расположение зерен отдельных элементов и сплавов определяет структуру металлов и их свойства.

Атомы металлов характеризуются малым количеством электронов (1...2) на наружной оболочке, легко отдают их, что подтверждается высокой электропроводностью.

Черные металлы имеют простые кубические ячейки решеток (рис. 9.10) двух видов: а) центрированный или объемно-центрированный куб (9 атомов в ячейке), объем шаров занимает 68%; б) гранецентрированный или куб с центрированными гранями (14 атомов), объем шаров занимает 74%. Некоторые цветные металлы и их сплавы имеют гексагональную (шестигранную) решетку.

Железо, олово, титан и другие металлы обладают свойствами *аллотропии*, т. е. способностью одного и того же химического элемента при различной температуре

иметь разную кристаллическую структуру. Аллотропические превращения сопровождаются выделением или поглощением теплоты. Железо имеет четыре аллотропические формы:  $\alpha\text{-Fe}$ ;  $\beta\text{-Fe}$ ,  $\gamma\text{-Fe}$ ,  $\delta\text{-Fe}$ . Практическое значение имеют  $\alpha\text{-Fe}$  и  $\gamma\text{-Fe}$ , так как  $\beta\text{-Fe}$  и  $\delta\text{-Fe}$  отличаются от  $\alpha\text{-Fe}$  только величиной межатомного расстояния, а для  $\beta\text{-Fe}$  характерно отсутствие магнитных свойств.

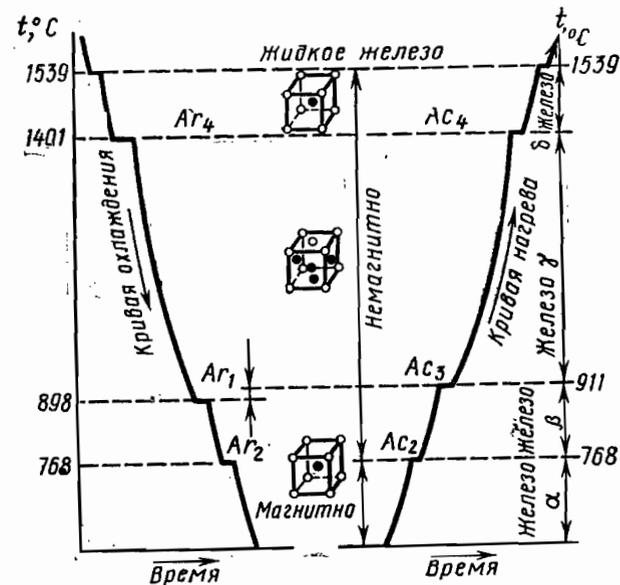


Рис. 9.11. Кривые охлаждения и нагревания железа

Температура, при которой происходит переход металла из одного аллотропического вида в другой, называется критической. Величины этих температур видны на диаграмме охлаждения и нагревания чистого железа (рис. 9.11) в виде участков, свидетельствующих о том, что фазовые превращения происходят с выделением теплоты при нагревании.

Все металлы находятся в твердом состоянии до определенной температуры. При нагреве металла амплитуда колебания атомов достигает некоторой критической величины, при которой происходят разрушение

кристаллической решетки и переход металлов из твердого в жидкое состояние. Процесс кристаллизации заключается в росте кристаллов путем отложения новых кристаллических групп вокруг возникших зародышей. Рост кристаллических образований происходит в определенных направлениях. Вначале образуются главные оси кристалла путем роста в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а затем от каждой из этих осей образуются новые и возникает не полностью завершённый кристалл, называемый *дендритом*. В дальнейшем все промежутки между осями дендрита заполняются упорядоченно расположенными атомами.

В условиях несвободной кристаллизации образующиеся кристаллы получают неправильные очертания и форму и называются кристаллитами или зёрнами. Величина зёрен оказывает существенное влияние на механические свойства металлов: чем мельче зёрна, тем прочнее металл.

Технические металлы и сплавы представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа различно ориентированных кристаллических зёрен (поперечные размеры зёрен — 0,001...0,1 мм). Поэтому в целом металлы и сплавы можно считать условно изотропными телами.

#### ■ Структура.

Сплавы обладают металлическими свойствами и состоят из двух элементов и более. Элементы, входящие в состав сплавов, называют компонентами.

● *Компоненты сплавов* в процессе затвердевания и последующего охлаждения могут образовывать химические соединения, твердые растворы на базе одного из компонентов или нового химического соединения и механические смеси.

● *Химические соединения*, образующиеся на основании общих химических законов (валентности, ионной связи), могут быть выражены химическими индексами. Обычно химические соединения повышают твердость и хрупкость металлов и, как правило, имеют кристаллическую решетку другого типа, чем у каждого из элементов в отдельности.

● *Твердые растворы* — сплавы, у которых атомы растворимого элемента рассеяны в кристаллической решетке растворителя; растворимый элемент может замещать часть атомов основного металла или внедряться между ними, но без образования молекул опреде-

ленного состава. В железоуглеродистых сплавах Fe—C атомы углерода внедряются в поры решетки Fe. В отличие от химических соединений состав твердых растворов непостоянен и зависит от температуры и концентрации (проникания одного элемента кристаллической решетки в другой). Кристаллическая решетка твердого раствора сохраняет тип решетки одного из компонентов, который по этому признаку считается растворителем.

● *Механические смеси (эвтектики, эвтектоиды)* — микроскопически малые, тесно перемешанные и связанные между собой компоненты сплава, состоящие из чистых металлов, твердых растворов и химических соединений. Эвтектики образуются из жидкого сплава при охлаждении и характеризуются самой низкой температурой затвердевания смеси, хорошими литейными качествами и высокими механическими свойствами. Эвтектоиды образуются при распаде твердого раствора. Эвтектические и эвтектоидные смеси возникают при определенной концентрации отдельных составляющих и определенной температуре. В сплавах, отличных по составу от эвтектических, при затвердевании в первую очередь выпадает компонент, избыточный по отношению к эвтектическому.

Изменения структуры и свойств сплавов с изменением концентрации и температуры в наглядной форме представлены на диаграммах состояния сплавов. Эти диаграммы не содержат фактора времени и соответствуют условию очень медленного нагрева и охлаждения.

■ *Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов* (рис. 9.12).

Основными структурами, составляющими железоуглеродистые сплавы, являются следующие.

● *Феррит* — твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe. При температуре 723 °C предельное содержание углерода 0,02 %. При отсутствии примесей не корродирует.

● *Цементит* — карбид железа  $Fe_3C$  — химическое соединение, содержащее 6,67 % углерода. Является составной частью эвтектической смеси, а также самостоятельной структурной составляющей. Способен образовывать твердые растворы путем замещения атомами других металлов, неустойчив, распадается при термической обработке. Цементит очень тверд (НВ 800) и хрупок.

● *Аустенит* — твердый раствор углерода в  $\gamma$ -Fe. Атомы углерода внедряются в кристаллическую решетку,

причем насыщение может быть различным в зависимости от температуры и примесей. Устойчив только при высокой температуре, а с примесями Mn, Cг — при обычных, даже низких температурах. Твердость аустенита HB 170...220.

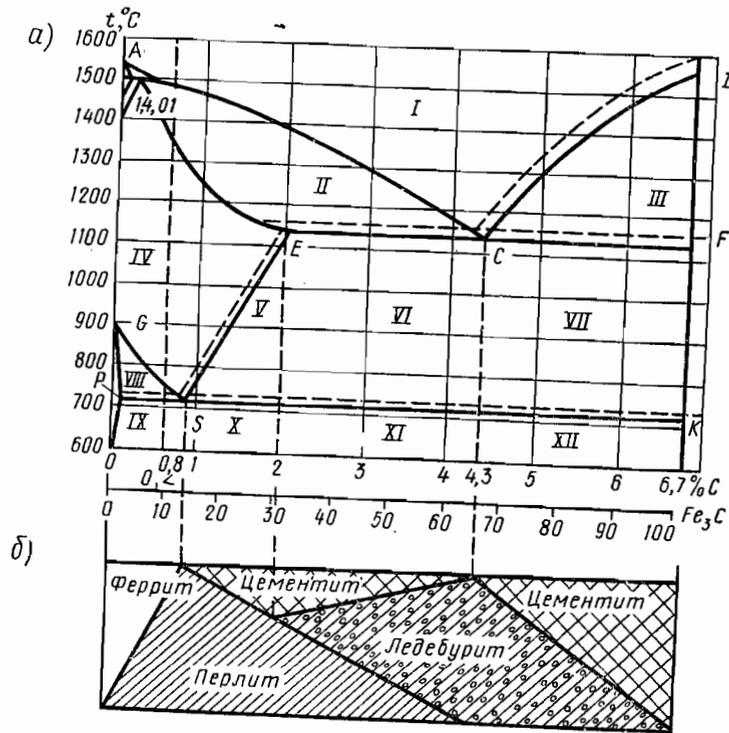


Рис. 9.12. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов:

*a* — диаграмма; I — жидкий сплав; II — жидкий сплав и кристаллы аустенита; III — жидкий сплав и цементит; IV — аустенит; V — цементит и аустенит; VI — аустенит, цементит, ледебурит; VII — цементит и ледебурит; VIII — феррит и аустенит; IX — феррит и перлит; X — цементит и перлит; XI — перлит, цементит, ледебурит; XII — цементит, ледебурит; *б* — ориентировочные отношения структурных составляющих в различных областях диаграммы

● **Перлит** — эвтектоидная смесь феррита и цементита, образуется при распаде аустенита при температуре 723 °C и содержании углерода 0,83 %. Примеси Si и Mn способствуют образованию перлита и при меньшем содержании углерода. Твердость перлита HB 160...260.

Структура перлита может быть пластинчатой и глобулярной (зернистой).

● **Ледебурит** — эвтектическая смесь аустенита и цементита, образующаяся при 1130 °C и содержании углерода 4,3 %. Структура неустойчивая: при охлаждении аустенит, входящий в состав ледебурита, распадается на вторичный цементит и перлит. Ледебурит очень тверд (HB 700) и хрупок.

● **Графит** — мягкая и хрупкая составляющая чугуна, состоящая из разновидностей углерода. Встречается в серых и ковких чугунах.

На диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов (рис. 9.12) на оси ординат отложена температура, на оси абсцисс — содержание в сплавах углерода до 6,67 %, т. е. до такого количества, при котором образуется химическое соединение Fe<sub>3</sub>C — цементит. Пунктирными линиями нанесена диаграмма состояния для системы железо — графит, так как возможен распад цементита Fe<sub>3</sub>C.

Рассматриваемую диаграмму правильнее считать не железоуглеродистой, а железцементитной, так как свободного углерода в сплавах не содержится. Но так как содержание углерода пропорционально содержанию цементита, то практически удобнее все изменения структуры сплавов связывать с различным содержанием углерода.

Все линии на диаграмме соответствуют критическим точкам, т. е. тем температурам, при которых происходят структурные изменения в сплавах. Критические точки для стали впервые открыл русский ученый-металлург Д. К. Чернов.

Линия ACD — линия начала кристаллизации сплава (линия ликвидуса), линия AECF — линия конца кристаллизации сплава (линия солидуса). Только чистые металлы и эвтектика плавятся и затвердевают при постоянной температуре. Затвердевание всех остальных сплавов происходит постепенно, причем из жидкого сплава сначала выделяется избыточный по отношению к составу эвтектики компонент. Область AESG на диаграмме соответствует аустениту. Линия GS — начало выделения феррита, а линия SE — вторичного цементита. Линия PSK соответствует окончательному распаду аустенита и выделению перлита. В области ниже линии PSK никаких изменений структуры не происходит.

В зависимости от содержания углерода железуглеродистые сплавы получают следующие названия:

При содержании углерода	< 0,83 %	— доэвтектоидные стали
»	0,83 %	— эвтектоидные стали
»	0,83...2%	— заэвтектоидные стали
»	2,0...4,3%	— доэвтектические чугуны
»	4,3...6,67%	— заэвтектические чугуны

С увеличением содержания углерода в железуглеродистых сплавах меняется и структура, увеличивается содержание цементита и уменьшается количество феррита. Чем больше углерода в сплавах, тем выше твердость, прочность, но ниже их пластические свойства. Механические свойства сплавов зависят также от формы и размера частиц структурных составляющих. Твердость и прочность стали тем выше, чем тоньше и мельче частицы феррита и цементита.

#### 9.4. Механические испытания металлов

Качество металлов и изделий из них оценивают по результатам механических, химических, технологических, металлографических испытаний и наружного осмотра. Ниже кратко описываются только механические испытания.

##### ■ Испытание на растяжение.

Для этого вида испытания изготавливают стандартные образцы с установленной расчетной длиной для круглого образца  $l=10d$ ; для плоского образца  $l=11,3A_0$ , где  $d$  — диаметр образца, мм;  $A_0$  — площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

Испытания проводят на специальной машине путем осевого растяжения образца до разрыва, с автоматической записью диаграммы зависимости деформации от нагрузки. Как показано на рис. 9.13, вид диаграммы зависит от свойств стали. В результате испытаний получают следующие характеристики:

● *предел текучести* — наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_T = F_T/A_0; \quad (9.1)$$

● *предел прочности* — напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца:

$$\sigma_B = F_B/A_0; \quad (9.2)$$

● *относительное удлинение* (%) — отношение приращения длины образца после разрыва к его первоначальной длине:

$$\delta = [(l_1 - l_0)/l_0] 100; \quad (9.3)$$

● *относительное сужение* (%) — отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после раз-

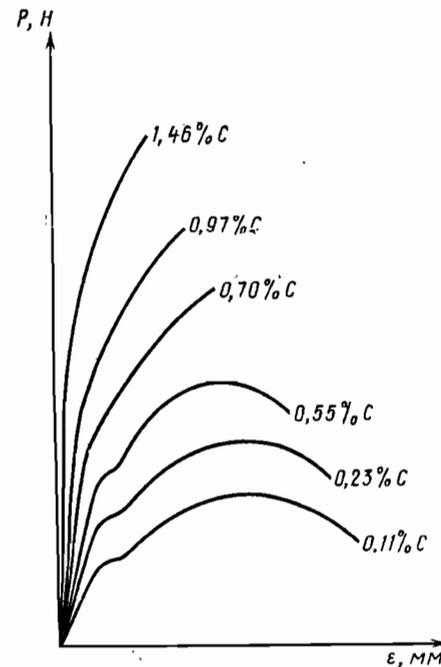


Рис. 9.13. Диаграмма растяжения стали  $F-\epsilon$

рыва к первоначальной площади его поперечного сечения:

$$\psi = [(A_0 - A_1)/A_0] 100; \quad (9.4)$$

● *предел упругости* — напряжение, при котором остаточное удлинение равно 0,005 % расчетной длины образца:

$$\sigma_y = F_y / A_0, \quad (9.5)$$

где  $F_b$  — максимальная нагрузка, при которой произошло разрушение образца, Н;  $F_T$  — нагрузка, соответствующая площадке текучести, Н;  $F_y$  — нагрузка, при которой образец получает остаточное удлинение, равное 0,005 % расчетной длины, Н;  $l_0$  и  $l_1$  — длина образца до и после испытания, м;  $A_0$  и  $A_1$  — площадь сечения образца до и после испытания, м<sup>2</sup>.

#### ■ Испытание на твердость.

Твердость по Бринеллю, определяемая вдавливанием в металл стального шарика, вычисляют как частное от деления нагрузки на величину поверхности получаемого на металле отпечатка

$$HB = F/A = 2F/\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2}), \quad (9.6)$$

где  $F$  — нагрузка, Н;  $A$  — площадь сферической поверхности отпечатка, м<sup>2</sup>;  $D$  — диаметр шарика, м;  $d$  — диаметр отпечатка, м.

В зависимости от толщины испытываемого образца выбирают диаметр шарика и нагрузку.

Для углеродистых сталей, имеющих предел прочности 300...1000 МПа, существует приближенная зависимость между твердостью по Бринеллю HB и пределом прочности при растяжении:  $\sigma = 0,36 HB$ .

Если сталь имеет большую твердость (закаленная сталь, цементированная), а также для тонколистовых сталей твердость определяют по Роквеллу, вдавливая в испытываемый образец шарик диаметром 1,59 мм или алмазный конус. Показатель твердости по Роквеллу HR по специальным таблицам можно перевести в показатель твердости по Бринеллю HB.

#### ■ Испытание на удар.

Испытанием на удар определяют способность работы металла в условиях динамических нагрузок или хрупкость. Чем пластичнее металл, тем лучше он переносит ударные нагрузки. Испытание на удар производят на специальных маятниковых копрах с применением стандартных образцов с надрезом. Удельная ударная вязкость

$$a_y = A_p/A, \quad (9.7)$$

где  $A_p$  — работа, затраченная на разрушение образца, Дж/м<sup>2</sup>;  $A$  — площадь поперечного сечения в месте надреза, м<sup>2</sup>.

#### ■ Испытание на изгиб.

Испытание на изгиб в холодном или нагретом состоянии проводится для определения способности листового металла принимать заданный по размерам и форме изгиб. Образцы для испытания вырезают из листа без обработки поверхностного слоя и подвергают пробе на изгиб на прессе или в тисках (рис. 9.14). Если после

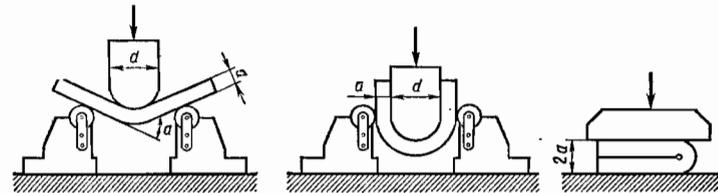


Рис. 9.14. Схема пробы на изгиб

испытания на поверхности образца не обнаружены внешние дефекты, трещины, надрывы, расслоения или излом, то металл выдержал испытание. При толщине листового металла больше 30 мм испытание на изгиб обычно не проводят.

### 9.5. Основы термической обработки стали

#### ■ Структура.

В целях желательного изменения структуры и получения более высоких или специально заданных свойств изделия из металлов и сплавов подвергают термической (тепловой) обработке. Такая обработка заключается в изменении структуры сплава путем его предварительного нагрева до заранее определенных температур, некоторой выдержке при этих температурах и последующего охлаждения по заданному режиму.

При увеличении скорости нагревания или охлаждения процессы превращения в соответствии с диаграммой состояния железоуглеродистых сплавов не успевают завершиться полностью, вследствие чего образуются новые структуры (*мартенсит, троостит, сорбит*) со свойствами, отличающимися от свойств тех структур, которые получились ранее.

При медленном охлаждении сталь получается в равновесном состоянии, характеризующемся наличием в ее структуре перлита (грубодисперсной смеси цементита

с ферритом при размере зерен цементита более  $10^{-12}$  см), указывающего на полное превращение (распад) аустенита.

При резком охлаждении стали происходит частичный распад аустенита, заключающийся в перестройке кристаллической решетки железа из гранцентрированной в объемно-центрированную, но без выделения атомов углерода из образовавшейся решетки  $\alpha$ -Fe. Структуру стали, соответствующую этой стадии распада аустенита, называют *мартенситовой*; в ней мартенсит представляет собой перенасыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe, имеющий игольчатое строение.

При быстром охлаждении происходит более полный распад аустенита, обусловленный диффузионными процессами; при этом углерод выделяется из решетки  $\alpha$ -Fe и образует цементит  $Fe_3C$  в виде мельчайших кристалликов. Структуру стали, соответствующую этой стадии распада аустенита, называют *трооститной*. Троостит представляет собой высокодисперсную смесь цементита с ферритом с величиной кристаллов  $Fe_3C$  в поперечнике  $10^{-6}$ ... $10^{-7}$  см. При средних степенях охлаждения аустенита получают структуру мелкодисперсного перлита, иначе называемого *сорбитом*, представляющего собой более грубодисперсную смесь цементита с ферритом с размером зерен  $Fe_3C$   $10^{-5}$ ... $10^{-4}$  см.

Сталь в состоянии мартенсита имеет высокую твердость (НВ 600...650) и большую хрупкость (ударная вязкость понижается почти до нуля). Это является следствием искажения кристаллической решетки  $\alpha$ -Fe, вызванного присутствием в ней углерода в количестве, в десятки раз превышающем нормальную растворимость в твердом состоянии. Механические свойства троостита и сорбита зависят от содержания в стали углерода.

#### ■ Виды термической обработки стали.

Шире других видов термической обработки применяют отжиг, нормализацию, закалку и отпуск стали.

● *Отжиг* стали производят в тех случаях, когда необходимо уменьшить твердость, повысить пластичность и вязкость, ликвидировать последствия перегрева, получить равновесное состояние, улучшить обрабатываемость при резании.

*Полный отжиг* стали производят путем нагрева ее до температуры выше верхних критических точек на  $20$ ... $50$  °C ( $A_{c3} + 20$ ... $50$  °C), т. е. выше линии GS (см. рис. 9.12), выдержки при такой температуре до полного прогрева

слитка с последующим очень медленным охлаждением (вместе с охлаждаемой печью, под слоем песка, золы, шлака и т. п.).

При *неполном отжиге* сталь нагревают выше нижних критических точек на  $20$ ... $50$  °C ( $A_{c1} + 20$ ... $50$  °C), выдерживают при этой температуре с последующим медленным охлаждением. При неполном отжиге происходит только частичная перекристаллизация. Неполному отжигу подвергают стали, не требующие исправления структуры, т. е. измельчения.

Для снятия внутренних напряжений, снижения твердости, улучшения обрабатываемости металлов применяют *низкотемпературный отжиг* при нагреве до температуры, лежащей ниже критических точек. Температура нагрева этого вида отжига определяется по формуле  $T_p = 0,4 T_{пл}$ , где  $T_p$  — температура рекристаллизации;  $T_{пл}$  — температура плавления сплава.

● *Нормализация* заключается в нагреве стали на  $30$ ... $50$  °C выше критических точек ( $A_{c2}$  для доэвтектоидной и  $A_{c1}$  — для эвтектоидной и заэвтектоидной сталей), непродолжительной выдержке при этой температуре и последующем охлаждении на воздухе. В результате нормализации стали с содержанием углерода менее  $0,3$  % приобретают ферритоперлитовую структуру, а стали с содержанием углерода  $0,3$ ... $0,7$  % и низколегированные — сорбитовую. Нормализацию стали применяют в тех случаях, когда необходимо получить мелкозернистую однородную структуру с более высокими твердостью и прочностью, но с несколько меньшей пластичностью, чем после отжига.

● *Закалка* стали заключается в нагреве ее до температуры образования аустенита, выдержке при этой температуре и последующем быстром охлаждении. В зависимости от скорости охлаждения сталь получают в состоянии мартенсита, троостита или сорбита закалки.

При закалке обычной углеродистой стали в слабых водных растворах — электролитах или в холодной воде сталь получает структуру мартенсита; при закалке в горячей воде или минеральном масле — структуру троостита и в расплавленном свинце — структуру сорбита. Стали с содержанием углерода менее  $0,2$  % практически не воспринимают закалку.

Закалке подвергают готовые изделия с целью повышения твердости и прочности. Изделия, от которых требуются высокое сопротивление истиранию и повышенная

вязкость, подвергают поверхностной закалке; металл при этом нагревается или пламенем газовой горелки (газовая поверхностная закалка), или чаще всего токами высокой частоты. При поверхностной закалке повышаются твердость и износостойкость только поверхностных слоев изделия, середина же изделия сохраняет свою первоначальную структуру и свойства.

● **Метод термомеханической обработки (ТМО)**, получивший за последние годы большое развитие, проводят в две стадии: 1) горячая или теплая деформация в области существования высокотемпературной фазы — аустенита (выше критических точек  $A_{c3}$ , либо ниже критических точек  $A_{c1}$ ); 2) последующее регламентированное охлаждение, в процессе которого деформированный аустенит претерпевает полиморфное превращение. Чаще всего применяют закалку на мартенсит. Высокие механические свойства после ТМО обуславливаются получением мелкодисперсной структуры с повышенной плотностью.

● **Отпуском** называют термическую обработку, при которой закаленную сталь нагревают до температуры ниже критических точек  $A_{c1}$  ( $723^\circ\text{C}$ ), выдерживают при этой температуре, а затем охлаждают. При отпуске стали мартенсит закалки и остаточный аустенит распадаются, образуя более устойчивые структуры (троостит, сорбит). Цель отпуска — уменьшение внутренних напряжений, снижение твердости и хрупкости, повышение пластичности.

Различают три вида отпуска: низкий (в интервале температур  $150\text{--}200^\circ\text{C}$ ), средний ( $300\text{--}400^\circ\text{C}$ ), высокий ( $500\text{--}600^\circ\text{C}$ ). При *низком* отпуске сталь сохраняет структуру мартенсита, а изменение механических свойств объясняется уменьшением закалочных напряжений, переходом остаточного аустенита в мартенсит и частичным выделением из мартенсита в высокодисперсном состоянии карбидов железа (цементита). При *среднем* и *высоком* отпуске проходят диффузионные процессы и мартенсит распадается с образованием смеси феррита с высокодисперсными частицами цементита (троостита или сорбита). При этом снижаются твердость и прочность стали, повышается пластичность, практически полностью снимаются внутренние напряжения в стали.

Неправильное проведение термообработки, т. е. отклонение от установленного режима, может ухудшить

качество стали. Причинами брака могут быть недостаточность нагрева стали, малая скорость охлаждения, перегрев, коробление, закалочные трещины, обезуглероживание.

Термической обработкой можно также улучшить качество чугунных отливок, которые часто имеют литейные напряжения. Напряжения эти снимаются при низкотемпературном отжиге до  $500^\circ\text{C}$  в течение 3...5 ч, а для больших деталей — «старением», т. е. выдержкой в течение 3...12 мес при нормальной температуре.

#### ■ **Химико-термическая обработка стали.**

Химико-термическая обработка стали заключается в изменении химического состава стали на поверхности изделия и последующем проведении термообработки. Цель ее — упрочнение поверхностных слоев стали (повышение твердости, усталостной прочности, износостойкости и т. п.), изменение физико-химических и других свойств (коррозионных, фракционных и т. д.). От поверхностной закалки данный вид обработки отличается тем, что предварительно производят насыщение поверхности обрабатываемых изделий различными элементами (C, N, Al, Si, Cr и др.). Проникая в основную решетку металла, атомы элемента образуют твердый раствор внедрения или замещения, либо химическое соединение.

● **Цементация** — поверхностное насыщение малоуглеродистой стали ( $C < 0,3\%$ ) углеродом с последующими закалкой и отпуском с целью получения детали с твердой поверхностью и вязкой сердцевиной. Цементацию можно проводить в твердой, жидкой или газообразной среде (карбюризаторе).

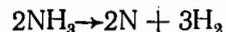
Изделия, подвергаемые цементации в твердом карбюризаторе, помещают в огнеупорный ящик и засыпают цементационной смесью, состоящей из активированного угля и углекислой соли ( $K_2CO_3$ ,  $Na_2CO_3$  или  $BaCO_3$ ). Ящик ставят в печь и выдерживают при  $900\text{--}950^\circ\text{C}$  в течение 5...6 ч. При этом углекислая соль диссоциирует с выделением  $CO_2$ , который реагирует с раскаленным углем и образует оксид углерода ( $C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$ ). При соприкосновении с поверхностью стали оксид углерода разлагается ( $2CO \rightarrow CO_2 + C$ ) и углерод в атомарно-активном состоянии диффундирует в кристаллическую решетку  $\gamma\text{-Fe}$ , образуя твердый раствор (аустенит). При дальнейшей выдержке в печи изделие науглероживается на некоторую глубину (1...2 мм).

После цементации изделия подвергают закалке на мартенсит с последующим низким отпуском. При такой закалке сердцевина цементированных изделий будет мягкой и вязкой, а поверхностный слой — твердым

и прочным (твердость по Бринеллю повышается до 660...650 единиц).

При газовой цементации над обрабатываемыми изделиями пропускают газы (природный и смеси метана, этила и иных газов, получаемых при пиролизе керосина и других жидких нефтепродуктов), которые при нагревании до высоких температур (900...950 °С) выделяют атомарный углерод. Газовая цементация обеспечивает повышение производительности труда и более точное регулирование процесса цементации, но требует более сложного оборудования.

● **Азотирование** — процесс поверхностного насыщения стали азотом путем выдержки стали, нагретой до 500...650 °С, в атмосфере аммиака NH<sub>3</sub>. Аммиак диссоциирует по реакции



с выделением атомарного азота, который диффундирует в сталь и образует нитриды, обладающие высокой твердостью. Особенно хорошие результаты получаются при азотировании легированных сталей с небольшим содержанием легирующих элементов (Al, Ti, V, Mo, Cr), которые образуют с азотом высокодисперсные стойкие нитриды. Азотирование стали значительно повышает ее поверхностную твердость (в 1,5...2 раза по сравнению с цементацией), увеличивает износоустойчивость и предел усталости стали, повышает сопротивление коррозии.

● **Цианирование** — одновременное насыщение поверхности стального изделия азотом и углеродом, производится для повышения твердости, износоустойчивости и усталостной прочности мелких и средних деталей.

● **Диффузионная металлизация** — процесс поверхностного насыщения стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование), бором (борирование) и другими элементами. Его осуществляют путем нагрева и выдержки стальных изделий в контакте с одним или несколькими из указанных элементов, которые могут находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях. Такая обработка изделия придает поверхностным слоям стали жаростойкость, износоустойчивость, сопротивление коррозии и создает возможность замены легированных сталей.

■ **Наклеп, возврат и старение стали.**

Механизм разрушения стали зависит от структуры

сплава. Под влиянием нагрузки искажается форма отдельных кристаллов и в особенности наиболее слабых — феррита. Если нагрузка не перешла определенного предела и будет снята, то форма кристалла примет свой первоначальный вид (упругость). Если нагрузка привела к межкуристаллическим сдвигам, то наступает предел пропорциональности — перлитовые прослойки начинают разрушаться, а энергия в зернах феррита обеспечивает общий сдвиг (текучесть). Площадка текучести характерна для малоуглеродистых сталей (до 0,3 % С), в которых перлита еще мало и его сдерживающее влияние не сказывается.

При последующем увеличении нагрузки зерна феррита взаимно смещаются, пронизываются кристаллами перлита, в результате чего возрастает сопротивление нагрузкам (упругопластическое состояние).

Разрушение металла наступает, когда связь между атомами отдельных кристаллов нарушается. Разрушение стали может быть пластичным в результате внутрикристаллических сдвигов и хрупким в результате преодоления сцепления между атомами.

Большое значение в решении вопроса о прочности металлов принадлежит теории «дислокаций», выражающейся в том, что в кристаллах металла имеются дефекты особого рода, а именно: строгое положение атомов в узлах кристаллической решетки оказывается нарушенным. Благодаря этому сдвиг в кристаллах происходит не одновременно по всей плоскости, а в результате постепенного перемещения дислокаций. Таким образом, пластическая деформация кристалла, содержащего дефекты, происходит под действием силы, значительно меньшей, чем это необходимо для одновременного сдвига по всей плоскости. В лабораториях выращены «усы» из монокристаллов ( $d=1...2$  мкм), где дислокаций нет, а потому прочность их достигает 10 000 МПа и более.

● **Наклепом** называют упрочнение металла и изменение его свойств под влиянием пластической деформации в холодном состоянии. Основные изменения свойств металла происходят из-за искажения кристаллической решетки, в результате вытягивания в направлении деформации (волочения проволоки, штамповки листов, изгиба, деформации арматуры и т. п.). В строительстве для повышения предела текучести арматуры железобетонных конструкций пользуются наклепом, для чего ее скручивают или вытягивают в холодном состоянии. На-

ряду с повышением прочности наклепанного металла происходит снижение пластических свойств (уменьшаются относительное удлинение и ударная вязкость).

Явление наклепа неустойчиво. В металле, упрочненном наклепом, даже при комнатной температуре очень медленно, но самопроизвольно начинают протекать процессы, приводящие к снятию искажений в решетке и форме зерен. Для ускорения этих процессов повышают температуру.

● *Возврат* называют процесс ускорения восстановления кристаллической решетки, т. е. снятие искажений путем нагрева малоуглеродистой стали до 200...400 °С, что приводит к некоторому снижению твердости и прочности и повышению пластичности. Полное восстановление свойств металла достигается дальнейшим повышением температуры до 600 °С. Этот процесс сопровождается перекристаллизацией деформированных зерен в новые равновесные структуры и называется рекристаллизацией.

● *Старение* — процесс деформирования металла. При наличии в сплаве частиц оксидов и нитридов железа последние при деформировании кристаллической решетки выделяются по плоскостям скольжения, что приводит к значительному снижению пластических свойств стали и даже к образованию трещин. В обычных условиях процесс старения идет очень медленно, с повышением температуры ускоряется. Старению способствует вибрационная нагрузка, например, в мостах. Замедлить старение можно путем введения присадок (алюминия, титана), связывающих вредные примеси.

## 9.6. Применение металлов в строительстве

### ■ Сталь углеродистая обыкновенного качества.

Решающее влияние на механические свойства в углеродистых сталях оказывает содержание углерода (рис. 9.15). При увеличении содержания углерода повышаются прочность, твердость и износоустойчивость, но понижаются пластичность и ударная вязкость, а также ухудшается свариваемость.

Примесь фосфора вызывает хладноломкость, а примесь серы — красноломкость стали. Для различных марок стали допустимое содержание фосфора 0,04...0,09 %, а серы 0,04...0,07 %. Вредное влияние на свойства стали оказывает кислород: содержание его более 0,03 % вызывает старение стали, а более 0,1 % — красноломкость. Примеси марганца и кремния в количестве 0,8...1 % не оказывают

практически влияния на механические свойства углеродистых сталей. В стали, предназначенной для сварных конструкций, содержание кремния не должно превышать 0,12...0,25 %. Содержание азота повышает прочность и твердость стали и снижает пластичность.

При обозначении марок стали могут быть указаны: группы, по которым сталь поставляется («А» — по механическим свойствам, «Б» — по химическому составу, «В» — по механическим свойствам и дополнительным

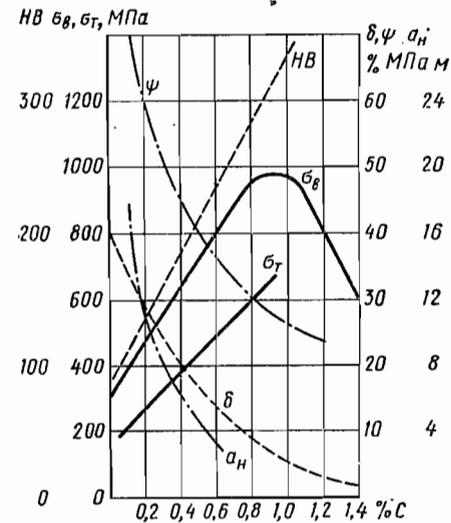


Рис. 9.15. Влияние углерода на механические свойства отожженных сталей

требованиям по химическому составу); методу производства («М» — мартеновский, «Б» — бессемеровский, «К» — кислородно-конвертерный); дополнительные индексы («сп» — спокойная сталь, «пс» — полуспокойная сталь, «кп» — кипящая сталь). В группе «А» индекс «М» часто опускается, но имеется в виду сталь мартеновская, а при отсутствии индексов «сп», «пс», «кп» имеется в виду сталь спокойная.

Спокойная сталь является более качественной, но по стоимости она на 12...15 % дороже кипящей. Полуспокойная сталь занимает по свойствам промежуточное положение между спокойной и кипящей, но в результате

незначительного расхода раскислителей стоимость ее меньше, чем спокойной.

Механические характеристики стали зависят также от формы и толщины проката. Углеродистые стали обыкновенного качества применяют без термообработки. В табл. 9.1 приведены нормы на механические свойства

Таблица 9.1. Сталь углеродистая обыкновенного качества

Марки стали группы А	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Ст0	310	—	20...30
Ст1сп, пс	320...420	—	31...34
Ст2сп, пс	340...440	200...230	29...32
Ст3сп, пс	380...490	210...250	23...26
Ст3Гпс	380...500	210...250	23...26
Ст4сп, пс	420...540	240...270	21...24
Ст5Гпс	460...600	260...290	17...20
Ст6сп, пс	Не менее 600	300...320	12...15

Примечание. В стали марок Ст3Гпс и Ст5Гпс повышенное содержание марганца.

стали углеродистой обыкновенного качества (группа А).

#### ■ Сталь углеродистая качественная конструкционная.

Качественная конструкционная сталь выплавляется в мартеновских и электрических печах (спокойная, полуспокойная, кипящая).

В зависимости от химического состава эта сталь делится на две группы: I — с нормальным содержанием марганца и II — с повышенным содержанием марганца. Марки стали и требования к механическим свойствам стали I группы в состоянии нормализации приведены в табл. 9.2. В марке стали двузначные цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Сталь в соответствии с требованиями может поставляться в термически обработанном состоянии (отожженная, нормализованная, высокоотпущенная).

Инструментальные качественные углеродистые стали предназначены для изготовления режущего, мерительного и штамповочного инструмента небольших размеров. Марки этих сталей обозначаются буквой У и цифрой, показывающей содержание углерода в десятых долях процента (У7, У8, У9, ..., У13). Высококачественные стали имеют низкое содержание серы (до 0,02 %) и фос-

Таблица 9.2. Сталь углеродистая качественная по ГОСТ 2050—74

Марки стали	Содержание углерода, %	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
08 кп, пс	0,05...0,11	330	200	35
10 кп, пс	0,07...0,14	340	210	31
15 кп, пс	0,12...0,19	380	230	27
20 кп, пс	0,17...0,24	420	250	25
25 —	0,22...0,30	460	280	23
30 —	0,27...0,35	500	300	21
35 —	0,32...0,40	540	320	20
40 —	0,37...0,45	580	340	19
45 —	0,42...0,50	610	360	16
50 —	0,47...0,55	640	380	14
60 —	0,57...0,65	690	410	12
70 —	0,67...0,75	730	430	9
80 —	0,77...0,85	1100*	950*	6*

\* Механические свойства после закалки и отпуска.

Примечание. В таблице приведены только некоторые марки сталей.

фора (до 0,03 %), меньше неметаллических включений, обладают повышенными механическими свойствами. В обозначениях марок высококачественных сталей в отличие от качественных ставится буква А (например, У7А, У8А и т. д.).

#### ■ Сталь легированная.

При введении в углеродистые стали специальных легирующих добавок (Cr, Mn, Ni, Si, W, Mo, Ti, Co, V и др.) достигается значительное улучшение их физико-механических свойств (например, повышение предела текучести без снижения пластичности и ударной вязкости и т. д.).

● *Легирующие добавки*, растворяясь в железе, искажают и нарушают симметрию его кристаллической решетки, так как они имеют другие атомные размеры и строение внешних электронных оболочек. Чаще всего увеличивается карбидосодержащая фаза за счет уменьшения углерода в перлите, что соответственно увеличивает прочность стали. Многие легирующие элементы способствуют измельчению зерен феррита и перлита в стали, что значительно повышает вязкость стали. Некоторые легирующие элементы расширяют область аустенита, снижая критические точки  $A_{c3}$ , а другие, на-

оборот, сужают эту область. Большое значение на практике имеет способность большинства легирующих элементов повышать прокаливаемость стали на значительную толщину, задерживая переход аустенита в другие структуры, что создает возможность закалывать стали при умеренных скоростях охлаждения. При этом уменьшаются внутренние напряжения и снижается опасность появления закалочных трещин.

Согласно существующим стандартам легированные стали классифицируют по назначению, химическому составу и микроструктуре.

● По назначению легированные стали разделяют на три класса: *конструкционные* (машиноподделочные и строительные), *инструментальные* и стали с *особыми физико-химическими свойствами*.

Для обозначения марок сталей принята буквенно-цифровая система. Легирующие элементы обозначаются буквами: С — кремний, Г — марганец, Х — хром, Н — никель, М — молибден, В — вольфрам, Р — бор, Т — титан, Ю — алюминий, Ф — ванадий, Ц — цирконий, Б — ниобий, А — азот, Д — медь, К — кобальт, П — фосфор и т. д. Цифры, стоящие перед буквами, показывают содержание углерода в конструкционных сталях в сотых долях процента, в инструментальных — в десятых долях процента. Цифры, стоящие за буквами, показывают содержание легирующих элементов в процентах. Если содержание элементов не превышает 1,5 %, то цифры не ставят. Буква А, стоящая в конце марки, означает, что сталь высококачественная. Например, сталь марки 35ХНЗМА — высококачественная, содержащая 0,35 % С, 1 % Сг, 3 % Ni, 1 % Мо.

● По химическому составу легированные стали делят на три класса: *низколегированные* с общим содержанием легирующих элементов до 2,5 %; *среднелегированные* — от 2,5 до 10 % и *высоколегированные*, содержащие более 10 % таких элементов, например нержавеющей сталь 1Х18Н9.

● В зависимости от структуры, которую получают легированные стали после нормализации, их делят на пять классов: *перлитная*, *мартенситная*, *аустенитная*, *ферритная* и *карбидная* (ледебуритная). Большинство конструкционных и инструментальных сталей относится к сталям перлитного класса. Такие стали содержат незначительное количество легирующих элементов (не более 5...6 %), хорошо обрабатываются давлением и резанием.

После нормализации имеют структуру перлита (сорбита, троостита). После закалки и отпуска заметно повышают механические свойства.

Основным преимуществом легированных сталей по сравнению со сталью марки Ст3 является их большая прочность при сохранении достаточно высокой пластичности и свариваемости, что позволяет повысить допускаемые напряжения и уменьшить расход металла на изготовление конструкций, а также повышенная стойкость к атмосферной коррозии.

#### ■ Применение стали в строительстве.

В строительстве сталь используют для изготовления конструкций, армирования железобетонных конструкций, устройства кровли, подмостей, ограждений, форм железобетонных изделий и т. д. Правильный выбор марки стали обеспечивает экономный расход стали и успешную работу конструкции.

Для изготовления несущих (расчетных) сварных и клепаных конструкций рекомендуют следующие виды сталей: мартеновскую — марок ВМСт3пс (сп, кл), низколегированную — марок 15ГС, 14Г2, 10Г2С, 10Г2СД; природно-легированную — марок 15ХСНД, 10ХСНД; кислородно-конвертерную — марок ВКСт3сп (пс, кл).

Стали марок Ст4 и Ст5 рекомендуют для конструкций, не имеющих сварных соединений, и для сварных конструкций, воспринимающих лишь статические нагрузки.

Сталь для конструкций, работающих на динамические и вибрационные нагрузки и предназначенных для эксплуатации в условиях низких температур, должна дополнительно проверяться на ударную вязкость при отрицательных температурах.

К стали для мостовых конструкций предъявляют специальные требования (ГОСТ 6713—75) по однородности и мелкозернистости, отсутствию внешних дефектов, прочностным и деформационным свойствам.

Для армирования железобетонных конструкций сталь применяют в виде стержней, проволоки, сварных сеток, каркасов. Арматурная сталь может быть горячекатаная (стержневая) и холоднокатаная (проволочная). По форме сталь чаще всего бывает круглая, а для улучшения сцепления — периодического профиля. В отдельных случаях для повышения механических свойств сталь обрабатывают наклепом и применяют термическую обработку.

● *Стержневую арматуру* в зависимости от механических свойств делят на классы: А-I, А-II, А-III, А-IV и др. (см. табл. 6.10). При обозначении класса термически упрочненной арматурной стали добавляют индекс «т» (например, Ат-III), упрочненную вытяжкой — «в» (например, А-IIв).

● *Арматурная проволока* может быть холоднотянутой класса В-I (низкоуглеродистой) для ненапрягаемой арматуры и класса В-II (углеродистой) для напрягаемой арматуры. Для обычного армирования преимущественно применяют арматурную сталь классов А-III (марок 25Г2С, 35ГС и др.), А-II (марок Ст5) и обыкновенную арматурную проволоку, а при особом обосновании также А-I (марки Ст3) и А-IIв. Для предварительно напряженного армирования используют высокопрочную проволоку, арматурные пряди и арматуру класса А-IV (марок 30ХГ2С, 20ХГСТ, 20ХГ2Ц и другие низколегированные стали), а также упрочненную вытяжкой сталь класса А-IIв (марок 35ГС, 25Г2С).

● *Сортамент прокатного металла и металлоизделий* в строительстве разнообразен: сортовая сталь, прокатная сталь листовая, уголки, швеллеры, двутавры, трубы и другие служат основой для изготовления металлических конструкций (балки, колонны, фермы и т. д.). На сортаменты имеются ГОСТы наиболее рациональных типов профилей и частоты их градаций.

*Сортовая сталь*: круглая (диаметром 10...210 мм) применяется для изготовления арматуры, скоб, болтов; квадратная (сторона квадрата 10...100 мм); полосовая (шириной 12...20 мм) — для изготовления связей, хомутов, бугелей.

*Сталь листовая* включает листы толщиной от 4...160 мм, шириной 600...3800 мм; тонколистовая кровельная — черная и оцинкованная толщиной до 4 мм; широкополочная толщиной 6...60 мм, шириной 200...1500 мм, длиной 5...12 м.

*Уголкового профиля* (равнополочные и неравнополочные) выпускают площадью сечения 1,0...140 см<sup>2</sup>.

*Швеллеры* характеризуются сечением швеллера и определяются его номером, который соответствует высоте стенки швеллера в сантиметрах.

*Двутавры* — основной балочный профиль — разнообразны по типам; обозначаются номером, соответствующим их высоте в сантиметрах.

Трубы круглые имеют диаметр 8...1620 мм. Трубы могут быть квадратного и прямоугольного сечения.

● В строительстве также широко применяют *специальные профили* и металлические материалы: *стальные канаты и проволоку, профилированные настилы* и т. д.

#### ■ Чугуны.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2 % углерода. Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь, но дешевле и хорошо отливается в изделия сложной формы. Различают несколько видов чугуна.

● *Белый чугун*, в котором весь углерод (2,0...3,8 %) находится в связанном состоянии в виде Fe<sub>3</sub>C (цементита), что и определяет его свойства: высокие твердость и хрупкость, хорошую сопротивляемость износу, плохую обрабатываемость режущими инструментами. Белый чугун применяют для получения серого и ковкого чугуна и стали.

● *Серый чугун* содержит углерод в связанном состоянии только частично (не более 0,5 %). Остальной углерод находится в чугуне в свободном состоянии в виде графита. Графитовые включения делают цвет излома серым. Чем излом темнее, тем чугун мягче. Образование графита происходит в результате термической обработки белого чугуна, когда часть цементита распадается на мягкое пластичное железо и графит по реакции Fe<sub>3</sub>C → 3Fe + C. В зависимости от преобладающей структуры различают серый чугун на перлитной, ферритной или феррито-перлитной основе.

Свойства серого чугуна зависят от режима охлаждения и наличия некоторых примесей. Например, чем больше кремния, тем больше выделяется графита, а потому чугун делается мягче. Серый чугун имеет умеренную твердость и легко обрабатывается режущими инструментами. Серый чугун, применяемый в строительстве, должен иметь предел прочности при растяжении не менее 120 МПа, а предел прочности при изгибе 280 МПа.

Из серого чугуна отливают элементы конструкций, хорошо работающие на сжатие: колонны, опорные подушки, башмаки, тубинги, отопительные батареи, трубы водопроводные и канализационные, плиты для полов, станины и корпусные детали станков, головки и поршни двигателей, зубчатые колеса и другие детали.

● *Ковкий чугун* получают после длительного отжига белого чугуна при высоких температурах, когда цемен-

тит почти полностью распадается с выделением свободного углерода на ферритной или перлитной основе. Углеродные включения имеют округлую форму. В отличие от старых ковкие чугуны являются более прочными и пластичными и легче обрабатываются.

● **Высокопрочные (модифицированные) чугуны** значительно превосходят обычные серые по прочности и обладают некоторыми пластическими свойствами. Их применяют для отливок ответственных деталей.

При испытании серого и высокопрочного чугунов определяют предел прочности при растяжении, изгибе и сжатии, а при испытании ковкого чугуна — предел прочности при растяжении, относительное удлинение и твердость.

При маркировке серого и модифицированного чугуна, например СЧ12—28, первые две цифры обозначают предел прочности при растяжении, последующие две — предел прочности при изгибе.

#### ● Цветные металлы и сплавы.

Сплавы цветных металлов применяют для изготовления деталей, работающих в условиях агрессивной среды, подвергающихся трению, требующих большой теплопроводности, электропроводности и уменьшенной массы.

● **Медь** — металл красноватого цвета, отличающийся высокой теплопроводностью и стойкостью против атмосферной коррозии. Прочность невысокая:  $\sigma_b = 180 \dots 240$  МПа при высокой пластичности  $\delta > 50$  %.

● **Латунь** — сплав меди с цинком (10...40 %), хорошо поддается холодной прокатке, штамповке, вытягиванию  $\sigma_b = 250 \dots 400$  МПа,  $\delta = 35 \dots 15$  %. При маркировке латуни (Л96, Л90, ..., Л62) цифры указывают на содержание меди в процентах. Кроме того, выпускают латуни многокомпонентные, т. е. с другими элементами (Мп, Sn, Pb, Al).

● **Бронза** — сплав меди с оловом (до 10 %), алюминием, марганцем, свинцом и другими элементами. Обладает хорошими литейными свойствами (вентили, краны, люстры). При маркировке бронзы Бр.ОЦС3-12-5 отдельные индексы обозначают: Бр — бронза, О — олово, Ц — цинк, С — свинец, цифры 3, 12, 5 — содержание в процентах олова, цинка, свинца. Свойства бронзы зависят от состава:  $\delta_b = 150 \dots 210$  МПа,  $\delta = 4 \dots 8$  %, НВ60 (в среднем).

● **Алюминий** — легкий серебристый металл, облада-

ющий низкой прочностью при растяжении —  $\sigma_b = 80 \dots 100$  МПа, твердостью — НВ20, малой плотностью — 2700 кг/м<sup>3</sup>, стоек к атмосферной коррозии. В чистом виде в строительстве применяют редко (краски, газообразователи, фольга). Для повышения прочности в него вводят легирующие добавки (Мп, Cu, Mg, Si, Fe) и используют некоторые технологические приемы. Алюминиевые сплавы делят на литейные, применяемые для отливки изделий (силумины), и деформируемые (дюралюмины), идущие для прокатки профилей, листов и т. п.

● **Силумины** — сплавы алюминия с кремнием (до 14 %), они обладают высокими литейными качествами, малой усадкой, прочностью  $\sigma_b = 200$  МПа, твердостью НВ50...70 при достаточно высокой пластичности  $\delta = 5 \dots 10$  %. Механические свойства силуминов можно существенно улучшить путем модифицирования. При этом увеличивается степень дисперсности кристаллов, что повышает прочность и пластичность силуминов.

● **Дюралюмины** — сложные сплавы алюминия с медью (до 5,5 %), кремнием (менее 0,8 %), марганцем (до 0,8 %), магнием (до 0,8 %) и др. Их свойства улучшают термической обработкой (закалкой при температуре 500...520 °С с последующим старением). Старение осуществляют на воздухе в течение 4...5 сут при нагреве на 170 °С в течение 4...5 ч.

Термообработка алюминиевых сплавов основана на дисперсном твердении с выделением твердых дисперсных частиц сложного химического состава. Чем мельче частицы новообразований, тем выше эффект упрочнения сплавов. Предел прочности дюралюминов после закалки и старения составляет 400...480 МПа и может быть повышен до 550...600 МПа в результате наклепа при обработке давлением.

В последнее время алюминий и его сплавы все шире применяют в строительстве для несущих и ограждающих конструкций. Особенно эффективно применение дюралюминов для конструкций в большепролетных сооружениях, в сборно-разборных конструкциях, при сейсмическом строительстве, в конструкциях, предназначенных для работы в агрессивной среде. Начато изготовление трехслойных навесных панелей из листов алюминиевых сплавов с заполнением пенопластовыми материалами. Путем введения газообразователей можно создать высокоэффективный материал пеноалюминий со средней плотностью 100...300 кг/м<sup>3</sup>.

Все алюминиевые сплавы поддаются сварке, но она осуществляется более трудно, чем сварка стали, из-за образования тугоплавких оксидов  $Al_2O_3$ .

Особенностями дюралюмина как конструкционного сплава являются: низкое значение модуля упругости, примерно в 3 раза меньше, чем у стали, влияние температуры (уменьшение прочности при повышении температуры более  $400^\circ C$  и увеличение прочности и пластичности при отрицательных температурах); повышенный примерно в 2 раза по сравнению со сталью коэффициент линейного расширения; пониженная свариваемость.

■ *Титан* за последнее время начал применяться в разных отраслях техники благодаря ценным свойствам: высокой коррозионной стойкости, меньшей плотности ( $4500 \text{ кг/м}^3$ ) по сравнению со сталью, высоким прочностным свойствам, повышенной теплостойкости. На основе титана создаются легкие и прочные конструкции с уменьшенными габаритами, способные работать при повышенных температурах.

## 9.7. Коррозия металлов и способы защиты от нее

● *Коррозия* — процесс химического или электрохимического разрушения металлов под действием окружающей среды. Установлено, что от коррозии ежегодно теряется безвозвратно около 10 % производимых металлов, т. е. годовая продукция крупного металлургического завода.

● В процессе химического разрушения на поверхности металла образуется пленка из продуктов коррозии, обычно оксидов. В некоторых случаях эта пленка может защищать лежащий под ней металл от дальнейшей коррозии. Сравнительно плотные оксиды пленки образуются на поверхности алюминия, свинца, олова, никеля, хрома. При окислении железа в сухом воздухе или в атмосфере сухого кислорода образуется также достаточно плотная пленка, но она по мере роста растрескивается и отслаивается от металла. Чаще всего химическая коррозия происходит в среде сухих газов при высокой температуре (металлическая арматура печей, клапаны двигателей, лопатки газовых турбин и т. п.) или в жидкостях неэлектролитов (окисление металла в спирте, бензине, нефти, мазуте и т. п.).

При электрохимической коррозии металл разрушается вследствие его растворения в жидкой среде, являю-

щейся электролитом. Сущность процесса электрохимической коррозии заключается в том, что атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки металла, при контакте с раствором электролита переходят в раствор в форме ионов, оставляя эквивалентное количество электронов в металле. Переход атомов металла в ионы и растворение их в жидком электролите определяется величиной нормального электродного потенциала. Он характеризует по напряжению электрического тока, которое надо приложить к границе раздела твердого металла с жидким электролитом, чтобы воспрепятствовать переходу иона металла в раствор. Чем отрицательнее нормальный электродный потенциал, тем более резко выражено стремление металла к растворению в электролитах (например, свинец растворяется значительно медленнее, чем железо). Данный вид коррозии может также возникнуть при контакте двух разнородных металлов в присутствии электролита, когда между этими металлами возникает гальванический ток. В гальванической паре любых двух металлов будет растворяться тот металл, который обладает более отрицательным электродным потенциалом. Например, железо имеет более низкий отрицательный электродный потенциал, чем цинк, и более высокий, чем медь. Следовательно, при контакте железа с цинком будет разрушаться цинк, а при контакте железа с медью — железо. Гальванические пары при коррозии образуются не только между отдельными участками контактирующих металлов, но также и между микроскопически малыми кристалликами одного и того же сплава, если они различаются по химическому составу и физическим свойствам. В результате возникает коррозионное разрушение, которое может проникнуть очень глубоко и идти по границам раздела зерен (межкристаллическая коррозия). Например, в перлите феррит более электроотрицателен, чем цементит, он и будет разрушаться в соответствующих условиях.

● Таким образом, *электрохимическая коррозия* — это разрушение сплава, сопровождающееся появлением электрического тока в результате работы множества микрогальванических элементов на корродирующей поверхности металла.

На скорость растворения металла в электролите влияют примеси, способы обработки металла, концентрация электролитов. Металл, находящийся под нагрузкой, корродирует значительно быстрее ненагруженного, так как

нарушается целостность защитной пленки и образуются микротрещины (коррозионное растрескивание). Разрушение металла одновременным воздействием знакопеременных нагрузок и коррозионной среды называют *коррозионной усталостью*.

● В зависимости от характера окружающей среды электрохимическая коррозия может быть *подводной, атмосферной, почвенной, вызванной блуждающими токами*. Электрохимическая коррозия металлов в воде обусловливается присутствием в ней растворенного кислорода. При атмосферной коррозии электролитом служит тонкая пленка влаги, сам же процесс коррозии ничем не отличается от коррозии в воде.

В результате коррозии стали на ее поверхности появляется смесь различных гидратированных оксидов железа, имеющих состав  $n\text{FeO} \cdot p\text{H}_2\text{O} + m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot q\text{H}_2\text{O}$  (ржавчина).

Активному протеканию процесса коррозии способствует углекислый и в особенности сернистый газы, хлористый водород, различные соли.

Защиту от коррозии следует начинать с правильного подбора химического состава и структуры металла. При конструировании необходимо избегать форм, способствующих задержке влаги. Для защиты металла от коррозии применяют различные способы.

● *Легирование стали* повышает ее антикоррозионные свойства. Например, совершенную стойкость к атмосферной коррозии показывают нержавеющие легированные стали, содержащие в большом количестве хром, который, образуя на поверхности оксидные пленки, приводит сталь в пассивное состояние. Существенно повышается (в 1,5...3 раза) коррозионная стойкость строительных сталей при введении в их состав меди (0,2...0,5 %). Повышенной стойкости нержавеющих сталей против коррозии способствуют также их однородность и небольшое содержание вредных примесей.

Защитные покрытия представляют собой пленки (металлические, оксидные, лакокрасочные и т. п.).

● *Металлические покрытия* бывают *двух типов* — *анодные* и *катодные*. Для анодного покрытия используют металлы, обладающие более отрицательным электродным потенциалом, чем основной металл (например, цинк, хром). Для катодного покрытия выбирают металлы, имеющие меньшее отрицательное значение электродного потенциала, чем основной металл (медь, олово,

свинец, никель и др.). Металлические покрытия наносят горячим методом, гальваническим и металлизацией.

При *горячем методе* покрытия изделия погружают в ванну с расплавленным защитным металлом, температура которого ниже, чем температура плавления изделия (цинк, олово, свинец).

*Гальванический метод* защиты состоит в том, что на поверхности изделия путем электролитического осаждения из растворов солей создается тонкий слой защищаемого металла. Покрываемое изделие при этом служит катодом, а осаждаемый металл — анодом.

*Металлизация* — покрытие поверхности детали расплавленным металлом, распыленным сжатым воздухом. Преимуществом этого метода защиты металла является то, что покрывать расплавом можно уже собранные конструкции. Недостаток заключается в том, что получается шероховатая поверхность.

Металлические покрытия можно наносить также посредством диффузии металла покрытия в основной металл — *алитирование, силицирование, хромирование* (см. с. 316), а также способом *плакирования*, т. е. наложения на основной металл тонкого слоя защитного металла (биметалл) и зарепления его путем горячей прокатки (например, железо — медный сплав, дюралюминий — чистый алюминий).

● *Оксидирование* — защита оксидными пленками. Для этого естественную оксидную пленку, всегда имеющуюся на металле, делают более прочной путем обработки сильным окислителем, например концентрированной азотной кислотой, растворами марганцевой или хромовой кислот и их солей. Частным случаем оксидирования является воронение стали. В этом случае на поверхности также создается оксидная пленка, но более сложными приемами, связанными с многократной термической обработкой при температуре 300...400 °С в присутствии древесного угля.

● *Фосфатирование* состоит в получении на изделии поверхностной пленки из нерастворимых солей железа или марганца в результате погружения металла в горячие растворы кислых фосфатов железа или марганца.

● *Лакокрасочные покрытия* основаны на механической защите металла пленкой из различных красок и лаков. Ванны, раковины, декоративные изделия для защиты от коррозии покрывают эмалью, т. е. наплавляют

на металл при температуре 750...800 °С различные комбинации силикатов.

При временной защите металлических изделий от коррозии (транспортировании, складировании) используют для покрытия металла невысыхающие масла (технический вазелин, лак этиноль), а также ингибиторы, т. е. вещества, замедляющие протекание реакции (нитрит натрия с углекислым аммонием, с уротропином, ингибиторную бумагу и др.).

### 9.8. Сварка металлов

● Для изготовления металлических строительных конструкций, арматурных каркасов для железобетона большое развитие получила сварка — процесс получения неразъемных соединений металлических изделий с применением местного нагрева до плавления или до пластического состояния. Сварка обеспечивает надежное соединение, дает экономию металла, способствует механизации и резкому снижению трудоемкости производства работ при изготовлении конструкции. В нашей стране до 90 % металлоконструкций изготавливают сварными. Свариваемость металлов зависит от их химического состава, теплопроводности, усадки, теплового расширения, методов и режимов, применяемых при сварке. В зоне сварки меняется структура металла в зависимости от температуры и времени охлаждения. Для получения необходимой структуры пользуются последующей термообработкой (закалка, отпуск, отжиг, нормализация). Лучше всего свариваются малоуглеродистые стали ( $C < 0,2 \%$ ), стали с большим содержанием углерода ( $C > 0,4 \%$ ), а также чугуны, предварительно подогретые. Наличие примесей ухудшает свариваемость металлов. Легированные стали не допускают перегрева, так как может быть выгорание специальных элементов, самозакаливаемость, появление трещин. Сварка чугунов требует специальных присадочных материалов (кремния 3 %), стальной проволоки и предварительного подогрева до 600...700 °С, чтобы устранить внутренние напряжения и предотвратить образование трещин рядом со сварным швом. Сварка цветных металлов имеет свои особенности. Так, алюминиевые сплавы легко окисляются, а потому перед сваркой оксидную пленку следует удалить, при быстром нагреве происходит размягчение и потеря формы и др.

В зависимости от источника теплоты сварка может быть: электрическая (электродуговая, электроконтактная); химическая (газовая, термитная); электрохимическая (атомно-водородная); электромеханическая (кузнечная, давлением); лучевая (лазерная). Наиболее распространены электродуговая сварка плавлением с применением металлического электрода и электроконтактная сварка. Газовую сварку применяют для сварки чугуна, цветных металлов и стальных деталей малой толщины.

● Электродуговая сварка основана на тепловом эффекте электрической дуги, возникающей между основным металлом и угольным электродом (способ Н. Н. Бенардоса)

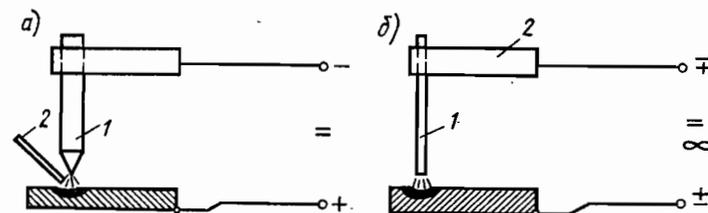


Рис. 9.16. Схема электродуговой сварки:

а — по способу Бенардоса; 1 — угольный электрод; 2 — присадочный пруток;  
б — по способу Славянова; 1 — электрод; 2 — держатель

ардоса) и между основным металлом и металлическим электродом (способ Н. Г. Славянова). В первом случае необходим присадочный материал, который, смешиваясь с основным металлом, образует сварной шов. Во втором случае металлический электрод одновременно служит и присадочным металлом (рис. 9.16). Для большей устойчивости дуги и защиты наплавленного металла от вредного действия кислорода и азота воздуха производится защита электрода специальными покрытиями на основе газообразующих, шлакообразующих, легирующих, связующих веществ. Наиболее простым покрытием является смесь мела и жидкого стекла. Толщина покрытия 0,15...1,5 мм для тонких покрытий, когда же требуются повышенная устойчивость дуги, высокая пластичность и высокая ударная вязкость, применяют электроды с толстыми покрытиями. Диаметр электрода 1...12 мм в зависимости от толщины свариваемого металла. Тем-

пература дуги при металлическом электроде 2400...2600 °С, а угольном — 3800...3900 °С.

Сварка может производиться как на переменном, так и на постоянном токе с применением специальных трансформаторов, генераторов и т. п.

Для повышения производительности сварки и качества сварного шва применяют автоматизацию и сварку под слоем флюса. Современные типы автоматов с непрерывным электрическим регулированием состоят из самоходной тележки (рис. 9.17), на которой смонтирована кассета для электродной проволоки, бункер для флюса

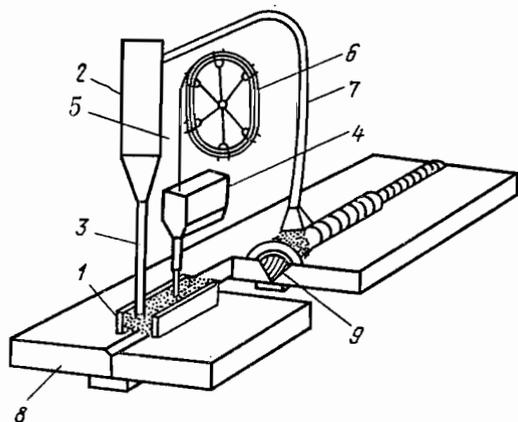


Рис. 9.17. Схема автоматической сварки под флюсом:

1 — стенка для удержания флюса; 2 — бункер; 3 — труба; 4 — автоматическая сварочная головка; 5 — голая электродная проволока; 6 — барабан с проволокой; 7 — труба для отсоса флюса; 8 — свариваемое изделие; 9 — сварной шов

и другие вспомогательные приспособления. Проволока подается автоматически по мере ее сгорания, подача регулируется напряжением тока в дуге. Скорость сварки 10...70 м/ч. Устойчивость дуги гарантируется наличием флюса. Состав распространенного флюса: 43...48 %  $MnO$ , 38...43 %  $SiO_2$ , 9...10 %  $CaF_2$  и примесей 3...5 %. Автоматическая сварка и сварка под слоем флюса увеличивает производительность сварки в 5...10 раз против ручной сварки и значительно повышает качество металла шва.

● **Электроконтактная сварка** обеспечивает неразъемное соединение металлов за счет теплоты, выделяемой электрическим током высокой плотности и незначительным напряжением 0,5...10 В с приложением механических усилий в контактах. Электроконтактная сварка может быть полностью механизирована и автоматизирована. Различают следующие основные виды электрокон-

тактной сварки: стыковая, точечная, роликовая (шовная).

**Стыковая электросварка** характеризуется соединением свариваемых изделий по всей поверхности соприкосновения. Сварка может быть двух видов — соприкосновением или плавлением. В первом случае изделия помещаются в зажимы машины и прижимаются друг к другу, а затем включается ток. После нагрева изделий до пластического состояния в местах контакта происходит свар-

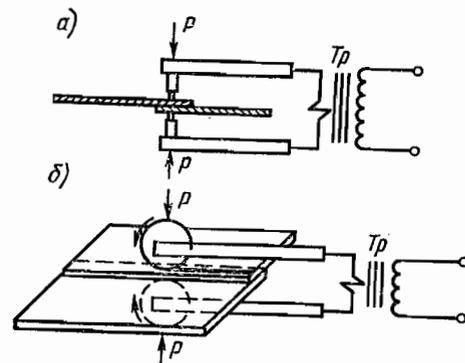


Рис. 9.18. Схема точечной (а) и роликовой (б) сварки

ка. Во втором случае расплавление металла в местах контакта происходит при непрерывном сближении торцов свариваемых изделий, после полного сближения происходит сварка при их механическом сжатии. Чаще всего стыковая сварка применяется при сварке арматурных стержней для железобетонных конструкций.

**Точечная электросварка** представляет собой вид контактной сварки, при которой соединяемые металлические изделия свариваются в отдельных точках с применением медных электродов (рис. 9.18, а). Чаще всего этот вид электросварки используется для соединения «внахлестку» изделий небольшой толщины и в местах пересечения арматуры. Качество сварки зависит от правильного выбора режима, давления, диаметра электрода и других факторов.

**Роликовая (шовная) электросварка** используется при необходимости соединения металлических листов. Электроды в этом случае имеют форму роликов диаметром

40...350 мм (рис. 9.18, б). Качество сварки обеспечивается правильным режимом сварки, выбором давления, диаметра ролика, скорости движения и др.

● *Газовая сварка* — нагрев и расплавление металла свариваемых мест изделия за счет теплоты, выделяемой при сгорании в кислороде горючих газов (ацетилена, светильного газа, паров бензина, водорода и др.). Чаще всего в практике используется газ — ацетилен, доставляемый к месту сварки в баллонах (давление 1,6...2,2 МПа) или получаемый на месте путем воздействия воды на карбид кальция. Смещение ацетилена и кислорода (1,1 : 1,2) производится в специальной горелке и по выходе из нее происходит горение с температурой 3100 °С. При подготовке мест сварки они тщательно очищаются от грязи, жира, ржавчины. Сварную проволоку применяют близкую по составу металлу свариваемых изделий. Сварной шов должен медленно и равномерно охлаждаться.

*Газопрессовая сварка* представляет собой процесс, при котором детали нагреваются в местах соединения многопламенными горелками до оплавления с одновременным воздействием сжимающих усилий.

*Газовая резка* представляет собой разделение металла путем прожигания в нем шва струей сжатого кислорода, для чего металл предварительно нагревают до воспламенения, используя газовую горелку. Условия газовой резки следующие: температура воспламенения должна быть ниже температуры плавления металла, оксиды металлов должны плавиться при более низкой температуре, чем сам металл. Этим требованиям удовлетворяют малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, не удовлетворяют чугуны и цветные сплавы. Оборудование для резки то же, что и при газовой сварке, только горелка заменяется резаком. Кислородная резка может применяться не только на воздухе, но и под водой.

● *Термитная сварка*, т. е. сварка с помощью термита — смеси оксида железа (75...80 %) и порошкообразного металлического алюминия (20...25 %). После воспламенения смеси специальным запалом в результате реакции восстановления железа:  $Fe_2O_3 + 2Al = 2Fe + 2Al_2O_3$  происходит экзотермическая реакция, температура в тигле достигает 3000 °С, осуществляется сварка металлических деталей, при этом производят их стягивание.

## 9.9. Методика преподавания металлических материалов и изделий

Металлы продолжают оставаться важнейшими конструктивными строительными материалами. В строительстве в основном используют черные металлы — сталь и чугун. Однако в возрастающих размерах применяют также сплавы цветных металлов, особенно на основе алюминия. Знание основ производства металлов и их свойств необходимо теперь для строителя любой специальности.

Приступая к изучению металлических материалов и изделий из них, следует рассказать учащимся о всех видах учебных занятий (лекциях, лабораторных и практических занятиях и др.), чтобы учащиеся получили полное представление о задачах, содержании, методике и объеме каждого вида обучения, а также о формах и порядке контроля за изучением. Здесь же целесообразно указать темы для самостоятельного изучения и необходимые учебники и учебные пособия.

Лекции следует проводить по наиболее сложным параграфам, раскрывая физическую сущность каждого явления, что обеспечит учащимся умение правильно решать вопросы, связанные с выбором металла для конструкций. Необходимо показать связь структуры металлов со свойствами, обосновать теоретически и показать практическую ценность обработки металлов (холодной, термообработки, химико-термической), рассмотреть свойства, классификацию и маркировку металлов, а также причины и сущность коррозии металлов и методы защиты их от коррозии.

Излагая вводную часть, следует обратить внимание на ценные свойства металлов, отличающие их от других материалов, указав и недостатки. Здесь же целесообразно сообщить сведения о состоянии и перспективах производства и применения металлов в народном хозяйстве и роли русских и советских ученых в успехах отечественной металлургии.

Основы металлургических процессов, известные учащимся из средней школы, можно вынести на самостоятельную проработку, а остановиться лишь на техническом прогрессе в производстве, разливке и обработке металлов. Особое внимание следует уделить наиболее прогрессивным методам обработки металла давлением (прокатка, волочение, ковка, штамповка, литье), раскрыв

их теоретическую сущность и принципы практического исполнения.

Далее следует рассмотреть строение металлов, обратив внимание на их атомно-кристаллическое строение, полиморфизм и анизотропию, строение реальных кристаллов, влияние дислокаций и других несовершенств внутреннего строения металлов на их свойства. Излагая структурные составляющие металлических сплавов, основное внимание следует уделить железоуглеродистым сплавам. Необходимо рассмотреть диаграмму состояния железоуглеродистых сплавов, их структурные составляющие, использование диаграммы состояния для разработки режимов термической обработки и обработки давлением.

Учитывая важность механических свойств в оценке качества металлов, необходимо подробнее остановиться на механических испытаниях металлов (испытание на растяжение, твердость, удар, изгиб). Изучение последней темы целесообразно провести на лабораторных занятиях.

Излагая основы термической обработки стали, следует рассмотреть превращения в стали при нагреве и охлаждении, образование новых структур, обеспечивающих более высокие или специально заданные свойства изделий из металлов и сплавов. Далее следует кратко остановиться на видах термической обработки стали (отжиге, нормализации, закалке и отпуске), их сущности и режимах. Здесь же уместно рассмотреть химико-термическую обработку стали, а также наклеп, возврат и старение сталей.

После изучения строения и структуры металлов, методов их обработки и свойств, следует рассмотреть основные группы металлов, применяемых в строительстве. Это прежде всего стали: углеродистая обыкновенного качества, углеродистая качественная конструкционная, инструментальная, низколегированная конструкционная; некоторые виды чугуна и цветных металлов и сплавов. Изучение металлов, применяемых в строительстве, целесообразно провести на практических и лабораторных занятиях, привлекая соответствующую нормативную литературу (ГОСТы, ТУ и т. д.).

Очень важным является рассмотрение причин и сущности коррозии металлов и способов защиты от коррозии. Важно подчеркнуть, что коррозия металлов приносит огромные убытки народному хозяйству, поэтому

каждый строитель должен понимать сущность коррозии и знать методы защиты металла от коррозии.

Закончить изучение материалов главы о металлах следует ознакомлением с методами сварки и резки металлов, имея в виду широкое их применение в строительстве для изготовления металлических конструкций, арматурных каркасов для железобетонных сооружений как в монолитном, так и в сборном вариантах, а также для ремонта инженерной техники.

## Глава 10

### МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

#### 10.1. Общие сведения

● *Древесину издавна широко применяют в строительстве благодаря ряду положительных свойств: высокой прочности при небольшой плотности, малой теплопроводности; легкости обработки; простоте скрепления отдельных элементов; высокой морозостойкости и сопротивляемости действию многих химических реагентов.* Древесина имеет и ряд недостатков, снижающих ее строительные свойства: неоднородность строения; наличие пороков; гигроскопичность, приводящую к изменению размеров древесины, короблению и растрескиванию; склонность к загниванию и возгоранию.

СССР располагает почти четвертью мировой лесной площади. В отличие от богатств земных недр лес восстанавливается и при рациональном пользовании может стать неубывающим источником сырья. Велика роль леса в охране окружающей среды и оздоровлении воздушного бассейна, поэтому в нашей стране уделяется постоянное внимание восстановлению лесов в зонах промышленных разработок, а также разведению лесов в защитных водоохраных зонах.

При заготовке и переработке древесины образуются значительные отходы. На лесопильных заводах 8...12 % древесины превращается в опилки. При изготовлении строительных деталей опилки и стружки составляют до 40 %. Много древесины в виде опилок и сучьев теряется при заготовке стволов. Все это указывает на важность утилизации отходов.

В зависимости от степени переработки различают:

● **Лесные материалы**, получаемые только путем механической обработки стволов дерева (бревна, пиломатериалы). При таком использовании древесины сохраняются все присущие ей положительные и отрицательные свойства.

● **Готовые изделия и конструкции**, изготавливаемые в заводских условиях (сборные дома и детали, клееные конструкции и т. д.). Свойства древесины в этом случае используются более рационально.

● **Синтетические материалы из древесины**, получаемые глубокой переработкой древесины. При глубокой переработке появляется возможность полнее использовать древесину за счет увеличения выхода сырья для получения целлюлозы и материалов на ее основе, вовлечения в переработку почти всех отходов, даже и коры. На передовых деревообрабатывающих комбинатах коэффициент использования древесного сырья достигает 0,98. Используя отходы древесины совместно с клеями, синтетическими и минеральными вяжущими, можно изготавливать материалы и изделия, не уступающие по свойствам древесине и даже превосходящие ее (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, фанера на основе водостойких клеев, арболит и др.). При этом можно получить значительную экономию пиломатериалов (например, 1 м<sup>3</sup> древесноволокнистых плит заменяет 3...4 м<sup>3</sup> пиломатериалов).

Разумной мерой экономии древесины является замена ее в строительстве там, где это целесообразно, другими эффективными материалами (например, полимерными) и повышение ее долговечности.

## 10.2. Строение и состав древесины

Растущее дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Промышленное значение имеет ствол, так как из него получается от 60 до 90 % древесины.

● **Макроструктурой** называют строение ствола дерева, видимое невооруженным глазом или через лупу, микроструктурой — видимое под микроскопом. Обычно изучают три основных разреза ствола: поперечный (торцовый), радиальный, проходящий через ось ствола, и тангенциальный, проходящий по хорде вдоль ствола (рис. 10.1, а).

### ■ Макростроение древесины.

При рассмотрении разрезов ствола дерева невооруженным глазом или через лупу можно различить следующие основные его части: сердцевину, кору, камбий и древесину (рис. 10.1, б).

● **Сердцевина** состоит из клеток с тонкими стенками, слабо связанных друг с другом. Сердцевина совместно с древесиной первого года развития дерева образует сердцевинную трубку. Эта часть ствола дерева легко загнивает и имеет малую прочность.

● **Кора** состоит из кожицы или корки, пробковой ткани и луба. Корка или кожица и пробковая ткань защищают дерево от вредных влияний среды и механических повреждений. **Луб** проводит питательные вещества, от кроны в ствол и корни.

● Под лубяным слоем у растущего дерева располагается тонкий кольцевой слой живых клеток — **камбий**. Ежегодно в вегетативный период камбий откладывает в сторону коры клетки луба и внутрь ствола, в значительно большем объеме — клетки древесины. Деление клеток камбиального слоя начинается весной и заканчивается осенью.

● Поэтому **древесина ствола** (часть ствола от луба до сердцевины) в поперечном разрезе состоит из ряда концентрических так называемых годовичных колец, распо-

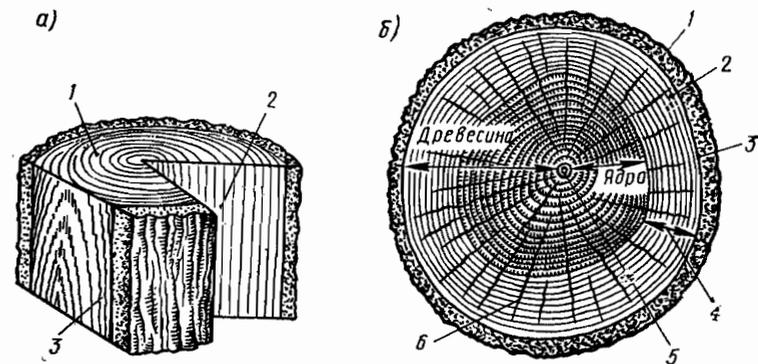
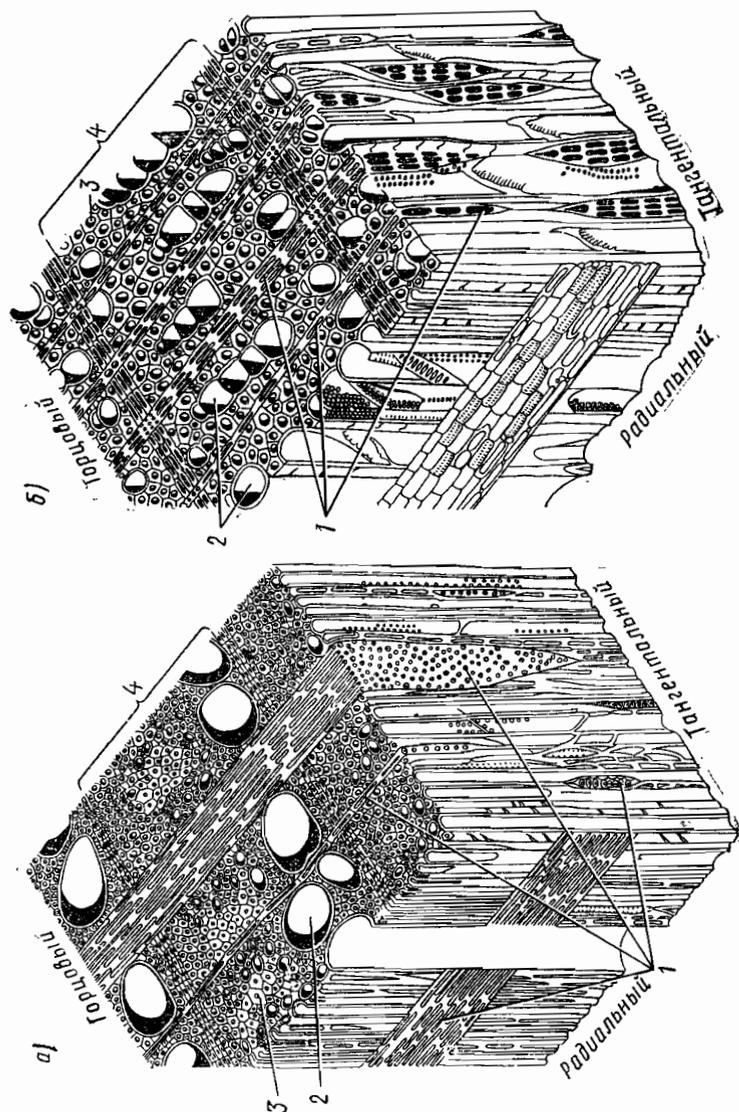


Рис. 10.1. Строение ствола дерева:

а — основные разрезы ствола; 1 — поперечный (торцовый); 2 — радиальный; 3 — тангенциальный; б — строение ствола дерева на поперечном разрезе; 1 — кора; 2 — камбий; 3 — луб; 4 — заболонь; 5 — сердцевина; 6 — сердцевинные лучи

Рис. 10.2. Схема микроскопического строения древесины лиственных пород:

*а* — кольцесудистых (дуб); *б* — рассеяно-сосудистых (береза); 1 — сердцевинные лучи; 2 — сосуды; 3 — либриформ; 4 — годичный слой



гающихся вокруг сердцевины. Каждое годичное кольцо состоит из двух слоев: *ранней (весенней)* древесины, образовавшейся весной или в начале лета, и *поздней (летней)* древесины, которая образуется к концу лета. Ранняя древесина светлая и состоит из крупных, но тонкостенных клеток; поздняя древесина более темного цвета, менее пориста и обладает большей прочностью, так как состоит из мелкополостных клеток с толстыми стенками.

В процессе роста дерева стенки клеток древесины внутренней части ствола, примыкающей к сердцевине, постепенно изменяют свой состав и пропитываются у хвойных пород смолой, а у лиственных — дубильными веществами. Движение влаги в древесине этой части ствола прекращается и она становится более прочной, твердой и менее способной к загниванию. Эту часть ствола, состоящую из мертвых клеток, называют у некоторых пород *ядром*, у других — *спелой древесиной*. Часть более молодой древесины ствола ближе к коре, в которой еще имеются живые клетки, обеспечивающие перемещение питательных веществ от корней к кроне, называют *заболонью*. Эта часть древесины имеет большую влажность, относительно легко загнивает, малопрочна, обладает большей усушкой и склонностью к короблению.

Породы, у которых ядро отличается от заболони более темной окраской и меньшей влажностью, называют *ядровыми* (сосна, лиственница, дуб, кедр и др.). Породы, у которых центральная часть ствола отличается от заболони только меньшей влажностью, называют *спелодревесными* (ель, пихта, бук, липа и др.). Древесные породы, у которых нельзя заметить значительного различия между центральной и наружной частями древесины ствола, носят название *заболонные породы* (береза, клен, ольха, осина и др.).

В древесине всех пород располагаются сердцевинные лучи, которые служат для перемещения влаги и питательных веществ в поперечном направлении и создания запаса этих веществ на зимнее время. У хвойных пород они обычно очень узки и видны только под микроскопом.

Древесина легко раскалывается по сердцевинным лучам, по ним же она растрескивается при высыхании.

#### ■ Микростроение древесины.

Изучая строение древесины под микроскопом, можно увидеть, что основную ее массу составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола (рис. 10.2, 10.3). Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении, т. е. поперек основных клеток (клетки сердцевинных лучей).

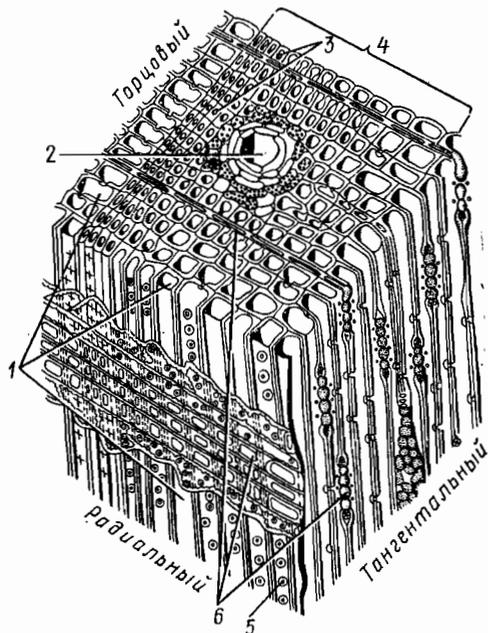


Рис. 10.3. Схема микроскопического строения древесины хвойных пород (сосны):

1 — ранние трахеиды; 2 — смоляной ход; 3 — поздние трахеиды; 4 — годичный слой; 5 — окаймленная пора; 6 — сердцевинные лучи

В древесине лиственных пород имеются мелкие и крупные сосуды, имеющие форму трубочек, идущих вдоль ствола. В растущем дереве по сосудам передвигается влага от корней к кроне. По распределению сосудов в поперечном сечении лиственных пород разделяют на *кольцесосудистые* (дуб, вяз, ясень и др.) и *рассеянно-*

*судистые* (бук, граб, ольха, береза, осина и др.) (см. рис. 10.2).

У хвойных пород сосудов нет, их функции выполняют удлиненные замкнутые клетки, называемые трахеидами (см. рис. 10.3). У большинства хвойных пород, преимущественно в слоях поздней древесины, расположены *смоляные ходы* — межклеточные пространства, заполненные смолой.

Одинаковые по форме и функциям группы клеток объединяются в ткани, имеющие различное назначение в жизни древесины: проводящие, запасующие, механические (табл. 10.1 и рис. 10.4).

Живая клетка имеет оболочку, протоплазму, клеточный сок и ядро. Срубленная древесина состоит из отмерших клеток, т. е. только из клеточных оболочек.

● *Оболочки клеток* (рис. 10.5) сложены из нескольких слоев очень тонких волоконцев, называемых микрофибриллами, которые компактно уложены и направлены по спиральям под разным углом к продольной оси клетки в каждом слое (сходство с канатом). Иногда микрофибриллы ориентированы по встречным спиральям. Микрофибрилла состоит из длинных нитевидных цепных молекул целлюлозы — высокомолекулярного природного полимера  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , где  $n > 2500$ , со сложным строением макромолекул. Макромолекулы целлюлозы эластичны и сильно вытянуты.

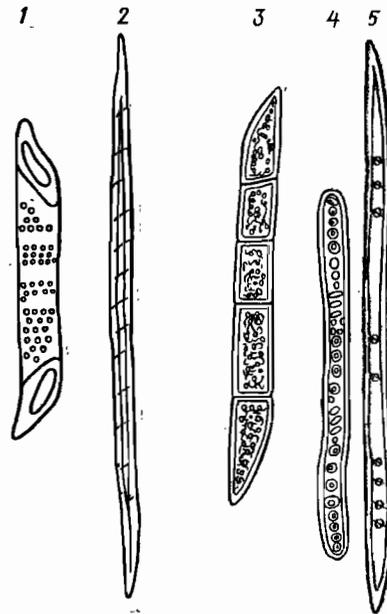
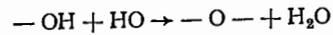


Рис. 10.4. Микроэлементы древесины:

1 — сосуды; 2 — клетки механической ткани (либриформа); 3 — клетки запасующей ткани; 4, 5 — трахеиды ранней и поздней древесины

В листьях дерева из углекислого газа и воды под действием солнечного света образуется глюкоза, хорошо растворяющаяся в воде и поступающая к клеткам камбия. В стенке клетки молекулы глюкозы соединяются между собой своими концами.



В результате реакции поликонденсации образующаяся кислородная связь  $-\text{O}-$  объединяет кольца глюкозы в макромолекулу целлюлозы:

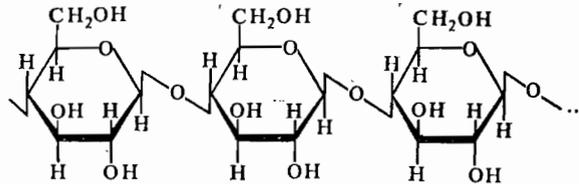


Таблица 10.1. Типы клеток древесины по выполняемым ими функциям

Типы клеток	Хвойные породы	Лиственные породы
Клетки проводящей ткани	Трахеиды весеннего слоя (рис. 10.4, 4), веретенообразные клетки, вытянутые вдоль ствола, имеют широкую полость и тонкую стенку. Оболочки клеток имеют поры, через которые клетки сообщаются друг с другом	Крупные полые клетки, стенки которых пронизаны мелкими отверстиями, образуют древесные сосуды в виде овальных трубочек, идущих вдоль ствола (см. рис. 10.4, 1)
Клетки механической (опорной) ткани	Трахеиды летнего слоя (рис. 10.4, 5) имеют строение и форму, аналогичные трахеидам весеннего слоя, но более толстостенные и прочные	Узкие клетки, вытянутые в длину с заостренными концами и сравнительно толстыми оболочками, образуют древесные волокна, называемые либриформ (рис. 10.4, 2). Эти элементы равномерно распределены по годичному слою, плотно соединены между собой, что и придает лиственным породам необходимую прочность

Типы клеток	Хвойные породы	Лиственные породы
-------------	----------------	-------------------

Клетки запасочной ткани

Различают запасочные клетки лучевую паренхиму. Древесная паренхима из тонкостенных клеток шаровидной формы, располагающихся в калевыми рядами: в них создаются запасочные веществ. Лучевая паренхима подобными же клетками (рис. 10.4, 6) располагается горизонтальными рядами, в виде лучей, выполняющие запасочные функции

В клеточной оболочке содержатся и другие полимеры — лигнин и гемицеллюлоза, мещаются преимущественно между микрофибриллами, а также небольшое количество неорганических веществ в виде солей щелочноземельных металлов.

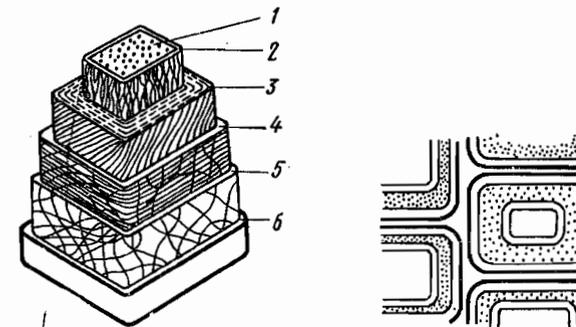


Рис. 10.5. Строение стенки клетки древесины  
1 — вакуоль; 2, 3, 4, 5 — слои целлюлозы; 6 — межклеточное пространство

### 10.3. Важнейшие свойства древесины

#### ■ Физические свойства древесины.

● **Истинная плотность** древесины всех пород различна, так как древесина не является однородным из одного вещества — целлюлозы. Истинная плотность древесины колеблется в зависимости от породы, но в среднем равна 1,54 г/см<sup>3</sup>.

● **Средняя плотность** древесины разных пород различна. Средняя плотность древесины одной и той же породы колеблется

широких пределах, поскольку строение и пористость растущего дерева зависят от почвы, климата и других природных условий. У большинства древесных пород в абсолютно сухом состоянии она меньше  $1 \text{ г/см}^3$ .

● **Пористость** древесины изменяется в широких пределах (от 30 до 80 %).

● **Гигроскопичность и влажность.** Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость, обладает огромной внутренней поверхностью, которая легко сорбирует водяные пары из воздуха (гигроскопичность). Влажность, которую приобретает древесина в результате длительного нахождения на воздухе с постоянной температурой и влажностью, называется *равновесной*. Она достигается в тот момент, когда упругость паров над поверхностью древесины оказывается равной упругости паров окружающей ее воздуха. Между равновесной влажностью древесины и параметрами окружающего воздуха (относительная влажность и температура) существует зависимость, которая выражается диаграммой (рис. 10.6).

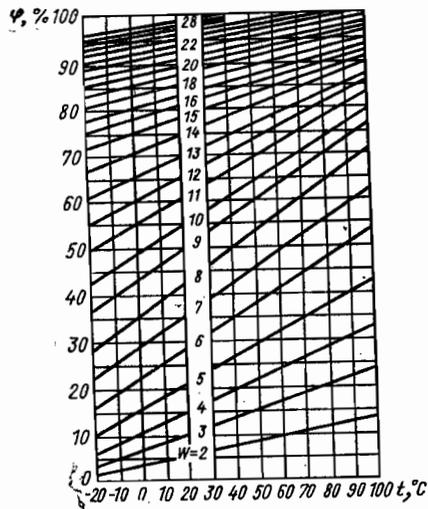


Рис. 10.6. Диаграмма зависимости влажности древесины от температуры и относительной влажности воздуха

По содержанию влаги различают мокрую древесину — с влажностью до 100 % и более; свежесрубленную — 35 % и выше; воздушно-сухую — 15...20 %; комнатно-сухую — 8...12 % и абсолютно сухую древесину, высушенную до постоянной массы при температуре  $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Стандартной принято считать влажность древесины 12 %.

Вода в древесине может находиться в трех состояниях — свободном, физически связанном и химически свя-

занном. Свободная или капиллярная вода заполняет полости клеток и сосудов и межклеточные пространства. Физически связанная или гигроскопическая вода находится в стенках клеток и сосудов древесины в виде тончайших гидратных оболочек на поверхности мельчайших элементов, слагающих стенки клеток.

Влажность древесины, при которой стенки клеток насыщены водой (предельное содержание гигроскопической влаги), а полости и межклеточные пространства свободны от воды (отсутствие капиллярной воды), называют *пределом гигроскопической влажности*. Для древесины различных пород она колеблется от 23 до 35 % (в среднем 30 %) от массы сухой древесины. Гигроскопическая вода, покрывая поверхность мельчайших элементов в стенках клеток водными оболочками, увеличивает и раздвигает их. При этом объем и масса древесины увеличивается, а прочность снижается. Свободная вода, накапливаясь в полостях клеток, существенно не изменяет расстояния между элементами древесины и поэтому не влияет на ее прочность и объем, увеличивая лишь массу, теплопроводность и теплоемкость.

● **Усушка, разбухание и коробление.** Как уже отмечалось, изменение влажности древесины от нуля до предела гигроскопической влажности вызывает изменение ее линейных размеров и объема — усушку или разбухание, величина которых зависит от количества испарившейся или поглощенной ею влаги и направления волокон (рис. 10.7). Вдоль волокон линейная усушка для большинства древесных пород не превышает 0,1 %, в радиальном направлении — 3...6 %, а в тангенциальном — 7...12 %. Разница в усушке древесины в тангенциальном и радиальном направлениях и неравномерность высыхания сопровождается возникновением внутренних напряжений в древесине, что может вызвать ее коробление

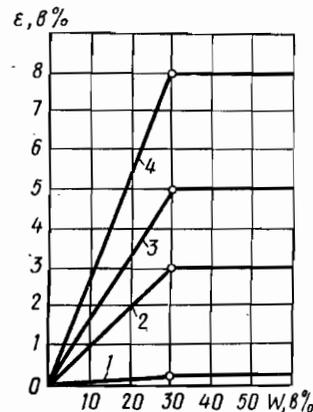


Рис. 10.7. Разбухание древесины при увлажнении:

1 — вдоль волокон; 2 — в радиальном направлении; 3 — в тангенциальном направлении; 4 — объемное

и растрескивание. Боковые края досок стремятся выгнуться в сторону выпуклости годовых слоев, а наибольшему короблению подвержены доски, выполненные из древесины, расположенной ближе к поверхности бревна, и широкие доски (рис. 10.8).

Степень усушки древесины характеризуется коэффициентом объемной усушки  $k_y$ , который вычисляют на 1% влажности с точностью 0,01% по формуле

$$k_y = U_{V_{\max}} / \omega_{п.г.в}, \quad (10.1)$$

где  $U_{V_{\max}}$  — объемная усушка;  $\omega_{п.г.в}$  — значение предела гигроскопической влажности.

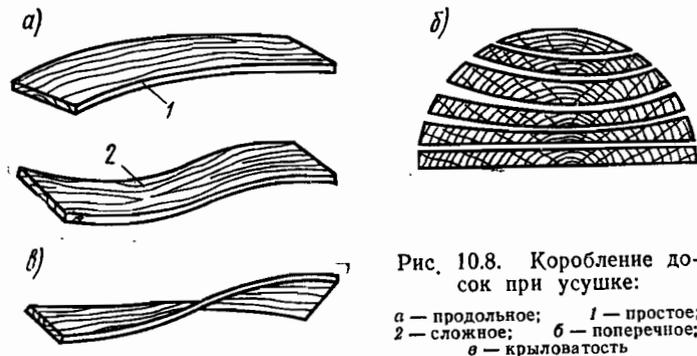


Рис. 10.8. Коробление досок при усушке:

а — продольное; 1 — простое; 2 — сложное; б — поперечное; в — крыловатость; д — крыловатость

Объемную усушку определяют без учета продольной усушки с точностью 0,1%:

$$U_{V_{\max}} = (ab - a_0 b_0) / ab, \quad (10.2)$$

где  $a$  и  $b$  — размеры поперечного сечения образца при влажности, соответствующей пределу гигроскопической влажности;  $a_0$  и  $b_0$  — то же, в абсолютно сухом состоянии.

По величине коэффициента объемной усушки ( $k_y$ , %) древесные породы (см. табл. 10.2) разделяют на группы: малоусыхающие ( $k_y < 0,40$ ), среднеусыхающие ( $k_y = 0,40 \dots 0,47$ ) и сильноусыхающие ( $k_y = 0,47$  и более).

● **Теплопроводность** древесины — материала высокопористого и волокнистого строения — относительно низкая. Однако вследствие анизотропности строения теплопроводность вдоль и поперек волокон отличается примерно в 2 раза [например, для сосны вдоль волокон —

0,35 Вт/(м·°С), а в поперечном направлении — 0,17 Вт/(м·°С)].

● **Стойкость к действию агрессивных сред**. В кислой среде древесина разрушается. В щелочной среде древесина разрушается при  $pH < 2$ . Слабощелочные среды не разрушают древесину. В морской воде древесина сохраняется значительно хуже, чем в пресной (особенно в озерной). В воде большой биологической агрессивности стойкость древесины низкая.

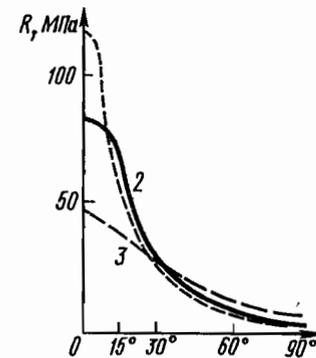


Рис. 10.9. Влияние наклона волокон древесины на ее прочность при растяжении 1, изгибе 2, сжатии 3

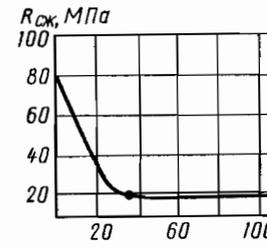


Рис. 10.10. Влияние наклона волокон древесины на прочность при сжатии вдоль волокон

### ■ Механические свойства древесины.

● **Прочность** древесины определяют путем испытания образцов малых чистых (без видимых пороков) древесины. Прочность древесины характеризуется пределом прочности при сжатии, растяжении, статическом скальвании. Кроме того, могут определяться предел прочности при местном смятии и предел прочности при перерезании поперек волокон.

Прочность древесины как анизотропного материала в большой степени зависит от того, под каким углом к волокнам направлена сила. Предел прочности при растяжении вдоль волокон в 30 раз больше, а при сжатии в 5...10 раз больше, чем поперек волокон.

Прочность древесины зависит также от ее влажности, средней плотности, косвенно характеризуется

риность древесины, наличия пороков и влажности (рис. 10.10). Как видно из рис. 10.10, прочность древесины понижается, когда ее влажность возрастает от 0 до 30 % (до предела гигроскопической влажности), при этом в интервале влажности 8..20 % понижение прочности прямо пропорционально приросту влажности:

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha (w - 12)], \quad (10.3)$$

где  $R_{12}$ ,  $R_w$  — предел прочности образцов соответственно при 12 %-ной и фактической влажности в момент испытаний;  $\alpha$  — коэффициент изменения прочности при изменении влажности на 1 %, при сжатии и изгибе  $\alpha=0,04$ , при скалывании  $\alpha=0,03$ ;  $w$  — влажность образца в момент испытаний, %.

Предел прочности древесины с влажностью в момент испытания равной или больше предела гигроскопической влажности приводят к влажности 12 % по формуле

$$R_{12} = R_w k_{12}, \quad (10.4)$$

где  $k_{12}$  — пересчетный коэффициент, имеющий различ-

Таблица 10.2. Основные физико-механические свойства некоторых пород древесины (среднее значение при влажности 12 %)

Порода дерева	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объемной усушки, %	Предел прочности, МПа, вдоль волокон при			
			растяжения	сжатия	скалывания радиальном	статическом изгибе
<i>Хвойные породы</i>						
Лиственница	660	0,52	125	64,5	9,9	111,5
Сосна обыкновенная	500	0,44	103,5	48,5	7,5	86
Ель	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
Пихта сибирская	375	0,39	67	39	6,4	68,5
<i>Лиственные породы</i>						
Дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	0,54	168	55	9,3	109,5
Бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	0,43	101	44	8,1	80,5
Осина	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78

ные значения для разных пород и вида испытаний (указан в соответствующих ГОСТах).

Основные физико-механические свойства древесины хвойных и лиственных пород, применяемых в строительстве, приведены в табл. 10.2.

Стандартные методы определения механических свойств на малых «чистых» образцах позволяют сравнивать между собой прочность древесины одной породы или разных пород и оценивать общее качество древесины из данного лесонасаждения. Вместе с тем фактическая прочность строительной древесины в элементах стандартных размеров (досок, брусьев, бревен), в которых имеются те или другие дефекты строения и другие особенности, может быть значительно ниже. Поэтому при нормировании допускаемых напряжений (расчетных сопротивлений) устанавливаются относительно большие коэффициенты запаса прочности.

По этой причине в отличие от других строительных материалов сорта лесоматериалов устанавливают не по прочности образцов, а на основании тщательного осмотра материала и оценки имеющихся в нем пороков.

#### 10.4. Пороки древесины

● *Пороками называют недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность использования.* Пороки образуются как при росте дерева, так и при хранении на складах и эксплуатации.

Степень влияния пороков на пригодность древесины для строительства зависит от их вида и места расположения, размеров поражения, а также характера и назначения лесопродукции. Один и тот же порок в некоторых видах лесопродукции делает древесину непригодной для строительных целей, а в других понижает ее сорт или не имеет существенного значения. Поэтому в стандартах на тот или другой вид лесопродукции имеются указания о допустимых пороках, на основании которых оценивают и сортируют лесоматериалы в зависимости от назначения.

Полная характеристика пороков и их влияния на качество древесины даны в ГОСТ 2140—81. Ниже приводится краткое описание наиболее часто встречающихся из них.

● *Сучки* — распространенный и неизбежный порок

древесины. Сучки являются частью (основанием) ветвей, заключенной в древесине, и нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон и годичных слоев, уменьшают рабочее сечение пиломатериалов, что понижает прочность древесины, затрудняя

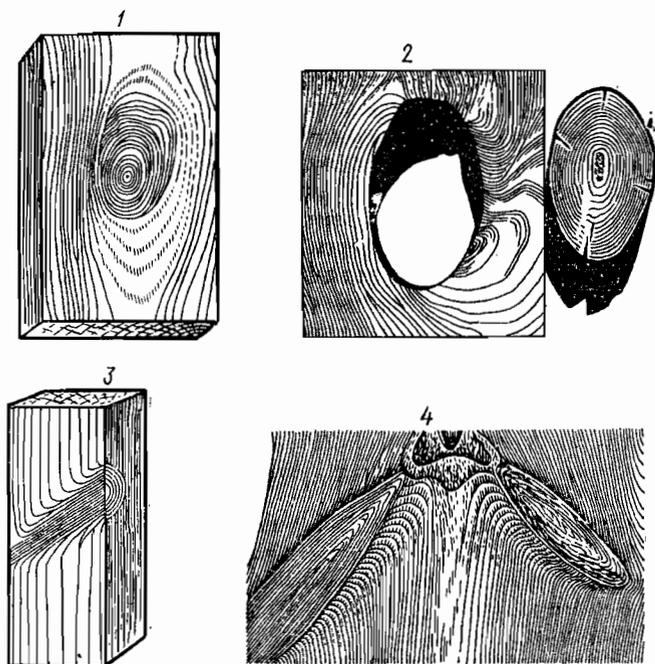


Рис. 10.11. Вид сучков по степени срастания с древесиной и по форме: 1 — сросшийся здоровый; 2 — выпадающий; 3 — сшивной; 4 — разветвленный (лапчатый)

ее механическую обработку и ухудшает внешний вид. В отдельных случаях понижение прочности достигает 30...40 %, а в тонких досках и брусках и более.

По степени срастания древесины сучков с древесиной ствола различают сучки следующих разновидностей: сросшиеся, частично сросшиеся и несросшиеся (рис. 10.11). *Сросшиеся и частично сросшиеся сучки* имеют годовые слои, сросшиеся или не полностью сросшиеся с окружающей древесиной. У несросшихся сучков годовичные слои не имеют срастания с окружающей древесиной.

Сюда же относятся выпадающие сучки и отверстия от них.

По состоянию древесины самого сучка различают здоровые сучки (светлые, темные, с трещинами), загнившие, гнилые и табачные.

*Здоровые сучки* имеют древесину твердую и плотную без признаков мягкой гнили. *Загнившие и гнилые сучки* окружены здоровой древесиной, но древесина самих сучков частично или полностью утратила первоначальную структуру и размягчилась (содержит мягкую гниль), хотя и сохраняет еще форму. *Табачные сучки* имеют совершенно выгнившую древесину, которая превратилась в рыхлую массу ржаво-бурого (табачного) или белесого цвета, распадающуюся в порошок при растирании пальцами.

Для изготовления несущих деревянных конструкций допускается древесина, имеющая лишь здоровые сросшиеся сучки, число и размеры которых ограничены для каждого сорта материала.

● *Трещины* представляют собой разрывы древесины вдоль волокон. Они могут появиться как на растущем дереве, так и при высыхании срубленного дерева. Они нарушают целостность лесоматериалов, уменьшают выход высоко сортной продукции, снижают прочность, а в некоторых случаях, например в мелком сорimente, делают их непригодными для строительных целей. Кроме того, трещины задерживают влагу в древесине, что создает условия для развития в ней грибков, вызывающих гниение.

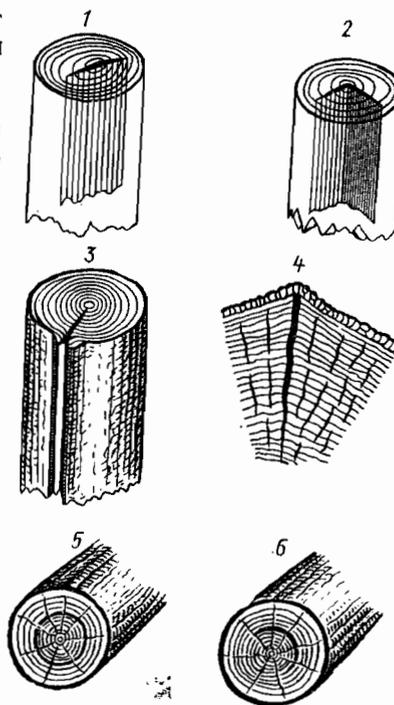


Рис. 10.12. Типы трещин:

1, 2 — метиковая простая и сложная;  
3, 4 — морозная открытая и закрытая;  
5, 6 — отлупная кольцевая и частичная

Различают следующие типы трещин: метиковые (простые и сложные), морозные, отлупные и трещины усушки (рис. 10.12). *Метиковые трещины* представляют собой внутренние продольные трещины. Простые метиковые трещины (одна или две) расположены на обоих торцах сортимента в одной плоскости. Сложные метиковые трещины расположены на торцах сортимента в разных плоскостях. Они возникают в растущем

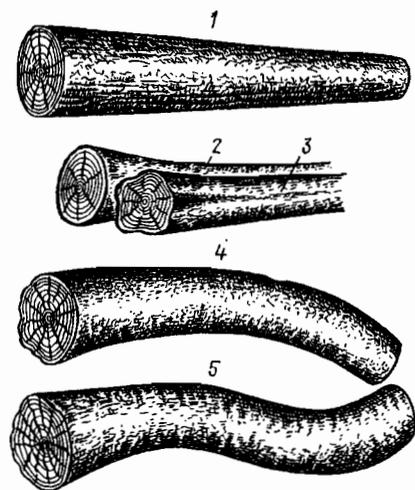


Рис. 10.13. Пороки формы ствола: 1 — сбежистость; 2, 3 — закомелстость округлая и ребристая; 4, 5 — кривизна простая и сложная

внутренних напряжений в процессе ее высыхания ниже предела гигроскопической влажности.

● *Пороки формы ствола* легко устанавливаются на растущем дереве и поэтому стволы деревьев, имеющие такие дефекты, могут быть заранее отбракованы или переведены в низший сорт. К этой группе пороков относятся сбежистость, закомелстость и кривизна ствола (рис. 10.13).

*Сбежистость* — значительное уменьшение толщины круглых лесоматериалов или ширины необрезных пиломатериалов на всем их протяжении, превышающее нормальный сбег (1 см на 1 м длины). Этот порок увеличивает количество отходов при распиловке и раскрое лесоматериалов.

Они возникают в растущем дереве и увеличиваются на срубленном при его высыхании. *Морозные трещины*, идущие вдоль ствола, возникают в растущем дереве. Они направлены радиально от внешней его части и суживаются к сердцевине. *Отлупные трещины* возникают в растущем дереве в результате сильного усыхания центральной части ствола или под действием мороза и проходят между годичными слоями.

*Трещины усушки* — радиально направленные трещины, возникающие в срубленной древесине под действи-

ем продукции. Пиломатериалы из сбежистых бревен получают со многими перерезанными волокнами и, следовательно, с меньшей прочностью.

*Закомелстость* — резкое увеличение диаметра комлевой части круглых материалов или ширины необрезной пилопродукции. Если в поперечном сечении закомелстость имеет форму круга, то ее называют округлой, а если звездно-лопастную, то ребристой. Закомелстость увеличивает отходы при распиловке и раскрое лесоматериалов, искусственно вызывает косослой.

*Кривизна* — искривление ствола дерева в одном или нескольких местах уменьшает выход пиломатериалов, изменяет направление волокон, а в ряде случаев переводит древесину в разряд дров.

● *Пороки строения древесины* представляют собой отклонения от нормального строения древесного ствола — наклон волокон, крень, свилеватость, двойная сердцевина и др. (рис. 10.14).

*Наклон волокон* (косослой) — непараллельность волокон древесины продольной оси сортимента. При наличии этого порока особенно при больших углах наклона волокон или годичных слоев наблюдается резкое снижение прочности древесины, затрудняется механическая обработка древесины, а пилопродукция отличается повышенной продольной усушкой и короблением.

*Крень* — местное изменение строения древесины, когда кольца поздней и ранней древесины имеют разную толщину и плотность по обе стороны от сердцевины. Сплошная крень захватывает половину и более площа-

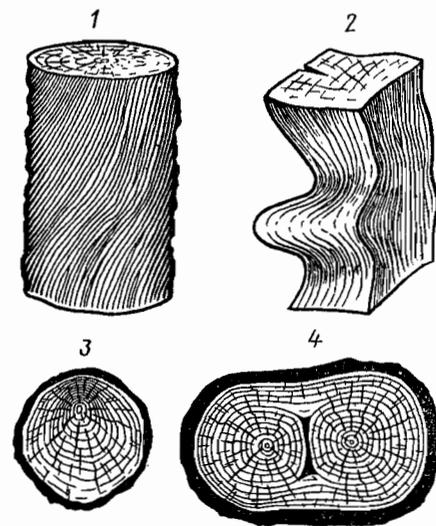


Рис. 10.14. Пороки строения древесины: 1 — наклон волокон; 2 — свилеватость; 3 — крень; 4 — двойная сердцевина

ди поперечного сечения ствола. Местная крень в виде узких дугообразных участков захватывает один или несколько годичных слоев. Крень нарушает однородность древесины.

*Свилеватость* — извилистое или беспорядочное расположение волокон древесины. Свилеватость снижает прочность древесины, затрудняет ее обработку, особенно строжку и теску. Свилеватая древесина некоторых пород (орех, карельская береза, ясень) имеет красивый рисунок текстуры, поэтому они используются в отделочных работах.

*Двойная сердцевина* характеризуется наличием двух, иногда и более, сердцевины в одном поперечном сечении ствола. Этот порок затрудняет обработку древесины, увеличивает количество отходов и склонность к растрескиванию.

● *Химические окраски* возникают в срубленной древесине в результате развития химических и биохимических процессов, связанных в большинстве случаев с окислением дубильных веществ (продубина — красновато-коричневого или бурого цвета, желтизна — светло-желтой окраски). Они расположены обычно в поверхностных слоях древесины и однородно окрашивают ее в бледные тона (светлые окраски) или в густые тона (темные окраски). На физико-механические свойства древесины такие окраски почти не влияют, но портят ее внешний вид.

● *Грибные поражения* вызываются простейшими растительными организмами — грибами, которые развиваются из спор, заносимых в древесину ветром, водой, насекомыми и т. п. Одни грибки изменяют только окраску древесины, почти не влияя на физико-механические свойства (*дервоокрашивающие*), другие не только изменяют цвет, структуру и свойства древесины, но и разрушают ее, образуя гниль (*дервоуничтожающие*).

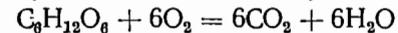
Питательной средой для дервоокрашивающих грибов служит только содержимое клеток. Эти грибы не затрагивают клетчатку и поражают преимущественно растущий лес и срубленную древесину, пока она не утратила своих соков (при хранении в лесу, на складах, транспортировании). К таким поражениям относят грибные ядровые и заболонные пятна и полосы разного цвета, плесень и др.

Питательной средой для дервоуничтожающих грибов, вызывающих гниение, является целлюлоза, слагающая

стенки клеток древесины. Такие грибы выделяют фермент, который превращает нерастворимую в воде целлюлозу (полисахарид) в растворимый моносахарид:



служащий для питания и дальнейшего развития грибов. В теле гриба моносахарид окисляется кислородом воздуха, образуя углекислый газ и воду:



Древесина при этом меняет окраску, масса ее уменьшается, нарушаются связи между волокнами, она покрывается сетью продольных и поперечных трещин и распадается на призматические или кубические участки или становится трухлявой.

Грибы могут существовать и развиваться только при определенных условиях — наличии кислорода (из воздуха), необходимой влажности (больше 20 %) и температуры (обычно 20...40 °С). Древесина с влажностью меньше 18...20 % не гниет, а в пораженной гнилью древесине при этих условиях процесс гниения прекращается. Приостанавливается гниение древесины и в воде (недостаток кислорода), и при отрицательных температурах. К этой группе грибных поражений относят ядровую (внутреннюю гниль), заболонную и наружную трухлявую гниль.

*Ядровая гниль*, возникающая в растущем дереве, имеет разновидности — пеструю ситовую, бурую трещиноватую, белую волокнистую (белую мраморную гниль). В срубленной древесине дальнейшее развитие пестрой гнили прекращается. Развитие бурой трещиноватой и белой волокнистой гнилей в непросушенной древесине может продолжаться.

*Заболонная гниль* возникает в сухостойной и срубленной древесине и может развиваться далее, если древесина будет находиться в местах с повышенной влажностью.

*Наружная трухлявая гниль* возникает в заболони и ядре лесоматериалов при их длительном неправильном хранении под воздействием сильных дервоуничтожающих грибов. Такая же гниль появляется при неблагоприятной эксплуатации деревянных изделий и конструкций в зданиях и сооружениях, если не обеспечены условия, исключающие их увлажнение, и другие мероприятия (см. ниже). В последнем случае разрушение древесины вызывают так называемые домовые грибы

(настоящий домовый, белый домовый, домовый пленчатый), которые в благоприятных условиях для своего развития могут разрушить древесину в очень короткий срок (несколько месяцев).

Сортность древесины с гнилью в зависимости от размеров поражения снижается вплоть до ее полной технической непригодности.

Так как благоприятные условия для развития опасных и безвредных грибов примерно одинаковы, а различить их друг от друга без лабораторных испытаний трудно, то наличие на древесине признаков грибных поражений всегда требует принятия мер по их ликвидации.

● *Повреждения насекомыми* (червоточина) представляют собой ходы и отверстия, проделанные в древесине насекомыми. По глубине червоточина разделяется на *поверхностную, неглубокую, глубокую и сквозную*, а по размеру отверстий — на *некрупную* (диаметр отверстий меньше 3 мм) и *крупную* (диаметр отверстий более 3 мм).

Поверхностная червоточина не влияет на механические свойства древесины и при распиловке уходит в отходы, поэтому она допускается в пиломатериалах и в фанерном сырье. Другие виды червоточины нарушают целостность древесины и снижают ее механические свойства, а также стойкость против загнивания, так как насекомые могут занести споры грибов. Такую древесину не применяют для изготовления несущих конструкций.

### 10.5. Сушка древесины

● *Сушка древесины* — одна из основных мер, предупреждающих понижение качества древесины (предохраняет от загнивания, увеличивает прочность, уменьшает плотность и склонность к изменению формы и размеров).

● *Естественную сушку* осуществляют на открытом воздухе, под навесами или в закрытых помещениях до воздушно-сухого состояния, т. е. до влажности 15...20 %. Атмосферная сушка — длительный (несколько недель и даже месяцев) и трудно регулируемый процесс, но она проста и не требует затрат на подогрев теплоносителя.

● *Искусственную сушку* производят в сушильных камерах, в электрическом поле высокой частоты, в горячих жидких средах и контактным способом. Ее можно проводить в любое время года до любой конечной влажности и в короткие сроки (несколько дней или даже ча-

сов). При этом обеспечивается высокое качество высушенной древесины за счет полной регулируемости процесса и исключается возможность поражения древесины грибной инфекцией и насекомыми.

● *Камерную сушку* осуществляют в сушилках периодического и непрерывного действия. В качестве теплоносителя используют подогретый воздух, пар, дымовые газы.

● *Сушка в электрическом поле высокой частоты* обусловлена нагревом древесины, помещенной между сетчатыми электродами, к которым подводят ток высокой частоты. Так как поверхность древесины имеет более низкую температуру вследствие испарения влаги, то находящаяся в древесине вода интенсивно перемещается изнутри материала наружу. Это дает возможность высушивать древесину очень быстро (в 10...20 раз быстрее, чем при камерной сушке). Такой вид сушки требует большого расхода электроэнергии и дороже камерной сушки, поэтому его применяют для сушки высококачественной древесины.

● *Сушка в нагретых жидких средах*, в частности в петролатуме, предложена А. И. Фоломиным. Петролатум — отход, получаемый при депарафинизации нефтяных масел, в воде не растворяется и не смешивается. При нагревании до 130...140 °С петролатум превращается в подвижную жидкость, в которую и погружается просушиваемая древесина. Находящаяся в древесине влага превращается в пар и удаляется. В петролатуме древесина сушится в несколько раз быстрее (несколько часов), чем в сушильных камерах, причем материал не растрескивается и не коробится. Недостатком такого способа сушки является большой расход петролатума и загрязнение им древесины. По стоимости этот способ примерно равноценен камерной сушке.

● *Контактную сушку* используют для сушки тонких сортиментов древесины (например, шпона, фанеры). Она осуществляется между периодически смыкающимися горячими плитами пресса или на роликовых установках.

### 10.6. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания

■ **Предохранение древесины от гниения и разрушения насекомыми.**

Для предупреждения загнивания древесины прини-

мают ряд конструктивных мер, цель которых предохранить ее от увлажнения (древесину изолируют от грунта, камня и бетона, делают каналы для проветривания, защищают от атмосферных осадков и т. п.). Когда мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения, ее пропитывают *антисептиками* — химическими веществами, которые убивают грибы или создают среду, в которой их жизнедеятельность становится невозможной.

Антисептики должны обладать высокой токсичностью (ядовитостью) по отношению к дереворазрушающим грибам, но быть безвредными для людей и животных; сохранять высокую токсичность в течение заданного срока; легко проникать в древесину, не ухудшая ее физико-механических свойств и не вызывая коррозию металлических креплений; не иметь неприятного запаха; быть стойкими при повышенных температурах и в процессе обработки древесины. Они должны быть относительно дешевыми и не дефицитными.

Для антисептирования древесины используют водорастворимые, органикорастворимые и маслянистые антисептики, а также антисептические пасты.

● *Водорастворимые антисептики* применяют для обработки древесины, которая в процессе эксплуатации защищена от непосредственного увлажнения и вымывающего действия воды.

*Фторид натрия*  $\text{NaF}$  — порошок белого цвета, без запаха. Применяют в растворах 3...4 %-ной концентрации для антисептирования деревянных элементов, а также материалов и изделий из древесных стружек, опилок, камыша. При соприкосновении с известковыми, цементными и гипсовыми материалами фторид натрия теряет свои ядовитые свойства, переходя в нерастворимый фторид кальция.

*Кремнефторид натрия*  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  — белый или серый порошок, по действию сходный с фторидом натрия. Применяют совместно с кальцинированной содой, фторидом натрия и в силикатных пастах.

*Кремнефторид аммония*  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$  — легко растворимый порошок белого цвета, без запаха, по токсичности превосходит фторид натрия, повышает огнестойкость древесины, но вызывает слабую коррозию металла.

*Препараты ХХЦ* (смесь хлорида цинка и натриевого или калиевого хромпика) и *МХХЦ* (смесь хлорида цинка, хромпика и медного купороса) трудно вымываются водой, но окрашивают древесину в желто-зеленый цвет и вызывают коррозию черных металлов, а при больших концентрациях несколько снижают прочность древесины.

*Препарат ГР-48* — антисептик на основе пентахлорфенола, без запаха, хорошо растворяется в воде. Его применяют в растворе 1... 1,5 %-ной концентрации для поверхностной защиты пиломатериалов, в частности от синевы и плесени.

● *Органикорастворимые препараты типа ПЛ* (растворы пентахлорфенола в легких нефтепродуктах) и *типа НМЛ* (растворы наftenата меди в легких нефтепродуктах) являются высокотоксичными антисептиками, хорошо проникающими в древесину. Препараты второго типа окрашивают древесину в зеленый цвет и затрудняют ее склеивание. В качестве растворителей применяют зеленое масло, мазут, керосин и сольвентнафту. Препараты ПЛ используют также для усиления токсичности маслянистых антисептиков.

● Из *маслянистых антисептиков* наиболее широко используют масло каменноугольное (креозотовое и антраценовое) и сланцевое. Оба эти продукта — жидкости темно-коричневого цвета с резким запахом и сильными антисептическими свойствами. Водой они не выщелачиваются, металл не корродируют, но окрашивают древесину в темно-бурый цвет. Основное назначение — глубокая пропитка деревянных элементов, находящихся на открытом воздухе, в земле или воде (шпалы, части мостов, сваи, подводные сооружения и др.).

● *Антисептирующие пасты* готовят из водорастворимого антисептика (фторид или кремнефторид натрия), связующего вещества (битума, глины, жидкого стекла и др.) и наполнителя (чаще всего торфяного порошка). Антисептическими пастами защищают элементы из древесины с начальной влажностью не менее 40 % и элементы, увлажнение которых происходит в процессе эксплуатации (концы балок, столбов и др.). Элементы открытых сооружений, обработанные пастой, защищают гидроизоляционным покрытием. Растворяясь в воде, антисептик, входящий в состав пасты, проникает внутрь древесины и предохраняет ее от загнивания.

● *Пропитку древесины антисептиками* осуществляют поверхностной обработкой, в горяче-холодных ваннах и под давлением.

● *При поверхностной обработке* раствор антисептика наносят на поверхность древесины кистями или краскопультом за 2...3 раза. Иногда практикуют погружение сухой древесины в ванну с раствором антисептика, что позволяет пропитать ее несколько глубже.

● *Пропитка древесины по методу горяче-холодных ванн* имеет наибольший эффект. Древесину или конструкцию из нее сначала погружают в горячий раствор антисептика с температурой 90...95 °С. При этом воздух, находящийся в порах и сосудах древесины, нагревается,

расширяется и частично удаляется. Затем древесину переносят в ванну с холодным раствором или откачивают горячий раствор, а в ванну подают холодный с температурой 20...30 °С. В ванне с холодным раствором объем оставшегося в древесине воздуха уменьшается, вследствие чего внутри древесины создается разрежение, за счет которого и происходит впитывание антисептика.

● *Пропитка под давлением* осуществляется в специальных герметических цилиндрах-автоклавах. Вначале в автоклаве создается вакуум, благодаря чему из древесины удаляется воздух. Затем автоклав наполняют подогретым антисептиком и доводят жидкостное давление до 0,6...1,5 МПа. Создание вакуума, а затем жидкостного давления обеспечивает быструю и наиболее глубокую, часто сплошную пропитку древесины.

● Основной способ борьбы с дереворазрушающими насекомыми на складах лесоматериалов — *содержание склада в соответствии с санитарными требованиями, а также своевременная окорка круглых лесоматериалов*. Однако древесина может поражаться насекомыми и в сооружениях. В этом случае борьба с ними ведется *химическими средствами*, путем обработки древесины ядовитыми веществами — инсектицидами, убивающими насекомых и их личинки. Древесину обрабатывают *инсектицидами пропиткой, опрыскиванием, обмазкой, опылением порошками или окуриванием газами*. Для этих целей используют уже описанные маслянистые антисептики и препараты на органических растворителях, а также порошок и пасту ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), раствор хлорофоса (диметилтрихлороксиэтилфосфоната), хлородан в виде дуста и эмульсии и другие вещества, а также некоторые газы (хлорпикрин).

#### ■ **Защита древесины от возгорания.**

При зажигании древесины пламенем возгорание происходит при температуре 260...290 °С, а при нагреве выше 350 °С газы, выделяющиеся из древесины, способны возгораться даже при отсутствии открытого пламени. При длительном нагреве эти температуры понижаются. Для предупреждения возгорания принимают специальные меры, которые сводятся: к *конструктивным* (удаление деревянных элементов от источников нагревания, устройство огнестойких перегородок и стен); *покрытию деревянных элементов штукатуркой или облицовкой малотеплопроводными и негорячими материалами* (асбестовыми и др.); *окрашиванию деревянных конструк-*

*ций огнезащитными красками или пропитке древесины специальными веществами — антипиренами.*

Огнезащитные краски содержат связующее вещество, наполнители и антипирены. Например, в силикатных красках связующим служит растворимое стекло, а наполнителем — молотый кварцевый песок, мел, магнезит. Составные компоненты таких красок образуют стекловидные пленки, которые предотвращают доступ кислорода воздуха к древесине и защищают ее от возгорания.

Для защиты от огня скрытых деревянных элементов зданий и сооружений (стропил, обрешетки и др.) используют огнезащитные пасты на основе глины, извести, гипса, суперфосфата, которые после высыхания образуют негорячий слой толщиной 2...3 мм.

Огнезащитное действие антипиренов основано на том, что одни из них при нагревании древесины создают оплавленную пленку, закрывая доступ кислорода к древесине, другие при высокой температуре выделяют негорючие газы, оттесняющие воздух от поверхности древесины и одновременно разбавляющие горючие газы, выделенные из самой древесины при нагревании. В качестве антипиренов применяют буру  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , хлористый аммоний, фосфорнокислые натрий и аммоний, сернокислый аммоний. Обработка древесины антипиренами производится теми же методами, что и антисептирование.

Большинство антисептиков и химикатов для защиты древесины от насекомых и возгорания вредно действуют на организм человека, вызывая отравление, ожоги. При обращении с ними нужно соблюдать требования охраны труда и техники безопасности.

### 10.7. Основные породы древесины, применяемые в строительстве

#### ■ **Хвойные породы.**

Широкое применение в строительстве хвойных пород (сосны, ели, лиственницы, меньше — кедра и пихты) объясняется их большой территориальной распространённостью, высотой и прямизной стволов, повышенным по сравнению с некоторыми лиственными породами качеством, в частности стойкостью против загнивания.

● *Сосна* — ядровая порода, ядро буровато-красного цвета, заболонь желтовато-белого. Сосна занимает около 1/6 площади всех лесов СССР. Различают рудовую

сосну, растущую на возвышенных песчаных местах, и мяндовую, растущую на низменных местах. Рудовая сосна имеет плотную мелкослойную смолистую древесину. У мяндовой сосны древесина крупнослойная, рыхлая с широкой заболонью и поэтому ниже качеством, чем у рудовой сосны. Сосну используют для изготовления деревянных несущих конструкций, столбов, свай, шпал, столярных изделий, фанеры и т. д.

● *Ель* занимает  $\frac{1}{8}$  покрытой лесом площади. Наибольшее хозяйственное значение имеют два вида ели — европейская (обыкновенная) и сибирская. Древесина ели имеет однородный белый цвет со слабым желтоватым оттенком, широкую заболонь и спелую древесину, не отличающуюся по цвету от заболони. Древесина ели мягкая, легкая, как у сосны, но с меньшим содержанием смолистых веществ, что снижает сопротивляемость ее загниванию. Наличие в древесине ели большого количества твердых сучков затрудняет ее механическую обработку.

Применяют ель для тех же целей, что и сосну, но с учетом ее пониженной стойкости к загниванию.

○ *Лиственница* имеет ядро красновато-бурого цвета и узкую заболонь белого цвета. Древесина лиственницы мелкослойная. Прочность, твердость и средняя плотность лиственницы выше, чем у сосны и ели, примерно на 30 %. Она отличается повышенной глиноустойкостью, но склонна к растрескиванию. Лиственница особенно ценится в гидротехническом строительстве и мостостроении; из нее изготавливают шпалы и рудничные стойки. Лиственница произрастает главным образом в Сибири и на Дальнем Востоке, что ограничивает ее использование в центральной зоне страны.

● *Кедр* имеет ядро светло-бурого цвета и широкую заболонь, мало отличающуюся по цвету от ядра. Древесина кедра мягкая и легкая, ее механические свойства ниже, чем сосны. Применяют кедр в виде круглого леса и пиломатериалов, для столярных изделий и отделки мебели — в виде декоративной фанеры.

● *Пихта* по древесине схожа с елью, но не имеет смоляных ходов. Легко загнивает, поэтому в строительстве применяют наравне с елью, но не используют во влажных условиях эксплуатации.

#### ■ Лиственные породы.

Лиственные породы имеют стволы менее правильной формы и более сбежистые, чем хвойные. В строительстве

более широкое применение получили дуб, ясень, береза, осина, ольха, бук, липа, тополь.

● *Дуб* — кольцесосудистая порода, имеющая ярко выраженное ядро от светло- до темно-бурого цвета и узкую светло-желтую заболонь. Древесина дуба характеризуется высокой прочностью и стойкостью против гниения, красивой текстурой и цветом, но дает значительную усушку и склонна к растрескиванию. В строительстве дуб используют для изготовления ответственных конструкций в гидротехнических сооружениях, в мостостроении, а также для изготовления паркета, ножевой фанеры столярных изделий (оконные переплеты, двери и т. п.) и ответственных деталей несущих конструкций, в особенности работающих под нагрузкой, направленной поперек волокон (опорные подушки, прокладки, шпонки и др.). Для отделочных и декоративных работ ценным является *мореный дуб* черного или темно-серого цвета, который получают при длительном выдерживании дуба под водой.

● *Ясень* — ядровая порода, по виду и строению древесины напоминает древесину дуба, но более светлой окраски. Древесина ясеня отличается высокой прочностью и вязкостью, малой склонностью к растрескиванию, красивой текстурой, хорошо сохраняется на воздухе и в воде, но легко загнивает в условиях переменной влажности. Применяют наравне с дубом, но в условиях, не опасных для гниения.

● *Береза* является самой распространенной в наших лесах лиственной породой. Порода заболонная, имеет древесину белого цвета с легким желтоватым или красноватым оттенком, твердую и прочную, но легко загнивающую, особенно в условиях повышенной влажности. Из нее изготавливают фанеру, некоторые столярные изделия и т. п. Карельскую березу, имеющую свилеватое расположение волокон, широко используют в отделочных работах и мебельном производстве.

● *Осина* — заболонная порода, как и береза, произрастает повсеместно. Древесина осины однородного белого цвета, мягкая, легкая, менее прочная, чем у березы. При высыхании не коробится и мало трескается, но во влажном состоянии легко загнивает. В строительстве ее используют для возведения временных сооружений, а также для получения фанеры.

● *Бук* — спелодревесная порода. Древесина бука белого цвета с красноватым оттенком, очень прочная,

с красивой текстурой на радиальном разрезе, хорошо гнется, но подвержена загниванию в условиях повышенной и переменной влажности, а при высушивании — короблению и растрескиванию. Бук применяют для изготовления паркета, фанеры, шпал и т. п., а также в мебельном производстве.

● *Ольха* — заболонная порода с мягкой древесиной, склонной к загниванию. Используют как и березу.

● Другие лиственные породы (*липа, клен, тополь*) в строительстве используют как местные материалы и главным образом для временных и неответственных построек и подсобно-вспомогательных изделий, а также в других отраслях народного хозяйства.

### 10.8. Материалы и изделия из древесины

Путем механической, механико-химической и химической переработки ствола, корней и кроны дерева получают так называемые товары. По способу получения лесные товары разделяют на семь групп: лесоматериалы; модифицированная древесина; композиционные древесные материалы; сырье для лесохимических производств; целлюлоза, бумага и древесноволокнистые материалы; продукция гидролизного и дрожжевого производства; продукция лесохимических производств.

Для строительных целей используют в основном товары первой группы — лесоматериалы, а также композиционные древесные материалы и модифицированную древесину.

● По способу механической обработки *лесоматериалы* разделяют на: круглые; пиленные материалы; лучше; фрезерованные (строганные); колотые, производимые разделением древесины вдоль волокон клиновидным инструментом; измельченные (щепа, опилки стружки), получаемые в процессе обычного пиления и фрезерования или специальной переработкой древесины.

● *Композиционные древесные материалы* (листовые, плитные и другого вида) получают с помощью связующих (вяжущих) веществ из предварительно разделенной на части древесины (фанера, столярные плиты, древесностружечные плиты, древеснослоистые пластики, фибролит и др.).

● *Модифицированная древесина* — цельная древесина с направленно измененными свойствами (прессован-

ная древесина, пластифицированная аммиаком, модифицированная синтетическими смолами и др.).

#### ■ **Круглые лесоматериалы.**

Ствол поваленного дерева, опиленный от корневой части и очищенный от сучьев, называют *хлыстом*. Процесс деления хлыстов на части называют *раскряжевкой*. При раскряжевке хлыстов получают отрезки разной длины — бревна, кряжи и чураки. В строительстве используют главным образом бревна, как в круглом виде, так и в качестве сырья для выработки пиломатериалов.

Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру верхнего отруба) разделяют на мелкие, средние и крупные. *Мелкие*, называемые часто *подтоварником*, имеют диаметр 6...13 см, *средние* — 14...24 см, *крупные* — 26 см и более. Более тонкие части ствола или тонкий лес (3...7 см) строители называют жердями. Длина бревен — 3...6,5 м, с градацией — через 0,5 м.

В зависимости от качества древесины и дефектов обработки круглые лесоматериалы разделяют на четыре сорта. В строительстве преимущественно используют бревна 2-го и 3-го сортов.

#### ■ **Пиломатериалы и заготовки.**

● *Пиломатериалы* по геометрической форме и размерам поперечного сечения делят на *пластины, четвертины, брусья, бруски, доски, горбыль* (рис. 10.15). Брусья имеют толщину и ширину более 100 мм; бруски — толщину до 100 мм и ширину не более двойной толщины; доски — толщину до 100 мм, ширину более двойной толщины. По характеру обработки пиломатериалы делят на *обрезные* и *необрезные*. У необрезных пиломатериалов кромки не пропилены. По степени обработки пиломатериалы разделяют на *нефрезерованные* и *фрезерованные* (строганные). При толщине материалов до 32 мм их называют *тонкими*, при большей толщине — *толстыми*. Тонкие доски называют еще *тесом*.

Пиломатериалы хвойных пород изготавливают длиной 1...6,5 м с градацией 0,25 м. Доски и бруски разделяют на пять сортов (отборный; 1, 2, 3 и 4-й); брусья отборного сорта не имеют. В строительстве используют все сорта, а в столярном производстве 1-го и 2-й сорта. Ширина пиломатериалов увязана с толщиной и максимально может быть: у досок — 250 мм, брусков — 200 мм, брусьев — 250 мм.

Пиломатериалы лиственных пород изготавливают дли-

ной 0,5...6,5 м с градацией через 0,25 м. По качеству эти пиломатериалы разделяются на три сорта.

● *Заготовки* — это доски и бруски, прирезанные применительно к заданным размерам и качеству древесины, используемой для изготовления деталей с припусками на механическую обработку и усушку. Заготовки по видам обработки различают: *пиленные* — полученные путем пиления; *клееные* — изготовленные путем склеивания из нескольких более мелких заготовок; *калиброванные* —

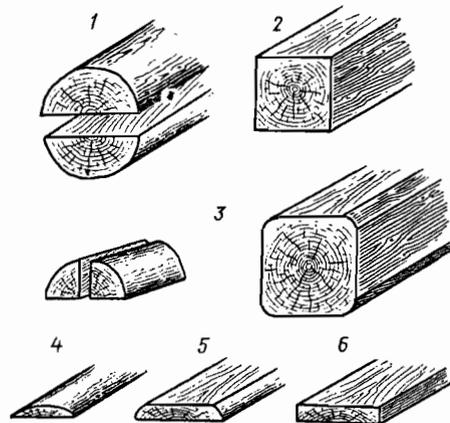


Рис. 10.15. Виды пиломатериалов:

1 — пластины; 2 — брусья; 3 — четвертина;  
4 — горбыль; 5 — необрезная доска; 6 — чисто-  
обрезная доска

обработанные до заданных размеров. В строительстве широко используют также заготовки, имеющие после фрезерования специальную форму сечения (плинтусы, наличники, обшивки, поручни и т. п.).

■ **Строительные детали и изделия из древесины.**

● *Детали деревянные фрезерованные* (погонажные детали) для строительства представляют собой элементы небольшого поперечного сечения, обработанные путем фрезерования на станках: доски и бруски для покрытия полов, плинтусы, наличники, поручни, обшивки и раскладки (рис. 10.16). Доски и бруски для полов на одной кромке имеют паз, на другой — гребень, что обеспечивает плотность и жесткость пола. Плинтусы служат

для оформления углов между полом и стенами, а наличники для оформления дверных и оконных коробок и закрытия щели между коробкой и стеной.

● *Столярные плиты* (рис. 10.17) состоят из внутреннего щита, изготавливаемого из узких реек (основа) и наклеенного на щит с обеих сторон шпона в один или два слоя (лицевой и оборотный слои). Щиты плит изготавливают из древесины хвойных и мягких лиственных пород (березы и др.), широко используют отходы производства (горбыль, рейки и др.). Столярные плиты могут иметь

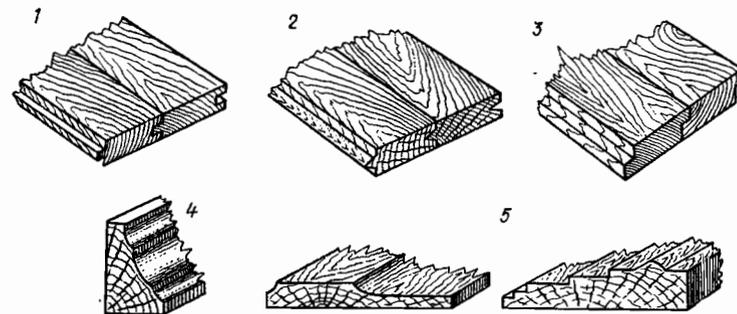


Рис. 10.16. Строганный и профилированный погонаж:

1, 2 — шпунтованные доски с прямоугольным и треугольным пазом и гребнем;  
3 — фальцованные доски (в четверть); 4 — плинтус; 5 — наличники

длину до 2500 мм, ширину — до 1525 мм, толщину — до 30 мм. В строительстве такие плиты применяют при изготовлении дверей, перегородок, полов, а иногда и стен в жилых зданиях, а также щитовой мебели.

● *Паркетные изделия* разделяют на штучный паркет, паркетные доски, паркетные щиты и мозаичный (наборный) паркет.

*Штучный паркет* состоит из отдельных планок (дощечек), имеющих на кромках и торцах шпунт (паз и гребень) для соединения между собой. Он прост в изготовлении, но требует значительного расхода сырья и затрат труда на изготовление и укладку, что сказывается на его себестоимости.

*Паркетные доски* — двухслойные изделия. 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. Кромки паркетных до-

сок в нижнем слое имеют пазы и гребни, с помощью которых доски соединяют между собой. Паркетные доски изготовляют длиной 1200...3000 мм, шириной 145 и 160 мм и толщиной 25...27 мм. Паркетные доски имеют ряд преимуществ по сравнению со штучным паркетом: меньше расход древесины ценных пород, прочная наклея паркетных планок, возможность механизации и автоматизации их производства, резко снижается трудоемкость и ускоряется процесс настилки паркетного пола. Недостатком пола из паркетных досок является однотонность рисунка.



Рис. 10.17. Столярная планка:

$l$  — длина;  $b$  — ширина;  $\delta$  — толщина

Паркетные щиты состоят из деревянного основания, собранного из брусков и верхнего лицевого покрытия из паркетных планок одинаковой ширины, наклеенных на основание в виде квадратных элементов, располагаемых в шахматном порядке. Щиты между собой соединяются на вкладные торцовые шпонки или в паз — гребень. Паркетные

щиты выпускают размером  $400 \times 400$  и  $800 \times 800$  мм.

Мозаичный (наборный) паркет представляет собой ковер, набранный из планок одинаковой ширины в виде взаимно перпендикулярных квадратов и наклеенных лицевой пластью на бумагу, которая снимается вместе с клеем после укладки паркета на основание пола.

● **Фанера** представляет собой слоистый листовый материал, состоящий, как правило, из нечетного числа слоев, называемых шпонами и получаемых лущением или строганием отрезков ствола древесины (чураков). Смежные шпоны имеют взаимно перпендикулярное расположение волокон и склеиваются между собой горячим или холодным прессованием. Такая конструкция фанеры обеспечивает ей ряд преимуществ по сравнению с пиломатериалами. Она имеет почти равную прочность во всех направлениях, мало коробится и не растрескивается; сквозных трещин в ней не бывает, легко гнется.

В строительстве применяют фанеру трех видов: клееную, декоративную и бакелизованную.

Клееную фанеру изготовляют следующих марок: ФСФ — клеенная фенолформальдегидными клеями, обладающая повышенной водостойкостью; ФК и ФБА — клеенная карбамидными или альбумино-казеиновыми клеями, средней водостойкости. По виду обработки поверхности фанера может быть нешлифованной или шлифованной с одной или двух сторон. Фанера считается изготовленной из той породы древесины, из которой выполнены ее наружные слои. По числу слоев шпона различают трех-, пяти- и многослойную фанеру, толщиной 1,5...18 мм и размером листа до  $2400 \times 1525$  мм. Фанеру марки ФСФ применяют для обшивки наружных стен, кровельных работ, изготовления несущих и ограждающих конструкций, опалубки при возведении монолитных бетонных конструкций, а других марок — для устройства внутренних перегородок и обшивки стен и потолков внутренних помещений и т. п.

Декоративная фанера (ДФ) клеена из трех или более листов лущеного шпона из березы, ольхи, липы, осины или тополя и облицована пленочным покрытием из смол в сочетании с декоративной бумагой или без нее. Декоративную фанеру выпускают четырех марок (ДФ-1, ДФ-2, ДФ-3, ДФ-4). У фанеры ДФ1 и ДФ-3 облицовочное покрытие прозрачное, не укрывающее текстуру натуральной древесины, а у фанеры ДФ-2 и ДФ-4 — непрозрачное, с декоративной бумагой, имитирующей текстуру ценных пород древесины или с другим рисунком. Декоративную фанеру применяют для внутренней отделки стен, перегородок, дверных полотен, встраиваемой мебели и т. п.

Бакелизованную фанеру изготовляют из листов березового лущеного шпона, склеенных фенол- или крезолформальдегидными смолами. Эта фанера обладает повышенной водо- и атмосферостойкостью и прочностью. Ее применяют для изготовления легких конструктивных элементов.

● Из столярно-строительных изделий наиболее широко применяют оконные и дверные блоки и столярные перегородки и панели для жилых и гражданских зданий.

Столярные перегородки и панели по конструкции выполняют филенчатыми, состоящими из рамки-обвязки с филенками, и щитовыми, изготовленными из столярных плит или досковых заготовок.

Оконные и дверные блоки обычно поступают на строительство в полной готовности с навешенными полотнами и створками, окрашенными и застекленными. Столярные перегородки и панели собирают на месте строительных работ и скрепляют с помощью плинтусов, карнизов и раскладок.

Щитовые двери (рис. 10.18) для жилых и общественных зданий представляют собой деревянную рамку, заполненную сплошным или мелкопустотным заполнением и облицованную с обеих сторон шпоном, твердой дре-

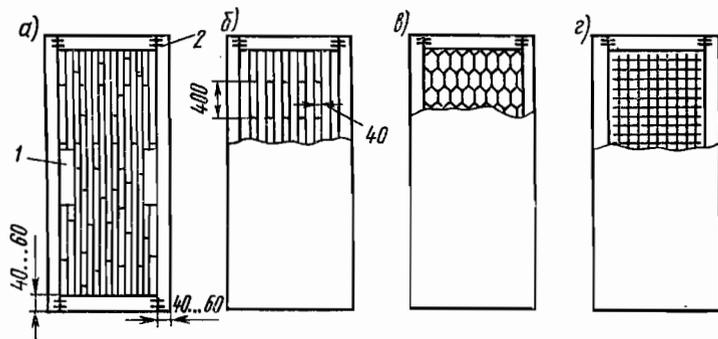


Рис. 10.18. Заполнение щитов дверных полотен:

а — сплошное деревянными брусками; б — деревянными брусками с разряжением; в — мелкопустотное из шпона; г — мелкопустотное из фанеры (решетка)

весноволокнистой плитой или фанерой. Сплошное заполнение дверей изготовляют из деревянных брусков, а мелкопустотное заполнение в виде ячеек, образуемых из полосок фанеры, твердой древесноволокнистой плиты, бумажных сот и т. п. Двери изготовляют также из древесностружечных плит. Полотна дверей окрашивают масляной краской, эмалями или имитируют под древесину ценных пород пленкой или текстурной бумагой.

● *Элементы и детали сборных конструкций* из древесины изготовляют на специализированных деревообрабатывающих заводах и доставляют на строительство в готовом виде. К ним относятся комплекты для сборных деревянных домов (брусковых, каркаснообшивных, каркасно-щитовых), детали и элементы конструкций для зданий из других материалов (балки для междуэтажных и чердачных перекрытий, щиты для наката и перегород-

док и т. п.); конструкции для зданий и сооружений другого назначения (арки и части металлодеревянных ферм, сваи, шпунт, мостовые брусья и т. д.).

Номенклатура деревянных деталей и конструкций постоянно расширяется за счет роста выпуска клееного сортамента.

● *Клееными конструкциями* называют крупногабаритные элементы, изготовляемые на заводах путем склеивания сравнительно небольших деревянных заготовок друг с другом, а иногда и с другими материалами (рис. 10.19). Использование клееных конструкций — один из наиболее эффективных путей использования древесины в строительстве. Клееные деревянные детали и конструкции, изготовленные на высокопрочных и водостойких полимерных клеях, отличаются меньшей массой, большими прочностью, водостойкостью, био- и огнестойкостью, чем обычные конструкции из деревянных элементов, соединенных с помощью врубок, шпонок, гвоздей, и т. п. Они почти не подвержены усушке и короблению, так как при их изготовлении из древесины удаляются все слабые, имеющие пороки места и заготовки склеиваются в наиболее выгодном положении, чтобы ослабить влияние анизотропности строения древесины. Такие конструкции экономичны, поскольку для их изготовления используется маломерная и разносортная древесина.

Клееные конструкции изготовляют на специализированных предприятиях с высоким уровнем механизации и автоматизации. Технологический процесс изготовления клееных конструкций обычно включает подготовку древесины, склеивание и отделку конструкций.

На стадии подготовки древесины ее сушат и нарезают на заготовки толщиной 20...40 мм, удаляя все слабые участки, имеющие пороки.

Процесс склеивания конструкций складывается: из склеивания заготовок по длине, сборки заготовок в пакет, придания пакету требуемой формы, его запрессовки и окончательного склеивания. Прямолинейные конструкции (например, балки) изготовляют на автоматизированных линиях, а конструкции сложной конфигурации склеивают на стендах с помощью винтовых прессов. Прочность клееного шва на синтетических клеях превосходит прочность самой древесины.

При отделке клеенные конструкции обрезают по формату, их поверхность шлифуют и покрывают лакокрасочными материалами для защиты от увлажнения,

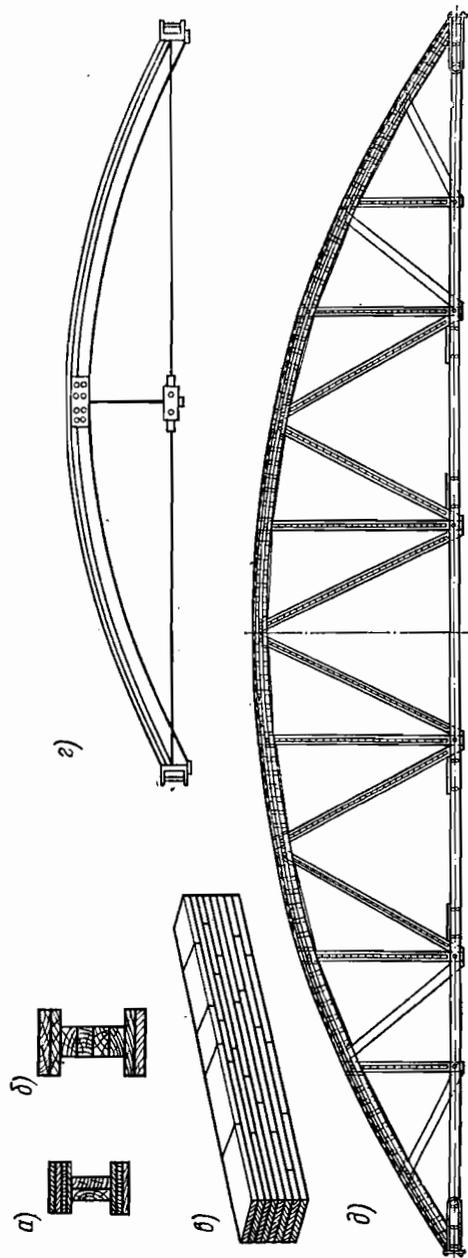


Рис. 10.19. Виды клееных изделий:

а, б — двутавровые балки, в — блок из досок; г — клееная арка из полуарок; д — клееная ферма

а при необходимости покрывают огнезащитными лаками.

Достижения химии и прогрессивной технологии позволяют использовать отходы древесины для производства и других эффективных композиционных материалов и изделий — древесностружечных и древесноволокнистых плит, фибrolита, арболита и др. (см. гл. 11 и 13).

### 10.9. Методика преподавания материалов и изделий из древесины

Лесные материалы занимают видное место среди строительных материалов, а в жилищном строительстве сельских местностей нередко являются основными материалами. Поэтому учащиеся учебных заведений, готовящих специалистов любой квалификации для строительства, в той или другой степени (в зависимости от специальности) изучают эту группу материалов и изделий из них. Преподавание этого раздела курса целесообразно начинать с объяснения причин широкого применения древесины с давних времен в строительстве. В связи с этим необходимо кратко ознакомить учащихся с положительными и отрицательными свойствами древесины, показать богатство и разнообразие лесных сырьевых ресурсов в нашей стране. Здесь же следует обратить внимание учащихся на важность сохранения лесных массивов для охраны среды обитания, на необходимость максимальной экономии в расходовании лесных материалов (в том числе использование отходов) и замену их другими эффективными материалами и конструкциями, например железобетонными и изделиями из пластических масс.

Главным для строителя является знание свойств древесины. Отчетливо зная свойства древесины, можно всегда выбрать такие приемы практического применения лесоматериалов, при которых отрицательные их свойства не будут заметны, а положительные использованы с наибольшей полнотой. Это позволит строителю при выполнении деревянных конструкций избежать ошибок, которые могут привести к быстрому выходу из строя таких конструкций. Но знание свойств невозможно без изучения макро- и микростроения древесины и пороков, оказывающих большое влияние на строение древесины и ее свойства. Разделение лесоматериалов по сортам и оценка возможности их применения для тех или иных

строительных конструкций производятся не только на основании испытаний на прочность, а прежде всего на основании отсутствия или наличия в этих материалах тех или других пороков. Поэтому строитель должен быть хорошо знаком с важнейшими пороками древесины.

В связи с этим дальнейшее изложение материала целесообразно вести, придерживаясь следующей логической схемы: строение (макро и микро), состав, пороки древесины, свойства древесины, их связь со строением и зависимость свойств от влажности и других факторов. Изучение материала рекомендуется завершить рассмотрением основных видов лесных пород и изделий из них, а также мероприятий и способов увеличения срока службы древесины в сооружениях. Степень подробности изложения указанных вопросов зависит как от вида учебного заведения (техникум, ПТУ), так и от будущей строительной специальности учащегося. В частности, в ПТУ, готовящих плотников, столяров, мебельщиков и т. п., изучению сортамента лесоматериалов уделяется значительно больше внимания, чем для других строительных специальностей, вплоть до детальной конкретизации: номенклатуры материалов и изделий; требований ГОСТов к древесине и самим материалам и изделиям; видов и способов защиты древесины от гниения, возгорания и т. д. В связи с этим особое внимание учащихся следует обратить на виды и режимы сушки древесины, особенности хранения и перевозки лесных материалов и изделий из них.

Для успешного выполнения лабораторных и практических занятий преподавателю необходимо разработать описание и методику лабораторных работ, выдать их учащимся заранее, чтобы, придя в лабораторию, они знали, для чего, что и как делать, сумели в порядке подготовки к занятию по учебнику и пособиям восполнить пробелы в своих знаниях.

Самоконтроль и контроль знаний рекомендуется проводить теми же средствами, что и при изучении других разделов курса.

### 11.1. Теплоизоляционные материалы и изделия

● *Строительные материалы для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного и энергетического оборудования и трубопроводов называют теплоизоляционными.* Такие материалы имеют низкую теплопроводность [не более  $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ] и небольшую плотность (не выше  $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ). Применение теплоизоляционных материалов является одним из важнейших направлений технического прогресса в строительстве. При этом появляется возможность резко снизить массу конструкций и затраты на сооружение зданий, рационально использовать энергетические ресурсы.

Применение в строительстве облегченных кирпичных стен с эффективными утеплителями взамен сплошной кирпичной кладки позволяет в 2...2,5 раза сократить потребность в кирпиче, цементе и извести, в 3 раза снизить массу конструкций, транспортные расходы и до 30 % снизить стоимость стен.

Теплоизоляционные материалы позволяют создать легкие стеновые панели, конструкции легких покрытий. Это дает возможность повысить степень индустриализации строительных работ.

Весьма эффективным является использование теплоизоляционных материалов для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. Удельный вес теплоизоляционных работ в жилищно-гражданском строительстве составляет около 1 %, в промышленном строительстве он возрастает до 1,8 %, в том числе в строительстве электростанций и нефтехимических объектов — до 2,5...3 %. Применение теплоизоляционных материалов в этом случае позволяет снизить расход топлива за счет уменьшения теплопотерь, а в ряде случаев интенсифицировать технологические процессы, улучшить условия и повысить производительность труда. Очень важно использование теплоизоляционных материалов в различных холодильных установках для снижения потерь холода, так как стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз выше стоимости получения соответствующей единицы теплоты.

● Важной характеристикой теплоизоляционных материалов является *теплопроводность*, по величине которой их делят на три класса: *малотеплопроводные* — класс А [меньше 0,058 Вт/(м·°С)]; *среднетеплопроводные* — класс Б [0,058...0,116 Вт/(м·°С)]; *повышенной теплопроводности* — класс В [не более 0,18 Вт/(м·°С)].

● Вследствие сложности определения теплопроводности на практике теплоизоляционные материалы обычно классифицируют по *плотности*, значения которой с известной степенью приближения дают представление о теплопроводности материала. Все теплоизоляционные материалы по плотности (кг/м<sup>3</sup>) делят на особо легкие (ОЛ), имеющие марки: 15, 25, 35, 50, 75, 100; легкие (Л) — 125, 150, 175, 200, 250, 300 и тяжелые (Т) — 400, 450, 500, 600. Материал, имеющий среднюю плотность, не совпадающую с показателями марок, относится к ближайшей большей марке.

● По *виду исходного сырья* теплоизоляционные материалы могут быть: *неорганические* (минеральные и стеклянная вата, ячеистые бетоны, материалы на основе асбеста, керамические и др.) и *органические* (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, камышит, торфяные плиты, материалы из пластмасс и др.). Изготавливают также *комбинированные* материалы, состоящие из неорганического и органического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическим связующим).

● По *внешнему виду и форме* теплоизоляционные материалы делят на *сыпучие* и *штучные*. Сыпучие материалы представляют собой рыхлые массы порошкообразного, зернистого или волокнистого строения. В сухом виде их используют для засыпки в полости стен, междуэтажных перекрытий (минеральная вата, керамзитовый гравий). Некоторые порошкообразные материалы затворяют водой и в виде мастик наносят на изолируемую поверхность трубопроводов и горячего оборудования (асбошунит, совелит и т. п.). Штучные материалы имеют форму и носят название теплоизоляционных изделий. Их выпускают в виде плит, листов, блоков, кирпича, фасонных изделий (сегменты, скорлупы), войлока, матов, рулонов, шнуров и других изделий. Применение штучных изделий для теплоизоляции позволяет улучшить качество теплоизоляционных ограждений, снизить трудовые

затраты, стоимость и повысить уровень индустриализации строительных работ по сравнению с использованием засыпок или мастичной изоляции.

● В зависимости от *жесткости* (относительной деформации сжатия) под удельной нагрузкой 2 кПа теплоизоляционные материалы делят на *мягкие* М (сжимаемость более 30 %), *полужесткие* ПЖ — соответственно 6...30 %, *жесткие* Ж — менее 6 %, *повышенной жесткости* — до 10 % (при удельной нагрузке 4 кПа) и *твердые* — также до 10 % (при удельной нагрузке 10 кПа).

● По *характеру применения* различают материалы, используемые для изоляции конструкций, находящихся в обычных температурных условиях (*строительные теплоизоляционные материалы*), и для изоляции горячих поверхностей (*монтажные теплоизоляционные материалы*). Некоторые теплоизоляционные материалы пригодны как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей (минеральная и стеклянная вата, пеностекло, ячеистые бетоны и др.).

#### ■ Строение и свойства.

Из всех сред, не считая безвоздушного пространства, самой малой теплопроводностью обладает воздух, особенно когда он заключен в порах материала, т. е. неподвижен [0,023 Вт/(м·°С)]. Если поры крупные и тем более сообщающиеся между собой и внешней средой, то происходит конвекционное передвижение воздуха и теплопроводность материала увеличивается. Поэтому материалы для тепловой изоляции изготавливают высокопористыми и по возможности мелкопористыми, а следовательно, и легкими. При этом межпорное пространство, занимаемое твердым веществом («каркас»), стремятся создавать из веществ, имеющих аморфное, а не кристаллическое строение, так как материалы стеклообразного строения менее теплопроводны, чем кристаллического. Обычно пористость теплоизоляционных материалов более 50 %, а некоторые наиболее эффективные теплоизоляционные материалы, например ячеистые пластмассы, как бы построены из воздуха (поры занимают 90...98 %, а стенки пор — всего лишь 2...10 % от общего объема).

Теплоизоляционные материалы могут иметь ячеистое, зернистое, волокнистое и пластинчатое строение. Необходимую пористость создают различными технологическими приемами.

● Для материалов *ячеистого строения* характерны однородные и равномерно распределенные поры, форма

которых обычно близка к сферической. Для получения материалов ячеистого строения (ячеистые бетоны, пеностекло, газонаполненные пластмассы и т. п.) используют способы газовыделения и пенообразования.

● **Зернистое строение** имеют сыпучие материалы. Пористость сыпучей массы зависит от ее зернового состава. Чем однороднее по форме и размерам зерна, тем больше просветы между ними и тем выше пористость материала в насыпном виде. При изготовлении сыпучих порошкообразных теплоизоляционных материалов применяют механическое дробление и помол исходного сырья, получая продукт с примерно одинаковым размером зерен.

● **Волокнистое строение** присуще материалам из минерального или органического волокна (асбеста, минеральной и стеклянной ваты, растительных волокон и др.). Основным способом получения высокопористого строения для таких материалов является создание волокнистого каркаса с тонкими воздушными слоями, разделяющими волокна. Органические волокна получают механическим расщеплением древесины или другого растительного сырья. Минеральное волокно получают путем расплавления неорганического сырья с последующим превращением расплава в волокна.

● **Пластинчатое строение** характерно для материалов, содержащих в своем составе листочки слюды, которые предварительно при быстром нагревании вспучиваются за счет отщепления у слюды связанной воды (вспученный вермикулит).

● **Способ высокого водозатворения** иногда используют для получения пористой структуры. В формовочную массу (например, из трепела или диатомита) добавляют заведомо много воды, которая удаляется в процессе сушки и обжига изделий, оставляя вместо себя поры. Этот способ сочетается с введением выгорающих добавок при производстве теплоизоляционных керамических изделий.

● **Пористость** определяет основные свойства теплоизоляционных материалов: плотность, теплопроводность, прочность, газопроницаемость и др. Важное значение имеет равномерное распределение воздушных пор в материале и характер пор, а также химический состав и молекулярное строение каркаса и условия применения теплоизоляционного материала.

● **Теплопроводность** является главной характери-

кой теплозащитных свойств материала. На практике удобно судить о теплопроводности по плотности сухого материала. Однако эта зависимость (рис. 11.1) приближенна, поскольку не учитывает влияние химического состава и молекулярного строения материала и характер пористости. При одинаковом или близком химическом составе теплопроводность материалов, имеющих кристаллическое строение, выше, чем материалов аморфного и смешанного строения. Например, средняя теплопроводность отдельного кристалла кварца  $7 \dots 8$  Вт/(м·°С), у песчаника, имеющего смешанное строение и содержащего примеси, —  $2,1 \dots 2,9$  Вт/(м·°С), а у обычного стекла, имеющего аморфное строение, в среднем  $0,76$  Вт/(м·°С).

При равной пористости более высокими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры вследствие уменьшения передачи теплоты конвекцией и излучением. Особенно это необходимо учитывать при выборе материалов для высокотемпературной изоляции. Это важно и потому, что теплопроводность возрастает с повышением средней температуры, при которой происходит передача теплоты от одной поверхности ограждения к другой. Изменение теплопроводности при изменении температуры у различных материалов происходит с разной скоростью. В расчетах теплоизоляции всегда надо учитывать ее значение, соответствующее данной рабочей температуре.

Увлажнение и тем более замерзание воды в порах материала ведет к резкому увеличению теплопроводности, так как теплопроводность воды [ $0,58$  Вт/(м·°С)] примерно в 25, а льда [ $2,32$  Вт/(м·°С)] в 100 раз боль-

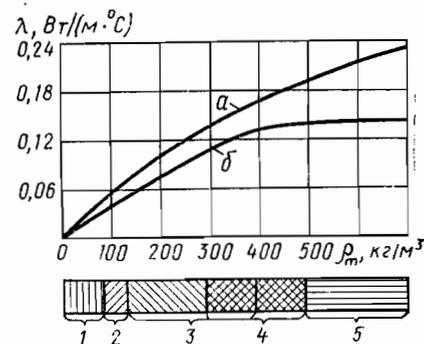


Рис. 11.1. Зависимость теплопроводности теплоизоляционных материалов от средней плотности:

а — неорганические материалы; б — органические материалы; 1 — пористые пластмассы; 2 — минеральная вата; 3 — изделия из минеральной ваты, вспученного перлита и вермикулита, древесноволокнистые и древесностружечные плиты, пеностекло; 4 — ячеистые бетоны, фибролит; 5 — диатомовый кирпич, перлитобетон, вермикулитобетон

ше, чем воздуха. Поэтому теплоизоляционные материалы необходимо предохранять от увлажнения.

Теплопроводность материалов с волокнистым и слоистым строением зависит от направления потока теплоты. Например, для дерева теплопроводность вдоль волокон примерно в 2 раза выше, чем теплопроводность поперек волокон.

● **Прочность** теплоизоляционных материалов вследствие их пористого строения относительно невелика. Предел прочности при сжатии обычно колеблется от 0,2 до 2,5 МПа. Материалы, у которых прочность при сжатии выше 5 МПа, называют теплоизоляционно-конструктивными и используют для несущих ограждающих конструкций. Для ряда теплоизоляционных изделий основной характеристикой является предел прочности при изгибе (плиты, скорлупы, сегменты) или при растяжении (маты, войлок, асбестовый картон и т. п.). Во всех случаях требуется, чтобы прочность теплоизоляционного материала была достаточной для его сохранности при транспортировании, складировании, монтаже и работе в конкретных эксплуатационных условиях.

● **Температуростойкость** оценивают предельной температурой применения теплоизоляционного материала. Выше этой температуры материал изменяет свою структуру, теряет механическую прочность и разрушается, а органические материалы могут загораться. Предельную температуру применения теплоизоляционных материалов устанавливают (в целях предосторожности) несколько ниже значения температуростойкости и всегда указывают в технической характеристике материала.

● **Теплоемкость** материала имеет существенное значение в условиях частых теплосмен, так как в этих случаях необходимо учитывать теплоту, поглощаемую (аккумулированную) теплоизоляционным слоем. Теплоемкость неорганических материалов колеблется от 0,67 до 1 кДж/(кг·°С). С увеличением влажности материала его теплоемкость резко возрастает, так как для воды при 4 °С она очень высокая — 4,2 кДж/(кг·°С). Увеличение теплоемкости наблюдается и при повышении температуры.

● **Химическую и биологическую стойкость** теплоизоляции повышают, применяя различные защитные покрытия. Высокопористое строение теплоизоляционных материалов способствует прониканию в них жидкостей, газов и паров, находящихся в окружающей среде, которые,

взаимодействуя с материалом, разрушают его. Органические теплоизоляционные материалы или содержащие в своем составе органические связующие вещества (крахмал, клей и т. п.) должны обладать биологической стойкостью. Так как жизнедеятельность различных микроорганизмов возможна во влажной среде, основным условием повышения биостойкости теплоизоляционных материалов является устранение причин, вызывающих их увлажнение, а также обработка материалов антисептиками.

Теплоизоляционные материалы и изделия, используемые в конструкциях стен зданий и холодильников, в процессе эксплуатации могут подвергаться попеременному замораживанию и оттаиванию. В этом случае к ним предъявляются требования по морозостойкости такие же, как к стеновым материалам.

#### ■ **Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия.**

Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия изготовляют на основе минерального сырья (горных пород, шлака, стекла, асбеста). К этой группе относят минеральную, стеклянную вату и изделия из них, некоторые виды легких бетонов на пористых заполнителях (вспученном перлите и вермикулите), ячеистые теплоизоляционные бетоны, пеностекло, асбестовые и асбестосодержащие материалы, керамические и др. Эти материалы используют как для утепления строительных конструкций, так и для изоляции горячих поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов.

● **Минеральная вата** и изделия из нее по объему производства занимает первое место среди теплоизоляционных материалов. Этому способствует наличие сырьевых ресурсов для их получения в виде горных пород (доломита, известняка, мергелей, базальта и др.), шлаков и зол; простота технологического процесса; небольшие капиталовложения при организации производства. Минеральная вата состоит из искусственных минеральных волокон. Производство ее включает две основные технологические операции — получение расплава и превращение его в тончайшие волокна. Расплав получают, как правило, в шахтных плавильных печах — вагранках или ваннных печах. Превращение расплава в минеральное волокно производят дутьевым или центробежным способом. При дутьевом способе выходящий из печи расплав разбивается на мелкие капельки

струей пара или воздуха, которые вдуваются в специальную камеру и в полете сильно вытягиваются, превращаясь в тонкие волокна диаметром 2...20 мкм. При центробежном способе струя жидкого расплава поступает на быстровращающийся диск центрифуги и под действием большой окружной скорости сбрасывается с него и вытягивается в волокна.

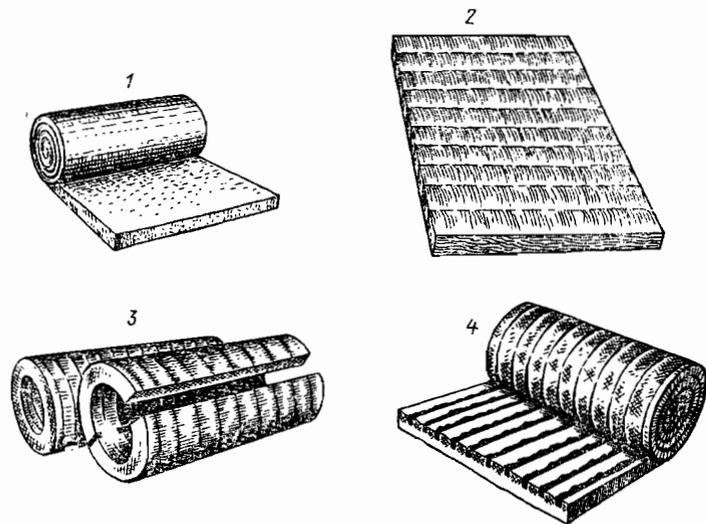


Рис. 11.2. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты:  
1 — войлок; 2 — полужесткая плита; 3 — скорлупы; 4 — прошивной мат

Плотность минеральной ваты 75...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,042...0,046 Вт/(м·°С). Вата не горит, не гниет, ее не портят грызуны, она малогигроскопична, морозостойка и температуростойка. Минеральную вату применяют для теплоизоляции как холодных (до -200 °С), так и горячих (до +600 °С) поверхностей, чаще в виде изделий: войлока, матов, полужестких и жестких плит, скорлуп, сегментов. Иногда вату используют в качестве теплоизоляционной засыпки пустотелых стен и перекрытий, для чего ее гранулируют, т. е. превращают в рыхлые комочки в дырчатом барабане.

Минеральный войлок выпускают в виде листов и рулонов из минеральной ваты, слегка пропитанной дисперсиями синтетических смол и спрессованной (рис. 11.2).

Плотность войлока 100...150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,052 Вт/(м·°С). Листы и полотнища минерального войлока применяют для утепления стен и перекрытий в кирпичных, бетонных и деревянных домах.

Минеральные маты представляют собой минераловатный ковер, заключенный между битуминизированной бумагой, стеклотканью или металлической сеткой, прошитый прочными нитями или тонкой проволокой (см. рис. 11.2). Длина матов до 500 см, ширина до 150 см, толщина до 10 см. Плотность матов 100...200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,058 Вт/(м·°С). Маты применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий, их используют также для утепления свежееуложенных бетонов и растворов при строительстве в холодное время года.

Минераловатные полужесткие плиты (рис. 11.2, 2) изготовляют из минерального волокна путем распыления на него связующего (синтетических смол или битума) с последующим прессованием и термообработкой для сушки или полимеризации. Плотность плит в зависимости от вида связующего и уплотнения 75...300 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводность 0,041...0,07 Вт/(м·°С). Полужесткие изделия применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и горячих поверхностей оборудования при температуре до 200...300 °С, если изделия изготовлены на синтетическом связующем, и до 60 °С — на битумном связующем.

Минераловатные жесткие изделия получают смешиванием минеральной ваты с битумной эмульсией или синтетическими смолами с последующим формованием, прессованием и прогреванием отформованных изделий для их сушки или полимеризации. Минераловатные жесткие плиты изготовляют толщиной 4...10 см, плотностью 100...400 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,051...0,135 Вт/(м·°С). Минераловатные жесткие плиты применяют для утепления стен, покрытий и перекрытий жилых и промышленных зданий и холодильников. Жесткие плиты и фасонные изделия — сегменты, скорлупы (рис. 11.2, 3) на синтетическом и бентонитокolloидном связующих применяют для теплоизоляции горячих поверхностей.

Промышленность выпускает также минераловатные плиты повышенной жесткости и твердые плиты на синтетических связующих, которые характеризуются более высокой прочностью и большими размерами, чем обычные жесткие плиты. Такие плиты размером 180×120 см, а при

определенных параметрах уплотнения до  $360 \times 120$  см экономически целесообразно применять для утепления стен, перекрытий и покрытий зданий. Например,  $1 \text{ м}^2$  покрытия с использованием твердых минераловатных плит (рис. 11.3) в 5...7 раз легче и на 25...40 % дешевле по сравнению с железобетонным покрытием, утепленным пенобетоном (рис. 11.4).

● **Стеклянная вата** является разновидностью искусственного минерального волокна. Для изготовления ваты используют стеклянный бой или те же сырьевые материалы, что и для оконного стекла; кварцевый песок, известняк или мел, соду или сульфат натрия. Тонкое стеклянное волокно для текстильных материалов получают вытягиванием из расплавленной стекломассы (фильтрный и штабиковый способы). Более грубое волокно, применяемое для теплоизоляционной изоляции, изготавливают дутьевым или центробежным способом. Такое

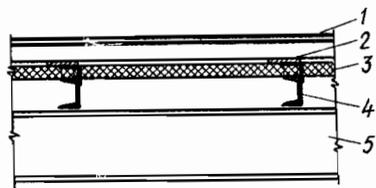


Рис. 11.3. Схема легкого покрытия с использованием самонесущих минераловатных плит:

1 — волнистый асбестоцементный лист; 2 — прокладка; 3 — самонесущие минераловатные плиты; 4 — прогоны; 5 — несущий элемент

волокно называют стеклянной ватой. Плотность стеклянной ваты обычно не превышает  $125 \text{ кг/м}^3$ , а теплопроводность —  $0,052 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . Промышленность выпускает также супертонкое стекловолокно плотностью до  $25 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводности около  $0,03 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . Стеклянная вата практически не дает усадки в конструкциях, волокна ее не разрушаются при длительных сотрясениях и вибрации. Она плохо проводит и хорошо поглощает звук, малогигроскопична, морозостойка. Слой стеклянной ваты толщиной 5 см соответствует термическому сопротивлению кирпичной стене толщиной в 1 м.

**Стекловатные маты и полужесткие и жесткие плиты**, а также **фасонные изделия** на связующих из синтетических смол применяют в качестве теплоизоляционного, акустического материала при температуре не выше  $200 \text{ °C}$ , а **прошивные маты и полосы** — при температуре до  $450 \text{ °C}$ .

● **Пеностекло (ячеистое стекло)** выпускают в виде блоков или плит размером  $50 \times 40 \times (8...14)$  см путем спекания порошка стекольного боя или некоторых горных

пород вулканического происхождения (трахиты, сенинты, нефелины, обсидианы и др.) с газообразователями, например с известняком или антрацитом. При температуре  $800...900 \text{ °C}$  частицы стекольного боя начинают сплавляться, а выделяющиеся из газообразователя газы образуют большое количество пор (пористость 80...95 %). При этом в стекловидном материале межпоровых стенок содержатся мельчайшие микропоры. Двойной характер пористости обеспечивает высокую теплоизоляционную способность пеностекла. Теплопроводность плит из пеностекла при плотности  $150...600 \text{ кг/м}^3$  составляет  $0,06...0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ , а предел прочности при сжатии  $2,0...6,0 \text{ МПа}$ , при этом они хорошо обрабатываются (пилятся, сверлятся, шлифуются). Изделия из пеностекла обладают высокой водостойкостью, морозостойкостью и температуростойкостью. Для стекол обычного состава температуростойкость равна  $300...400 \text{ °C}$ , для бесщелочного стекла — до  $1000 \text{ °C}$ . Пеностекло применяют как утеплитель стен, перекрытий, полов и кровель промышленных и гражданских зданий в конструкциях холодильников, а также для изоляции тепловых установок и сетей.

● **Стеклопор** получают путем грануляции и вспучивания жидкого стекла с минеральными добавками (мелом, молотым песком, золой ТЭС и др.) Сначала производят гранулят — «стеклобисер», который затем вспучивают нагревом при температуре  $320...360 \text{ °C}$ . Стеклопор выпускают трех марок: СЛ — с  $\rho_m = 15...40 \text{ кг/м}^3$ ,  $\lambda = 0,028...0,035 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ ; Л и Т соответственно —  $\rho_m = 40...80$  и  $80...120 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda = 0,032...0,04$  и  $0,038...0,05 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ . В сочетании с различными связующими стеклопор используют для изготовления штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции.

● **Теплоизоляционные материалы из вспученных горных пород и изделия на их основе.** Некоторые горные породы, содержащие в своем составе связанную воду, при нагреве теряют ее. Вода превращается в пар, вспучивает предварительно дробленную породу, в результате чего об-

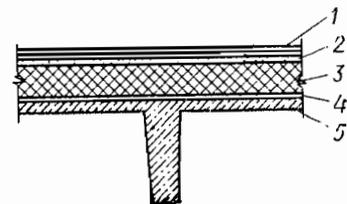


Рис. 11.4. Схема железобетонного покрытия с пенобетонным утеплителем:

1 — рулонный ковер; 2 — выравнивающий слой; 3 — пенобетонный утеплитель; 4 — пароизоляция; 5 — железобетонная плита

разуются пористые зерна (вспученный перлит) или чешуйки (вспученный вермикулит).

*Вспученный вермикулит* представляет собой сыпучий пористый материал в виде чешуйчатых частиц золотистого цвета, получаемых ускоренным обжигом до вспучивания вермикулита — гидрослюда, содержащей между элементарными слоями связанную воду. Пар, образующийся из этой воды, действует перпендикулярно плоскостям спайности и раздвигает пластинки слюды, увеличивая первоначальный объем зерен в 15...20 раз и более. Плотность вспученного вермикулита при крупности зерен 5...15 мм составляет 80...150 кг/м<sup>3</sup>, при более мелких зернах она увеличивается до 400 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность при температуре до 100 °С равна 0,048...0,10 Вт/(м·°С), а с увеличением температуры до 400 °С повышается до 0,14...0,18 Вт/(м·°С).

*Вспученный перлит* получают путем измельчения и обжига перлита, обсидиана и других вулканических горных пород стекловидного строения, содержащих небольшое количество гидратной воды (3...5 %). При быстром нагреве до температуры 900...1200 °С вода переходит в пар и вспучивает размягченную породу; она распадается на отдельные шарообразные зерна с увеличением в объеме в 5...10 раз и более (пористость зерен 80...90 %). Насыпная плотность перлитового песка колеблется от 75 до 250 кг/м<sup>3</sup>, щебня до 500 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность при 25 °С составляет 0,046...0,08 Вт/(м·°С).

Вспученные вермикулит и перлит используют в виде теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей соответственно до 1100 и 800 °С. На их основе в смеси с вяжущим веществом получают растворные и бетонные смеси, из которых формируют теплоизоляционные изделия (плиты, скорлупы, сегменты, кирпич) или выполняют теплоизоляционные, звукопоглощающие и декоративные штукатурки, а на основе перлитового песка и щебня также конструктивно-теплоизоляционные конструкции.

*Безобжиговые перлитовые и вермикулитовые теплоизоляционные изделия* изготавливают на портландцементе, жидком стекле, синтетических смолах, битуме, различных клеях. Обжиговые изделия получают на связке из огнеупорной глины, диатомита.

Свойства изделий зависят от вида вяжущего: плотность — от 200 до 500 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность при 25 °С — от 0,05 до 0,2 Вт/(м·°С). Изделия на битумной

связке применяют при температуре эксплуатации до 60 °С, на цементном связующем и жидком стекле (стеклоперлит) — до 600 °С, а на керамической связке (керамоперлит) — до 900...1200 °С.

● *Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия* разделяют на *асбестовые*, состоящие из асбестового волокна (асбестовые бумага, картон и изделия из них), и *асбестосодержащие*, изготавливаемые из смеси асбестовых волокон с неорганическими вяжущими веществами (магнезиальные вяжущие, известь, цемент) или с трепелом (диатомитом). Порошкообразные смеси этих материалов перед применением затворяют водой и полученную пластичную массу наносят на изолируемую поверхность. В заводских условиях из таких же масс формируют изделия — плиты, сегменты и скорлупы.

*Асбестовую бумагу* изготавливают в виде листов и рулонов из асбестового волокна 5...6-го сортов с небольшим количеством (до 5 %) склеивающих веществ (крахмал, казеин). Толщина бумаги 0,3...1,5 мм, плотность 450...950 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность при 100 °С составляет 0,14...0,198 Вт/(м·°С); предельная температура применения 500 °С. Кроме гладкой выпускают гофрированную бумагу. Гладкую бумагу используют в качестве теплоизоляционной прокладки при изоляции трубопроводов, а гофрированную — для производства одной из разновидностей асбестового картона (ячеистый асбестовый картон).

*Асбестовый картон* изготавливают из асбеста 4...5-го сортов с наполнителем (каолин) и склеивающим веществом (крахмал) в виде листов толщиной 2...10 мм. Плотность листов 900...1000 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 100 °С 0,182 Вт/(м·°С). Асбестовый картон применяют для изоляции трубопроводов (до 500 °С), а также для покрытий деревянных конструкций и дверей, чтобы повысить их огнестойкость. Асбестовый картон ячеистого строения изготавливают путем склеивания жидким стеклом или клеем чередующихся слоев гладкой и гофрированной асбестовой бумаги. Благодаря пористому строению такой картон легкий и малотеплопроводен [теплопроводность при 50 °С и плотности 200...600 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,052...0,093 Вт/(м·°С)]. В виде плит его применяют для теплоизоляции плоских поверхностей, в виде цилиндрических и полуцилиндрических покрышек — для изоляции трубопроводов.

*Асбестодиатомовые (асбестотрепельные)* теплоизо-

ляционные материалы представляют собой порошки, состоящие из смеси асбеста (15 %) и молотого трепела или диатомита (*асбозурит*), иногда с добавками других веществ — слюдяных чешуек, отходов асбестоцементных заводов (*асбослюда*, *асботермит*). Порошки затворяют водой и в виде тестообразной массы наносят на изолируемую поверхность. Плотность изделий из асбозурита в сухом состоянии 500...800 кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность при 100 °С — 0,093...0,21 Вт/(м·°С); температуростойкость — до 600 °С.

*Вулканитовые изделия* (асбестоизвестковотрепельные) изготавливают из смеси диатомита (60 %), асбеста (20 %), извести (20 %) и воды. Изделия в виде плоских или лекальных плит небольших размеров после формования пропаривают в автоклаве, где происходит образование гидросиликатов кальция, обеспечивающих прочность вулканита. Плотность вулканитовых плит до 400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 50 °С не выше 0,091 Вт/(м·°С), предел прочности при изгибе не менее 0,3 МПа, максимальная температура применения 600 °С.

*Асбестомagneзиальные и асбестодоломитовые теплоизоляционные материалы и изделия* изготавливают из смесей асбеста 5—6-го сортов с легкой водной углекислой солью магния (*ньювель*) или асбеста с водной углекислой солью магния и углекислого кальция (*совелит*), получаемых соответственно при переработке магнезита и доломита. Ньювель и совелит в виде порошков используют для засыпной или мастичной теплоизоляции, а также для изготовления плит, скорлуп и сегментов. Совелит дешевле и не менее эффективен, чем ньювель, поэтому в СССР он распространен шире. Плотность совелитовых изделий не более 400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 100 °С не выше 0,093 Вт/(м·°С), предельная температура применения 500 °С.

Теплоизоляционные асбестоцементные и керамические материалы и изделия, ячеистые бетоны, а также теплоизоляционные полимерные материалы описаны в других разделах учебника.

#### ■ Органические теплоизоляционные материалы и изделия.

Большинство органических теплоизоляционных материалов изготавливают в виде плит, обычно крупноразмерных, что упрощает и ускоряет производство работ и способствует удешевлению строительства.

Основным сырьем для их изготовления служит древе-

сина, главным образом в виде отходов (опилки, стружка, горбыль, рейка), и другое растительное сырье волокнистого строения (камыш, солома, малоразложившийся верховой торф, костра льна и конопля). Большое количество теплоизоляционных изделий изготавливают на основе различных полимеров и синтетических смол (см. гл. 13).

Древесина сама по себе представляет пористый материал (пористость 60...70 %). Кроме того, древесная стружка и древесные волокна расположены в некоторых теплоизоляционных изделиях (фибrolитовых, древесностружечных плитах и т. п.) так, что тепловой поток в конструкции оказывается направленным не вдоль, а поперек волокон, а это создает дополнительное сопротивление прохождению теплоты. Вместе с тем стружка и волокна древесины или другого растительного сырья создают своеобразный арматурный каркас в теплоизоляционных изделиях. Наконец, использование древесных и других растительных отходов для массового производства теплоизоляционных материалов является экономически выгодным и способствует решению экологической проблемы, т. е. позволяет уменьшить возможное загрязнение окружающей среды.

● *Древесноволокнистые плиты* изготавливают из неделовой древесины, отходов лесопильной и деревообрабатывающей промышленности, бумажной макулатуры, а также стеблей соломы, кукурузы, хлопчатника и некоторых других растений.

С целью увеличения прочности и долговечности древесноволокнистых изделий при их изготовлении применяют специальные добавки: водные эмульсии синтетических смол, эмульсии из парафина, канифоли, битума, антисептики и антипирены, а также асбест, глинозем, гипс и др.

Растительное сырье измельчают в различных агрегатах в присутствии большого количества воды, облегчающей разделение древесины на отдельные волокна, и смешивают со специальными добавками. Далее жидкотекучую волокнистую массу передают на отливочную машину, состоящую из бесконечной металлической сетки и вакуумной установки. Здесь масса обезвоживается, уплотняется и разрезается на отдельные плиты заданного размера, которые затем подпрессовывают и сушат.

Плотность древесноволокнистых изоляционных и изоляционно-отделочных плит 150...350 кг/см<sup>3</sup>, теплопроводность 0,046...0,093 Вт/(м·°С), прочность при изгибе не менее 0,4...2,0 МПа.

Достоинством плит являются их большие размеры (длина до 3 м, ширина до 1,6 м), так как это способствует индустриализации строительно-монтажных работ и уменьшению затрат труда.

Изоляционные плиты используют для тепло- и звукоизоляции стен, потолков, полов, перегородок и междуэтажных перекрытий, утепления кровель, акустической отделки специальных помещений (радиостудий, машинописных бюро, концертных залов и т. п.).

Кроме изоляционных выпускают полутвердые, твердые и сверхтвердые древесноволокнистые плиты плотностью 400...1100 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при изгибе не менее 15 МПа, используемые как отделочные и конструкционные материалы.

● *Древесностружечные плиты* получают горячим прессованием массы, содержащей около 90 % органического волокнистого сырья (чаще всего тонкая древесная стружка) и 8...12 % синтетических смол (мочевиноформальдегидной, фенолформальдегидной и др.). Древесностружечные плиты выпускают одно- и многослойными. Например, у трехслойной плиты пористый средний слой состоит из относительно крупных стружек, а поверхностные слои выполняют из одинаковых по толщине плоских тонких стружек.

Для теплоизоляционных целей служат легкие плиты плотностью 250...500 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью 0,046...0,093 Вт/(м·°С). Полутяжелые и тяжелые плиты плотностью соответственно 500...800 и 800...1000 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при изгибе 5...35 МПа применяют как отделочный и конструкционный материал. Области применения древесностружечных плит в строительстве примерно те же, что и древесноволокнистых плит.

● *Фибролит* — плитный материал, изготавливаемый обычно из специальных древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего вещества. Древесную шерсть получают на специальных станках в виде тонких и узких лент. В качестве вяжущего чаще используют портландцемент, реже магниезиальное вяжущее.

Древесную шерсть сначала минерализуют раствором хлористого кальция, жидкого стекла или сернокислого глинозема, а затем смешивают с цементом и водой. Плиты формируют под давлением до 0,5 МПа и направляют для твердения в пропарочные камеры. Застывшие плиты сушат до влажности не более 20 %.

Плиты обычно имеют длину 240 и 300 см, ширину 60 и 120 см, толщину 3...15 см. По плотности их делят на

марки Ф-300 (*теплоизоляционный фибролит*) и Ф-400, Ф-500 кг/м<sup>3</sup> (*теплоизоляционно-конструкционный фибролит*) с пределом прочности при изгибе соответственно не менее 0,35; 0,6 и 1,0 МПа и теплопроводностью 0,08...0,1 Вт/(м·°С). Фибролит не горит открытым пламенем, а тлеет, легко обрабатывается — его можно пилить, сверлить, вбивать в него гвозди. Водопоглощение цементного фибролита не более 35...45 %; при влажности выше 35 % он может поражаться домовым грибом, поэтому его необходимо защищать от увлажнения, в частности, путем оштукатуривания. Шероховатая поверхность фибролита способствует хорошему сцеплению со штукатуркой. Теплоизоляционный фибролит применяют для утепления стен и покрытий; конструкционный — для перегородок, каркасных стен и перекрытий в сухих условиях. Стена из фибролитовых плит толщиной 15 см по термическому сопротивлению эквивалентна кирпичной стене в два кирпича.

● *Арболит* представляет собой разновидность легкобетона, изготовляемого из подобранной смеси цемента, органических заполнителей, химических добавок и воды. Органические заполнители могут быть различного происхождения и с различной формой частиц (дробленые отходы древесных пород, сечка камыша, костра конопля или льна, подсолнечная лузга и т. п.). В качестве вяжущего чаще применяют портландцемент, реже другие неорганические вяжущие вещества. Технология изготовления изделий из арболита во многом приближается к технологии изделий из обычных бетонов.

Различают теплоизоляционный арболит (плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>) и конструктивно-теплоизоляционный (плотностью до 700 кг/м<sup>3</sup>). Прочность при сжатии колеблется от 0,5 до 3,5 МПа, на растяжение при изгибе — от 0,4 до 1,0 МПа. Теплопроводность арболита составляет 0,1...0,126 Вт/(м·°С). Арболит относится к категории труднопоражаемых грибами и трудносгораемых материалов. Изделия из арболита применяют для возведения навесных и самонесущих стен и перегородок, а также в качестве теплоизоляционного материала в стенах, перегородках и покрытиях зданий различного назначения.

● *Камышит* (камышитовые плиты) изготавливают (рис. 11.5) из тростника камыша осенне-зимней рубки. Производство камышита обычно организуют на передвижных установках, оборудованных прессами высокой

производительности, на которых осуществляются прессование, прошивка проволокой и торцовка плит.

Плотность камышита в зависимости от степени прессования составляет 175...250 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность — 0,046...0,093 Вт/(м·°С), предел прочности при изгибе — 0,5..1,0 МПа. Камышит загнивает при увлажнении, не держит гвозди, способен возгораться, подвержен порче грызунами. Эти недостатки можно уменьшить путем пропитки плит антисептиками, оштукатуриванием плит.

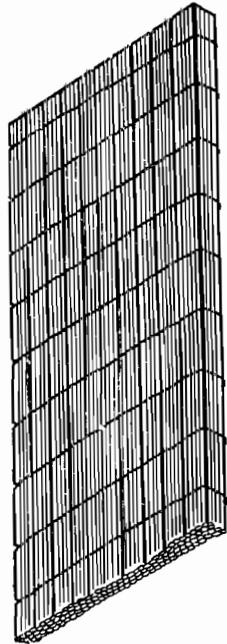


Рис. 11.5. Камышитовая плита (с продольным расположением стеблей камыша)

гидрофобизаторы. Отформованные изделия подвергают тепловой обработке. Специальных вяжущих веществ здесь не требуется. При тепловой обработке из торфа выделяются смолистые вещества, склеивающие волокна.

● **Торфоплиты** выпускают плотностью 170 и 220 кг/см<sup>3</sup>, теплопроводностью 0,058...0,064 Вт/(м·°С) и пределом прочности при изгибе не менее 0,3 МПа. Торфяные теплоизоляционные изделия отличаются большой гигроскопичностью и водопоглощением.

Применяют торфяные изделия для утепления стен

и перекрытий зданий, холодильников и трубопроводов при температуре от —60 до +100 °С.

● **Войлок строительный** изготовляют из низших сортов шерсти животных с добавкой растительных волокон и крахмального клейстера. После валки войлок имеет вид пластин — полотнищ длиной и шириной до 200 см. Плотность войлока 150 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность около 0,06 Вт/(м·°С). Чтобы предотвратить появление моли, войлок необходимо пропитывать 3 %-ным раствором фтористого натрия и перед применением высушивать. Используют войлок для тепловой и звуковой изоляции стен и потолков под штукатурку, утепления наружных углов в рубленых домах, оконных и дверных коробок.

## 11.2. Акустические материалы и изделия

Совокупность многочисленных звуков, быстро меняющихся по частоте и силе, принято называть шумом. Шум в помещениях относится к категории санитарно-гигиенических вредностей, так как длительное его воздействие вредно для здоровья человека и понижает его работоспособность. Различают шумы воздушные и ударные. *Воздушный шум* возникает и распространяется в воздушной среде. Звуковые волны воздействуют на ограждающие конструкции зданий, приводят их в колебательное движение и тем самым передают звук в соседние помещения, отражаются и частично поглощаются ограждениями. *Ударный шум* возникает и передается в ограждающих конструкциях при ударных, вибрационных и других воздействиях непосредственно на конструкцию.

Вредное действие шумов стремятся уменьшить путем разработки рациональных планировочных и конструктивных решений зданий, осуществляемых с применением акустических материалов и изделий.

● **Акустическими называют материалы, способные поглощать звуковую энергию, а также снижать уровень силы и громкости проходящих через них звуков, возникших как в воздухе, так и в материале ограждения.** По назначению акустические материалы разделяют на звукоизоляционные и звукопоглощающие.

● **Звукоизоляционными называют материалы, применяемые в основном для ослабления ударного шума. Звукопоглощающие материалы обладают свойством преимущественно поглощать энергию падающих на них звуковых волн (воздушные шумы).**

Звукоизоляционная способность материала в ограждении оценивается по разности уровней звука с обеих сторон ограждения и выражается в децибелах. Предельные (максимально допустимые) уровни шума устанавливаются в зависимости от назначения помещения и частотной характеристики звука. Нормальное ухо человека воспринимает звуковые колебания частотой 16...20 000 Гц, причем особо чувствительными являются частоты 1500...3000 Гц. Звукоизоляционная способность ограждения прямо пропорциональна десятичному логарифму его массы. Однако увеличение массы конструкций делает их слишком тяжелыми, громоздкими и дорогими. Гораздо эффективнее конструкции, изготовленные из пористых материалов, или многослойные конструкции, имеющие воздушные прослойки. В этом случае используются упругие свойства воздуха, который гасит звуковые колебания и прерывает распространение звука. По этой же причине и звукопоглощающие материалы стремятся изготавливать высокопористыми (пористость 40...90 %), т. е. как и теплоизоляционные материалы. Однако в отличие от теплоизоляционных материалов, где выгодны замкнутые воздушные поры, эффективность звукопоглощающих материалов возрастает при наличии сквозных пор или специально предусмотренной перфорации.

Акустические материалы должны сохранять свои свойства в процессе длительной эксплуатации и вместе с тем удовлетворять общим строительно-техническим требованиям по огнестойкости, био- и влагостойкости, механической прочности и экономичности.

#### ■ Звукопоглощающие материалы и изделия.

Звукопоглощающие материалы снижают энергию падающих на них звуковых колебаний и поэтому служат для борьбы с воздушным шумом. При применении для акустической отделки внутри помещений они выполняют также декоративную роль (декоративно-акустические материалы).

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения  $\alpha$ , равный отношению количества энергии звуковых колебаний, поглощенной материалом или конструкцией, к общему количеству звуковой энергии, падающей на изолируемую поверхность в единицу времени:  $\alpha = E_{\text{погл}}/E_{\text{пад}}$ .

Все строительные материалы обладают в той или иной мере звукопоглощением. К звукопоглощающим ма-

териалам принято относить только те, которые имеют коэффициент звукопоглощения на средних частотах больше 0,2. Эти материалы характеризуются высокой, преимущественно открытой, пористостью. 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 (отношение площа-

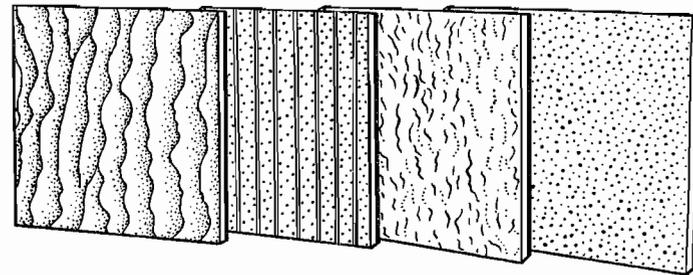


Рис. 11.6. Виды отделки поверхности звукопоглощающих плит

ди, 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. 11.6) и окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, образующими пористое покрытие.

Звукопоглощающие плиты целесообразно располагать в конструкции с воздушным зазором — «на отnose». При этом используются упругие свойства воздуха, 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 одно- и многослойных изделий разнообразных размеров и формы.

● *Однослойные пористые звукопоглощающие 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 изготовляют из минерального, в том числе стеклянного или асбестового, волокна на синтетическом или битумном связующем. Эти плиты отличаются от теплоизоляционных 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 гранули-

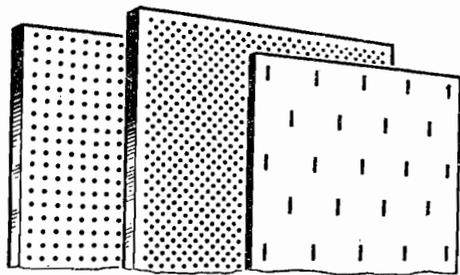


Рис. 11.7. Акустические плиты с гипсовыми и асбестоцементными перфорированными экранами

рованную вату и связующее, состоящее из крахмала, карбоксилцеллюлозы и бентонита. Из приготовленной смеси связующего и гранул ваты формуют 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 формуют их путем отливки в формах. Коэффициент звукопоглощения обоих видов плит в среднем и высоком диапазоне частот 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 с плотностью 200...300 кг/м<sup>3</sup>. 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, изготовляемые на пористых заполнителях (вспученные перлит и вермикулит, легкие виды керамзита, природной или шлаковой пемзы) и белом, цветном или обычном порландцементе.

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

Звукопоглощающие изделия из пористых материалов с перфорированным покрытием представляют собой пористый материал плотностью не более 100...140 кг/м<sup>3</sup>. Изготавливают их 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 т. д. (рис. 11.7). Такие конструкции применяют для акустической отделки потолков и стен в общественных и культурно-бытовых зданиях.

Наибольший эффект звукопоглощения достигается при расположении звукопоглотителя в 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.

Высокого звукопоглощения при низких частотах достигают применением резонирующих панелей. Такие панели состоят из каркаса, на котором крепится мембрана из листов фанеры, жестких древесноволокнистых плит или плотной ткани типа клеенки. Панели монтируют на потолке и стенах с определенным отнесом от ограждающей конструкции. Эффект звукопоглощения обусловливается активным сопротивлением системы, совер-

шающей вынужденные колебания под действием падающей звуковой волны.

#### ■ Звукоизоляционные материалы и изделия.

Звукоизоляционные материалы в основном предназначены для ослабления ударного звука, а некоторые из них способствуют изоляции и от воздушного шума. Звукоизоляционные материалы, применяемые в виде слоев из плит или матов, полосовых или штучных прокладок, часто еще называют прокладочными.

Одной из основных характеристик вибро- и звукоизоляционных материалов в конструкциях является *динамический модуль упругости*, который в несколько раз выше статического модуля упругости и отличается от него еще тем, что в нем учитывается затухание ударных звуковых колебаний за счет внутреннего трения. Чем ниже динамический модуль упругости, тем больше ударных звуковых колебаний поглощает материал и тем ниже скорость распространения звука. Скорость распространения продольной волны составляет (м/с): в стали—5050, граните—3950, железобетоне—4100, кирпиче—3350, дереве—1500, пробке—500, резине—30. С уменьшением плотности данного материала его динамический модуль упругости также понижается. По этой причине звукоизоляционные прокладочные материалы изготавливают высокопористыми (40...90 % сквозных пор). Однако при одинаковой плотности, но при разном качестве исходных компонентов и составе материала величина динамического модуля упругости может значительно колебаться. В особенности это важно учитывать при работе звукоизоляционного материала под нагрузкой. 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.

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

● *Эффективными звукоизоляционными изделиями с волокнистой структурой* являются маты и плиты полужесткие минерало- 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 эластич-



Рис. 11.8. 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 — звукоизоляционные материалы; 4 — несущая часть перекрытия

ных 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. 11.8, а), другие — для полосовых и штучных прокладок, разделяющих несущую часть перекрытия от конструкции пола (рис. 11.8, б).

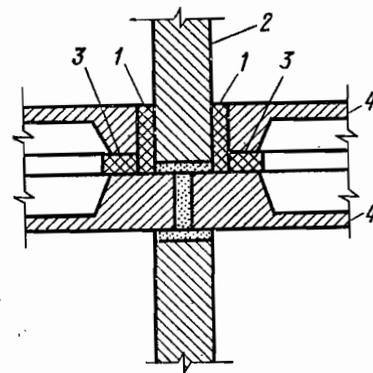


Рис. 11.9. Схема применения звукоизоляционных материалов в сопряжениях внутренних стен и междуэтажных перекрытий:

1 — полосовые ненагруженные прокладки; 2 — панель внутренней несущей стены; 3 — нагруженные прокладки; 4 — панель перекрытия

Звукоизоляционные материалы используют также в стенах и перегородках — в виде сплошной ненагруженной прокладки и в стыках конструкций (рис. 11.9).

В междуэтажных перекрытиях, состоящих из несущей плиты и мягкого покрытия пола, роль звукоизолирующего материала от воздушных шумов выполняет масса самой плиты, а звукоизоляция от ударного шума обеспечивается мягким покрытием пола. Для таких по-

крытий 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, вызываемых вибрацией технологического 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. Эти материалы должны работать как мягкие упругие прокладки.

### 11.3. Методика преподавания теплоизоляционных и акустических материалов и изделий

Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия являются материалами функционального назначения. Первые из них предназначены для тепловой изоляции, вторые — для создания акустического комфорта в зданиях. Объединение этих двух групп материалов в одной главе обусловлено тем, что они имеют много общего, начиная с сырья и технологии их получения и кончая структурой и свойствами, например высокой пористостью и малой плотностью.

Теплоизоляционные и акустические материалы позволяют не только улучшить эксплуатационные условия в зданиях, но и экономить значительное количество материалов (кирпича, цемента, древесины, металла), резко снизить массу конструкций и общие затраты на сооружение зданий, а также повысить степень индустриализации строительных работ.

Наряду с некоторой общностью между теплоизоляционными и акустическими материалами есть и существенное различие. Это касается прежде всего характера структуры и вытекающих отсюда специфических свойств, обуславливающих их функциональное применение. Поэтому методически удобнее излагать эти материалы раздельно, начав изучение с классификации материалов и изделий, а затем вопросов структуры и общих свойств. И только после этого следует ознакомить учащихся с видами различных теплоизоляционных и акустических

материалов и областями и особенностями их применения в строительстве. Причем последнее целесообразно вынести для изучения на лабораторно-практические занятия по данной главе и производственные экскурсии на строительные объекты.

Приступая к изложению теплоизоляционных материалов, необходимо напомнить учащимся о том, что из всех веществ, распространяемых в природе, особенно если он неподвижен. Следует помнить, что вещества, имеющие относительно простой химический состав, более теплопроводны, чем вещества сложного состава, а при близком химическом составе меньшей теплопроводностью обладают вещества смешанного или аморфного, а не кристаллического строения. Это даст возможность учащимся понять, почему эффективные теплоизоляционные материалы стремятся изготовить высокопористыми, преимущественно с мелкими и замкнутыми порами, а межпоровые стенки — «каркас» — из материалов, уже имеющих аморфное строение или получаемое в процессе технологической переработки сырья.

Поняв принципы технологических приемов для получения пористой структуры теплоизоляционных материалов, учащиеся должны перейти к изучению основных свойств (теплопроводности, температуростойкости, прочности и др.). Особое внимание необходимо обратить на связь свойств с составом и строением теплоизоляционных материалов, особенно с пористостью, взаимозависимость свойств, а также влияние на свойства состояния материала в эксплуатационных условиях (влажности, температуры, агрессивной среды и др.) и меры защиты от их вредного влияния на свойства материала.

Переходя к рассмотрению видов теплоизоляционных материалов, следует подчеркнуть техническую и экономическую целесообразность их использования в виде изделий. Изучение теплоизоляционных материалов рекомендуется проводить, сгруппировав их по виду исходного сырья (органические и неорганические материалы и изделия) или по назначению (материалы и изделия для изоляции строительных конструкций и для изоляции горячих поверхностей). При изучении конкретных видов теплоизоляционных материалов и изделий полезно сопоставить разные материалы по их основным свойствам: плотности, теплопроводности, рабочему пределу температуры, прочности, долговечности. Конкретный

объем видов теплоизоляционных материалов и изделий и степень подробности их изучения зависят от вида учебного заведения (техникум, ПТУ) и профиля будущей специальности учащихся. Однако в любом случае учащийся должен получить основные понятия о номенклатуре теплоизоляционных материалов, их внешнем виде и строении, основных свойствах, областях и особенностях применения в строительстве.

Перед изучением акустических материалов и изделий рекомендуется напомнить учащимся основные понятия о звуковых волнах и шумах, подчеркнув их вредное воздействие на здоровье человека и необходимость защиты от них различными методами, в том числе путем применения в конструкциях зданий акустических материалов и изделий. Далее следует дать определение акустических материалов, разделив их по основному назначению на звукопоглощающие и звукоизоляционные, отметив также, что эти материалы часто выполняют и отделочную функцию — декоративно-акустическую.

Характеризуя строение акустических материалов, необходимо подчеркнуть, что они, как и теплоизоляционные, имеют высокую пористость, создаваемую как в самом материале, так и путем изготовления многослойных конструкций с воздушными прослойками, и объяснить почему.

При изложении звукоизоляционных материалов необходимо разъяснить целесообразность перфорации изделий, придания их поверхности трещиноватой или рельефной фактуры и монтажа их в конструкции с воздушным зазором — «на отnose».

При изложении звукоизоляционных материалов особое внимание необходимо уделить основным характеристикам вибро- и звукоизолирующих свойств этих материалов (динамическому модулю упругости, динамической жесткости) и связать их со строением материала и условиями его работы под нагрузкой.

При изучении основных видов акустических материалов и изделий следует иметь в виду их общность в сырье, технологии изготовления с теплоизоляционными материалами, отмечая лишь их специфику, отличающую акустические материалы от теплоизоляционных. Основное внимание при этом следует уделить особенностям применения акустических материалов в различных эксплуатационных условиях, закрепляя эти знания на конкретных примерах в процессе лабораторно-практических

занятий и непосредственно на строительных объектах. Завершить изучение главы следует семинарским занятием.

## Глава 12

### БИТУМНЫЕ И ДЕГТЕВЫЕ ВЯЖУЩИЕ И МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

#### 12.1. Битумные и дегтевые вяжущие

Битумные и дегтевые вяжущие вещества наряду с полимерами и органическими клеями образуют группу органических вяжущих веществ. На основе этих вяжущих производят большое количество материалов и изделий для строительства: асфальтовые бетоны и растворы, рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы, мастики, пасты, эмульсии и некоторые лаки.

● *Битумные материалы могут быть как природные, встречающиеся в виде отдельных скоплений или чаще пропитывающие горные породы, так и искусственные, получаемые при переработке нефти. Дегтевые — искусственные материалы, получаемые в заводских условиях при сухой перегонке твердых видов топлива.*

Различают следующие группы битумных и дегтевых вяжущих веществ: *битумные*, состоящие из нефтяных битумов или из сплавов нефтяных и природных битумов; *дегтевые* — каменноугольные или сланцевые или сплавы дегтевых масел с пеками; *смешанного вида* — гудрокамые (продукты совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона); *дегте- и битумополимерные*, содержащие нефтяные битумы или каменноугольные дегтевые вещества и полимеры. Битумные и дегтевые вяжущие имеют темно-коричневый или черный цвет, поэтому их часто называют «черными вяжущими».

Наиболее широкое применение в строительстве и производстве строительных материалов получили битумные вяжущие и особенно нефтяные битумы, которые в СССР по объему выпуска среди остальных органических вяжущих занимают первое место. Дегтевые материалы применяют ограниченно, так как большинство их служит сырьем для получения разных ценных химических продуктов. К тому же дегтевые вяжущие и материалы на их основе в условиях эксплуатации (под влиянием вла-

ги, кислорода воздуха, солнечной радиации) сравнительно быстро «стареют», становясь хрупкими и малопрочными, обладают неприятным запахом и выделяют вредные для здоровья вещества.

#### ■ Битумы.

● *Природные битумы* (твердые или вязкие) образовались из нефти в верхних слоях земной коры в результате испарения летучих фракций и под влиянием окислительного процесса и полимеризации.

Природные битумы иногда встречаются в виде залежей, состоящих почти из чистого битума с небольшим количеством минеральных примесей (например, на о. Сахалин), чаще они содержатся в осадочных горных породах: песках, песчаниках, карбонатных породах (известняках, доломитах), глинистых грунтах. Такие породы называют *асфальтовыми* или *битуминозными*.

В СССР асфальтовые породы имеются на Кавказе, в Крыму, Сибири, Поволжье, на Дальнем Востоке и др. Из этих пород извлекают битум при помощи растворителей или вываркой в горячей воде. При содержании битума менее 2...3 %, когда извлечение битума экономически нецелесообразно, асфальтовые породы размалывают и применяют в виде асфальтового порошка как компонент в асфальтовых бетонах или асфальтовых мастиках.

Природные битумы отличаются высокой атмосферостойкостью и хорошим прилипанием к поверхности каменных материалов, но из-за дефицитности и высокой стоимости в строительстве применяют ограниченно. Их используют главным образом в химической и лакокрасочной промышленности.

● *Нефтяные битумы* получают из нефти путем обработки остатков, образующихся при ее фракционной перегонке на нефтеперерабатывающих заводах. В зависимости от способа производства различают остаточные, окисленные и крекинговые нефтяные битумы.

*Остаточные битумы* получают путем глубокого отбора масел из гудронов. При нормальной температуре это твердые или полутвердые продукты относительно малой вязкости. Для повышения вязкости остаточные битумы или гудрон подвергают окислению, продувая через них воздух. При продувке под воздействием кислорода воздуха нефтяные остатки окисляются и уплотняются за счет образования высокомолекулярных компонентов, их вязкость повышается, в результате чего получают окисленные битумы. *Окисленные битумы* более погодоустойки, чем остаточные, и по долговечности не уступают

природным битумам. Смешивая битум, полученный как остаточный продукт после обработки гудрона жидким пропаном, с масляными дистиллятами, получают *бешаннные* (компаундированные) битумы. *Крекинговые битумы* получают окислением (продувка воздухом) крекинг-остатков, образующихся при переработке мазута, с целью увеличения выхода бензина, крекинг-процессом, т. е. расщеплением углеводородов при высоких температурах и больших давлениях.

По консистенции (при температуре 18 °С) битумы могут быть *твердыми*, обладающими упругими, а иногда хрупкими свойствами, *полутвердыми* (вязкопластичными) и *жидкими* (легкотекучими). Твердые и полутвердые битумы транспортируют в железнодорожных цистернах, оборудованных подогревательными устройствами, или в бумажной таре; жидкие битумы — в нефтяных и мазутных цистернах. Хранить битумы следует в специальных хранилищах.

#### ■ Состав и структура.

Битумы состоят из смеси высокомолекулярных углеводородов, главным образом метанового ( $C_nH_{2n+2}$ ) и нафтенового ( $C_nH_{2n}$ ) рядов и их кислородных, сернистых и азотистых производных. Элементарный химический состав всех битумов достаточно близок. В них 70... ..87 % углерода, до 15 % водорода, до 10 % кислорода, до 1,5 % серы (в природных битумах до 10 %), небольшое количество азота. Элементарный химический состав битумов позволяет судить только о материальном балансе элементов, из которых построены компоненты битумов, и не дает представления о десятках химических соединений, содержащихся в битумах, и об их влиянии на структуру и свойства битумов. Выделить индивидуальные углеводородные соединения из битумов весьма сложно. Поэтому для исследования структуры и свойств битумов специальными методами выделяют группы углеводородов с более или менее сходными свойствами. Такими группами являются масла, смолы, асфальтены и их модификации (карбены и карбоиды), асфальтогеновые кислоты и их ангидриды.

● *Масла* — жидкая при обычной температуре группа углеводородов, плотностью менее единицы и молекулярной массой 100..500. Повышенное содержание масел в битуме придает им подвижность и текучесть.

● *Смолы* — вязкопластичные вещества, твердые или полутвердые при обыкновенной температуре, плотностью

около единицы и молекулярной массой 500...1000. Состав углеводородов в смолах более сложный, чем в маслах. Смолы придают битумам вязущие свойства и пластичность.

● *Асфальтены* — твердые неплавкие высокополициклические соединения с плотностью более единицы и молекулярной массой 1000...5000 и более. Некоторые асфальтены растворимы в маслянистых и смолистых фракциях, другие — карбены и карбоиды, содержащие свободный углерод, нерастворимы. Асфальтены придают битуму твердость и теплоустойчивость. При длительном нагревании битума в присутствии воздуха масла и смолы переходят в асфальтены. Чрезмерно большое количество асфальтенов в битуме может образоваться также под действием солнечной радиации, что вызывает постепенное разрушение — «старение» битума.

● *Асфальтогеновые кислоты* принадлежат к группе полинафтеновых кислот; их консистенция может быть твердой или высоковязкой. Являясь поверхностно-активной частью битума, они способствуют повышению прочности сцепления битума с каменными и другими материалами.

Групповые углеводороды, входя в состав битумов в различных соотношениях и образуя сложную дисперсную систему, предопределяют их структуру и свойства (рис. 12.1). Дисперсионной средой в этой системе является молекулярный раствор смол или их части в маслах, а дисперсной фазой служат асфальтены с адсорбированной на их поверхности частью смол. Если в этой дисперсной системе имеется избыток дисперсионной среды, то комплексные частицы (мицеллы) не контактируют между собой, свободно перемещаясь в дисперсионной среде. Такая структура характерна для жидких битумов при нормальной температуре и для вязких битумов при повышенных температурах (рис. 12.1, а).

При относительно пониженном количестве дисперсионной среды и большом количестве мицелл они, контактируя друг с другом, образуют мицеллярную пространственную сетку. Битумы, имеющие такую структуру, характеризуются высокой вязкостью и твердостью при комнатной температуре (рис. 12.1, б).

При изменении фазового состава битума, например под влиянием охлаждения и нагревания, продувания воздуха и разжижения растворителем и т. п., возможен переход одной структуры в другую и существование про-

межуточных структур. Однако при длительном воздействии некоторых факторов (кислорода воздуха или другой окислительной среды, особенно в условиях повышенных температур) могут произойти необратимые изменения фазового состава битума, свидетельствующие о его химическом старении. Это связано с массовым накоплением труднорастворимых или нерастворимых твердых частиц (карбенов и карбоидов) и одновременной глубо-

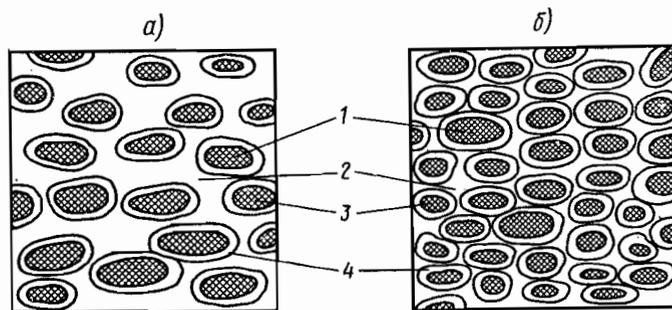


Рис. 12.1. Схема структуры битума:

а — жидкого; б — твердого; 1 — мицелла; 2 — раствор смол в маслах; 3 — асфальтены (ядро мицеллы размером 18...20 мкм); 4 — смолы (оболочка мицеллы)

кой полимеризацией и окислительной модификацией смол и масел, приводящих к нарастанию вязкости и появлению у битума хрупких свойств.

#### ■ Свойства.

Важнейшими свойствами битумов для их применения в строительстве являются:

1) способность при нагревании (до 80...170 °С) или добавлении растворителей (разжижителей) переходить в вязкожидкое состояние и объединяться с каменными или другими строительными материалами;

2) способность при понижении температуры (до 20...25 °С и ниже) или испарении растворителей вновь загустевать и образовывать единый материал, сцепляться с введенными в них или пропитанными и обмазанными ими другими материалами (асфальтовые бетоны и растворы, кровельные и гидроизоляционные материалы);

3) способность придавать гидрофобные (водоотталкивающие) свойства другим материалам, обработанным битумом.

Основными свойствами, определяющими качество твердых и полутвердых битумов и деление их на марки, являются вязкость, температура размягчения и хрупкости, пластичность; для жидких битумов — вязкость и фракционный состав (содержание летучих масел).

● **Вязкость битумов** является характеристикой его структурно-механических свойств и зависит от группового состава и температуры. При повышении температуры вязкость снижается, при понижении — резко возрастает; при отрицательных температурах битум становится хрупким. По ГОСТу на методы испытаний твердых и вязких битумов вязкость, точнее текучесть (величину, обратную вязкости), определяют условным показателем — глубиной проникания иглы в битум при определенных нагрузке, температуре и времени погружения на пенетрометре. Чем выше вязкость битума, тем меньше глубина погружения иглы. Вязкость жидких битумов определяют на стандартном вискозиметре по времени (в секундах) истечения порции битума при определенной температуре битума и диаметре отверстия прибора.

● **Пластичность твердых и вязких битумов** по стандарту характеризуется условно предельной деформацией при растяжении стандартных образцов — восьмерок из битума при определенной температуре и скорости растяжения и выражается в сантиметрах в момент их разрыва на дукилометре. Так же как и вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, их группового состава и структуры. Как правило, растяжимость возрастает при увеличении содержания смол, а также с повышением температуры.

● **Температурой размягчения** битума условно считают температуру, при которой битум переходит из твердого состояния в пластичное, приобретая подвижность. Она соответствует температуре, при которой образец битума под грузом в виде шарика при нагревании размягчится настолько, что коснется нижней полочки этажерки стандартного прибора — «кольцо и шар». Это свойство битума характеризует *верхний температурный предел* его применения. *Нижний температурный предел* применения битума характеризуется температурой хрупкости, при которой появляется первая трещина в тонком слое битума, нанесенном на стальную пластинку стандартного прибора при ее изгибе и распрямлении. Температурный интервал между температурой хрупкости и температурой размягчения называют *температурным рабочим*

*интервалом*, который учитывают при выборе битума для применения в определенных температурных условиях.

Свойства битумов тесно связаны между собой. Твердые битумы (с малой глубиной проникания иглы) имеют высокую температуру размягчения, но малую растяжимость, т. е. являются относительно хрупкими (особенно при отрицательных температурах). Битумы с низкой температурой размягчения, т. е. мягкие, обладают высокой пластичностью.

● Для учета огнеопасности при нагревании битума определяют *температуру вспышки* паров, выделяемых из битума при нагревании от поднесенного пламени.

● Битумы обладают и другими важными свойствами: *водостойкостью* и *водонепроницаемостью*; *стойкостью* к действию водных растворов многих *кислот, щелочей, солей* и к большинству *агрессивных газов*; способностью частично или полностью *растворяться* в различных *органических растворителях* (хлороформе, спирте, бензине, бензоле, сероуглероде, дихлорэтаноле и др.).

■ По назначению нефтяные битумы делят на: *строительные, кровельные и дорожные*, а по основным свойствам — на *марки* (табл. 12.1).

Жидкие битумы различают трех классов: быстрогустеющие БГ, среднегустеющие СГ, медленногустеющие МГ. Битумы классов БГ и СГ обычно изготавливают путем разжижения вязких битумов легкими разжижителями (керосином и т. п.). Битум класса МГ получают в остатке после перегонки нефти или разжижением вязких битумов

Таблица 12.1. Основные свойства нефтяных битумов

Марка битума	Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	Растяжимость при 25 °С, см, не менее	Температура, °С, не ниже	
			размягчения	вспышки
<i>Битумы нефтяные строительные</i>				
БН-50/50	41...60	40	50	220
БН-70/30	21...10	3	70	230
БН-90/10	5...20	1	90	240
<i>Битумы нефтяные кровельные</i>				
БНК-45/180	140...220	нн*	40...50	240
БНК-90/40	35...45	нн	85...95	240
БНК-90/30	25...35	нн	85...95	240

\* нн — не нормируется.

маслянистыми продуктами нефтяного или каменноугольного происхождения. Каждый класс делят в зависимости от вязкости на марки.

### ■ Применение.

Твердые и полутвердые нефтяные битумы применяют для дорожных покрытий, изготовления кровельных и гидроизоляционных материалов, некоторых герметизирующих материалов, а жидкие битумы используют в основном при строительстве дорог (для обработки гравийных и щебеночных смесей, изготовления асфальтовых материалов).

Из общего количества битумов больше 60 % используют в дорожном строительстве, а из оставшихся 40 % больше половины применяют для изготовления кровельных материалов.

### ■ Дегти.

В процессе сухой перегонки (без доступа воздуха) каменного или бурого угля, сланца, дерева, торфа и других органических веществ с целью получения кокса, полукокса, газа и т. п. образуются летучие вещества, которые после конденсации (сгущения) образуют вязкие жидкости, называемые соответственно каменноугольными, буроугольными, сланцевыми, торфяными, древесными дегтями.

Наиболее широкое применение в строительстве получили каменноугольные дегти, обладающие более высокими строительными свойствами, чем другие дегти.

Различают сырые и отогнанные каменноугольные дегти.

● *Сырые дегти* — низко- и высокотемпературные получают при полукоксовании и коксовании каменных углей соответственно при 500...700 и 900...1100 °С. Они представляют собой маслянистые жидкости темного цвета с характерным запахом, обусловленным содержанием в них фенолов и нафталина. Сырые дегти содержат значительное количество летучих веществ, а также соединений, растворимых и вымываемых водой, которые понижают их погодоустойчивость. Поэтому сырые дегти непосредственно для производства строительных материалов не применяют.

● *Отогнанный деготь* получают из сырого при отгонке воды, всех легких масел, частично средних масел и используют его как сырье в производстве строительных материалов. При фракционной разгонке сырого дегтя сначала удаляется вода (при 100 °С), а затем отгоняются жидкие фракции: легкие масла (до 170 °С), сред-

ние (170...270 °С), тяжелые (270...300 °С) и антраценовые масла (300...360 °С).

● *Пеком* называют твердый остаток от фракционной разгонки. Он представляет собой аморфное вещество черного цвета, состоящее из высокомолекулярных углеводородов и их производных и свободного углерода в виде тонкодисперсных частиц (8...30 %).

● *Составленные дегти* получают сплавлением пека с антраценовым маслом или отогнанным дегтем. Составленные дегти наиболее пригодны для строительных целей.

● *Наполненные дегти* получают, вводя в составленные дегти тонкоизмельченные материалы (известняк, доломит). Это делают для повышения вязкости, погодо- и температуростойкости дегтей.

Как и у битумов, качество дегтей определяют их химическим и групповым составом.

### ■ Состав.

Химический состав дегтя сложен, он включает более 200 различных органических соединений, в основном углеводородов преимущественно ароматического ряда и их неметаллических производных, т. е. соединений углеводородов с кислородом, азотом и серой. Эти соединения в дегте образуют сложную дисперсную систему, в которой свободный углерод и твердые смолы, ограниченно растворимые в дегтевых маслах, являются дисперсной фазой, а масла — дисперсионной средой.

Стабильность этой системы нарушается при изменении оптимальных условий (например, при испарении легких фракций), что сказывается на изменении важных строительно-технических свойств материалов и изделий на их основе.

### ■ Свойства.

Свойства дегтей в основном те же, что и у битумов, но они отличаются меньшей тепло- и погодоустойчивостью. Неустойчивость дегтей к процессам старения (низкая погодоустойчивость) связана с испарением летучих составляющих из дегтя даже при слабом нагревании (например, на солнце), а также и с тем, что многие соединения в нем являются ненасыщенными и поэтому легко вступают в химическое взаимодействие с веществами внешней среды, изменяя свой состав и структуру, что приводит к появлению хрупкости и растрескиванию. Однако дегти вследствие большего по сравнению с битумом содержания в них веществ с полярными группами

отличаются повышенной способностью к прилипанию к другим материалам. Они обладают большей гнилоустойчивостью, чем битумы, так как содержат токсичные вещества (фенол).

#### ■ Применение.

Каменноугольный деготь, антраценовое масло и пек применяют в производстве дегтевых кровельных материалов, мастик, для изготовления дегтебетонов и т. п.

#### ■ Смешанные вяжущие вещества на основе битумов и дегтей, эмульсии и пасты.

С целью более рационального использования положительных свойств битумов и дегтевых вяжущих веществ, уменьшения отрицательного влияния их недостатков и создания удобных условий применения готовят смешанные вяжущие вещества на их основе, а также эмульсии и пасты.

● *Битумно-дегтевые вяжущие материалы* получают путем совмещения битума с дегтем или дегтепродуктами (пеком, маслом). Одним из них является гудрокам, получаемый при совместном окислении смеси битума или гудрона и каменноугольных масел или пека. Такие комбинированные материалы обладают более высокой атмосферостойкостью и способностью к взаимодействию с введенными в них минеральными материалами (например, в мастиках) и пропитанной или обмазанной ими органической основой (например, в кровельных и гидроизоляционных материалах).

● *Битумно-дегтеполимерные вяжущие* получают совмещением нефтяных битумов или каменноугольных дегтевых материалов и полимеров (особенно каучука и каучукоподобных веществ). Для получения битумно-резиновых вяжущих часто используют после соответствующей переработки отходы производства резинотехнических изделий, отработанные автомобильные покрышки, синтетические каучуки, полиизобутилен и др. Такие материалы более устойчивы к старению, отличаются повышенной теплоустойчивостью, меньшей хрупкостью, особенно при отрицательных температурах.

● *Битумные и дегтевые эмульсии и пасты* представляют собой вяжущие материалы жидкой (эмульсии) или сметанообразной консистенции (пасты), которые готовят в основном из двух не смешивающихся между собой компонентов — битума или дегтя или их сплавов и воды. Для объединения этих несмешивающихся веществ применяют третий компонент — эмульгатор, явля-

ющийся поверхностно-активным веществом, уменьшающим поверхностное натяжение на границе битум (деготь) — вода и образующим вместе с тем вокруг частиц дисперсной фазы (частиц битума или дегтя размером до 0,1 мм) механически прочную оболочку, которая препятствует укрупнению и слиянию этих частиц, что способствует образованию весьма устойчивых эмульсий и паст.

В качестве эмульгаторов при изготовлении эмульсий применяют водорастворимые органические вещества, молекулы которых асимметрично-полярны, т. е. содержат активную полярную группу, обычно представленную гидроксидом ОН, карбоксилем  $\text{COOH}$ , группами  $\text{COONa(K)}$  и другими и неактивную группу — обычно углеводородные цепи  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_n$  (например, натровые соли нафтеновых кислот, лигносульфонаты кальция).

В качестве эмульгатора при изготовлении паст используют твердые минеральные порошки (глины, извести, трепелы). Содержание водорастворимых эмульгаторов в эмульсии не превышает 3 %, твердых порошков в пастах — 5...15 %, а битума — 40...60 %.

Эмульсии готовят в диспергаторах, обеспечивающих распыление подогретого битума (дегтя) в горячей воде с эмульгатором.

Эмульсия, удовлетворяющая техническим требованиям, должна обладать малой вязкостью, допускающей ее розлив и нанесение на поверхность в холодном состоянии, однородностью, небольшой скоростью распада и достаточной устойчивостью, обеспечивающей хранение на складе и перевозку в нормированные сроки. Хранят эмульсии в закрытых помещениях в металлической таре при температуре не ниже 0 °С. Для снижения вязкости эмульсии и пасты перед применением разбавляют водой.

Основными преимуществами эмульсий по сравнению с горячим битумом или жидким дегтем является возможность применения их в холодном виде (при положительных температурах воздуха практически в любую погоду), а также возможность сокращения до 30 % расхода вяжущего за счет лучшего распределения эмульгированных вяжущих на поверхности зерен минеральных материалов.

Битумные и дегтевые эмульсии применяют в дорожном строительстве, для устройства защитных гидро- и пароизоляционных покрытий, грунтовок основания под гидроизоляцию, приклеивания рулонных материалов. Битумные пасты наиболее широко применяют в гидроизоляционных работах.

При работе с битумными и особенно с дегтевыми материалами требуется строго соблюдать правила охраны труда и противопожарной техники.

## 12.2. Материалы на основе битумов и дегтей

*Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы*

● *Асфальтовые и дегтевые растворы и бетоны представляют собой искусственный каменный материал конгломератного строения. Их получают в результате затвердевания рационально подобранной и изготовленной смеси битума (дегтя), минерального порошка и рыхлых каменных материалов — песка, щебня или гравия (в бетонах) или только песка (в растворах). При использовании битумов в качестве связующего их называют асфальтобетонами или асфальтовыми растворами, а при использовании дегтевых вяжущих — дегтебетонами. В строительстве наиболее широкое применение имеют асфальтобетоны.*

● *По производственному назначению их разделяют на: дорожные, аэродромные; гидротехнические; промышленного назначения — для устройства полов и плоских кровель промышленных зданий, складов, гаражей и др.; декоративные — для оформления городских площадей, устройства разделительных полос, проходов и т. п.*

● *По пористости асфальтобетоны подразделяют на плотные (с пористостью 3...5 %) и пористые (с пористостью 5...10 %).*

● *По крупности зерен щебня и песка различают крупнозернистые асфальтобетоны — с размерами зерен до 40 мм, среднезернистые — до 25 мм, мелкозернистые — до 15 мм, песчаные — до 5 мм (иногда до 3 мм).*

● *В зависимости от содержания щебня и песка, их структуры асфальтобетонные смеси делят на следующие типы: А — многощебенистые с содержанием щебня 50...65 %; Б — среднещебенистые — 35...50 %; В — малощебенистые — 20...35 %; Г — песчаные из дробленого песка; Д — песчаные из природного песка.*

● *По технологическим особенностям и виду применяемого битума асфальтобетонные смеси подразделяют на горячие, теплые и холодные. Горячие асфальтовые бетоны и растворы готовят на вязких битумах при температуре 140...180 °С и укладывают при температуре не ниже 130 °С, теплые готовят на битумах пониженной вязкости при температурах 90...160 °С и укладывают при 60...110 °С; холодные готовят на жидких битумах при температуре 80...110 °С, а укладывают при 5...40 °С. К холодным относят также асфальтобетонные*

смеси на битумных эмульсиях, укладываемые при нормальной температуре.

Формирование структуры горячего и теплого бетона в основном заканчивается через несколько часов после уплотнения. У холодного асфальтобетона, затвердевающего в результате окисления, испарения и частичного поглощения вяжущего вещества основанием, этот процесс может продолжаться до 20...30 сут в зависимости от условий окружающей среды (температуры, влажности). Удобообрабатываемость асфальтобетонных смесей в отличие от бетонных смесей на неорганических вяжущих не нормируется, но по аналогии с ними асфальтобетонные смеси условно разделяют на *жесткие, пластичные и литые*. Жесткая асфальтобетонная смесь легко раскладывается по основанию, но требует значительного уплотнения. Масса пластичного бетона труднее раскладывается, но уплотняется легче, чем масса жесткого бетона. Литые асфальтобетонные смеси трудно раскладывать, но уплотняются они при небольших усилиях.

Выбор типа асфальтового бетона производят по его назначению и наличию уплотняющих механизмов. Для уплотнения жестких и пластичных асфальтобетонов применяют катки тяжелого и среднего веса, а для литых — катки малого веса и даже ручные.

### ■ Сырье.

Ввиду различных условий эксплуатации, климатических условий, продолжительности периода производства работ и т. п. для изготовления асфальтовых бетонов используют как вязкие, так и жидкие битумы и другие органические вяжущие, свойства и требования к которым описаны выше.

● *Минеральный порошок* в асфальтобетоне играет роль добавки, структурирующей битум и образующей с ним асфальтовое вяжущее вещество, которое во многом обуславливает плотность, прочность и теплоустойчивость асфальтобетона. Тонкий минеральный порошок получают помолот известняков, доломитов и других карбонатных пород, основных доменных шлаков и других материалов. Важными характеристиками качества минерального порошка являются тонкость помола и коэффициент гидрофильности. Степень измельчения должна быть такой, чтобы при мокром расसेве порошок полностью проходил через сито с отверстиями 1,25 мм, а содержание частиц мельче 0,071 мм было не менее 70 % по массе. Коэффициент гидрофильности — отношение

объема испытуемого порошка после набухания в течение 3 сут в воде к объему при набухании в керосине — должен быть не более единицы.

● **Щебень** для асфальтобетона получают дроблением массивных горных пород и металлургических шлаков. Щебень, полученный из основных пород (известняка, доломита, базальта, диабазы и т. п.), характеризуется лучшей адгезией к битуму (дегтю), чем щебень из кислых горных пород (гранита, андезита, диорита, порфира и др.). Содержание в щебне зерен лещадной или игловатой формы ограничено стандартами. Строго ограничивается также количество пылеватых и глинистых частиц (не более 1...2 %). Для получения достаточной плотности минеральной части асфальтобетонной смеси щебень должен быть разделен по фракциям (20...40, 10...20, 5...15, 5...10 мм).

● **Песок** для асфальтобетонных смесей применяют как природный, так и искусственный, полученный при дроблении тех же горных пород, что и для щебня. Модуль крупности песка должен быть более 2. Мелкозернистый песок используют только при его обогащении добавками крупного. Количество пылеватых, глинистых и илистых частиц ограничивается 3 % в природном песке и 5 % — в искусственном.

При изготовлении асфальтобетонов целесообразно использовать поверхностно-активные добавки (0,2...0,5 % от массы битума). Эти вещества улучшают прилипание битума к поверхности минеральных материалов и их смачивание битумом. В результате улучшается удобоукладываемость асфальтобетонных смесей, повышается производительность смесительных установок, ускоряются процессы формирования структуры асфальтобетонов на жидких битумах и замедляется «старение» высоковязких битумов, снижается стоимость строительства.

#### ■ Структура и состав.

Определение состава асфальтового бетона заключается в выборе соотношения между компонентами, при котором обеспечиваются его оптимальная структура и заданные технические свойства. Оптимальной является такая структура, при которой минеральные зерна разной крупности контактируют через прослойки вязущего вещества. Общее количество вязущего при этом должно быть предельно минимальным, но достаточным для образования сплошной пространственной сетки в монолите и обеспечения необходимой удобообрабатываемости

асфальтобетонной смеси на всех стадиях технологии, особенно при уплотнении.

Значительные исследования теории структуры, прочности асфальтовых бетонов, технологии их приготовления и укладки, повышения долговечности проведены советскими учеными П. В. Сахаровым, Н. Н. Ивановым, В. В. Охотинным, И. А. Рыбьевым и др. На основе этих исследований ими предложены методы определения (проектирования) составов асфальтобетона.

Состав асфальтовых бетонов и растворов выражается обычно процентным содержанием (по массе) щебня, песка, минерального порошка и битума (обычно 5...10 %). В практике часто определяют состав асфальтобетона, пользуясь готовыми таблицами или кривыми для разных асфальтобетонных смесей, приведенными в нормативных документах.

#### ■ Производство.

Приготовление асфальтового бетона начинают с заводского производства асфальтобетонной смеси и заканчивают ее укладкой и уплотнением в покрытии на строительном объекте, а при изготовлении штучных изделий — на том же заводе. Исходные минеральные материалы подвергают предварительной сушке и нагреву до рабочих температур (180...200 °С), а затем разделяют по фракциям, точно дозируют и подают в смеситель периодического или непрерывного действия, куда одновременно поступает предварительно подогретый (до 150...170 °С) и отдозированный битум. Далее готовую асфальтобетонную смесь обычно в автосамосвалах отправляют на место укладки. Укладку асфальтобетонной массы производят на подготовленное основание специальными машинами — асфальтоукладчиками. Горячую и теплую смесь раскладывают слоем, на 15...20 % превышающим толщину покрытия, а для холодных смесей — 50...60 %. Уложенный слой массы уплотняют моторными статическими (массой 5...14 т) или более эффективными вибромоторными катками (массой 0,5...4,5 т).

#### ■ Свойства.

В отличие от цементного бетона свойства асфальтового бетона в значительной мере изменяются от температуры.

Предел прочности асфальтового бетона при сжатии сравнительно невелик, но достаточен, чтобы противостоять реальным напряжениям, возникающим в покрытиях. При температуре 20 °С для дорожного горячего асфальтобетона он должен быть не менее 2,2...2,4 МПа. С пони-

жением температуры сопротивление сжатию резко возрастает, а при  $-15...-25^{\circ}\text{C}$  сопоставимо с прочностью цементного бетона. С повышением температуры прочность, наоборот, снижается до  $1,0...1,2$  МПа при  $50^{\circ}\text{C}$ . В определенном температурном интервале асфальтовый бетон хорошо сопротивляется ударным воздействиям. Он обладает достаточно хорошей износостойкостью и водостойкостью. Его износ составляет  $0,2...1,5$  мм в год, а коэффициент размягчения не менее  $0,9$ .

По сравнению с цементным бетоном асфальтовый бетон может деформироваться в покрытии (волны, трещины) не только при недостаточной прочности при сжатии, растяжении или сдвиге, но и вследствие малой пластичности при пониженных температурах или чрезмерной пластичности при повышенных температурах.

#### ■ Применение.

Основное применение асфальтовые бетоны нашли в дорожном строительстве. Крупнозернистые бетоны используют для устройства нижнего слоя дорожного покрытия; среднезернистые — однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойного покрытия; мелкозернистые — для верхнего слоя покрытий с интенсивным движением. Песчаный асфальтобетон применяют для покрытия тротуаров, полов в промышленных зданиях, устройства плоских кровель, гидроизоляционных слоев и т. п.

В отличие от горячего и теплого холодный асфальтобетон можно укладывать в сырую и холодную погоду, его можно длительное время хранить на складах, создавая запас на заводе зимой, а раскладывать с наступлением весны. Стоимость холодного асфальтобетона ниже, чем асфальтобетона горячей укладки, но он уступает горячему по прочности и долговечности и со временем приобретает повышенную скользкость.

● *Дегтебетон* изготавливают из тех же минеральных материалов, что и асфальтовый бетон, но в качестве вяжущего используют не битум, а каменноугольный деготь повышенной вязкости, чаще составленный из пека и каменноугольного масла. Дегтебетон уступает асфальтобетонам по атмосферостойкости, теплоустойчивости, водо- и износостойкости, прочности при сжатии. При длительном воздействии воды из дегтебетона могут вымываться некоторые растворимые компоненты дегтей (фенолы), обладающие токсичностью и отравляющие грунтовые воды и водоемы. Его применяют для устройства покрытий на дорогах второстепенного значения и в ненаселенных пунктах.

● *Асфальтополимербетон* готовят, используя в качестве вяжущего гудроны и тяжелые нефти, моди-

фицированные полимером (латексом, бутилкаучуком и др.). Применяют для устройства монолитных и сборных противофильтрационных экранов и облицовок гидросооружений, возводимых в районах Крайнего Севера.

#### *Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы*

Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы позволяют надежно и длительный период эксплуатировать сооружения. От их долговечности во многих случаях зависит и долговечность конструкций.

● *Кровельные материалы* должны обладать не только прочностью, но и атмосферостойкостью, водостойкостью, водонепроницаемостью и теплостойкостью.

● *Гидроизоляционные материалы* подвергаются часто значительному напору воды, в том числе содержащей примеси. Кроме свойств, присущих кровельным материалам, они должны иметь повышенную прочность и водонепроницаемость, химическую стойкость, а также достаточную эластичность, чтобы не могли возникнуть трещины и разрывы вследствие возможных усадочных, температурных и других деформаций изолируемых конструкций.

Указанным требованиям в значительной степени удовлетворяют кровельные и гидроизоляционные материалы, получаемые на основе битумов и дегтей.

Битумные и дегтевые рулонные кровельные материалы, несмотря на некоторые существенные недостатки по сравнению с асбестоцементными и черепицей (меньшая долговечность и огнестойкость, необходимость устройства для их укладки сплошной обрешетки), широко применяют в строительстве, особенно в промышленном. Они позволяют устраивать кровли с малым уклоном, плоские кровли и крыши сложной конфигурации; при их применении сокращаются расходы на эксплуатацию кровли в условиях агрессивной среды и т. п.

В общем объеме всех видов кровельных материалов около 50 % приходится на долю мягкой кровли.

Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов и дегтей делят на *рулонные, листовые и штучные изделия, обмазочные материалы — мастики, эмульсии и пасты, а по виду вяжущих — на битумные, дегтевые, гидрокамовые, резинобитумные, битумо- и дегтеполимерные.*

Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы могут быть двух типов — *основные* и *безосновные*. Основные материалы изготовляют путем обработки органическим вяжущим основы — кровельного картона, стеклоткани, стекловолокна, металлической фольги, асбестового картона и т. п. Безосновные материалы получают в виде полотнищ заданной толщины прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей из органического вяжущего, порошкового или волокнистого наполнителя и специальных добавок. Наибольшее распространение в строительстве имеют материалы первого типа, некоторые представители их впервые были изготовлены в 1877 г. в России инж. А. А. Летним.

В зависимости от *класса сооружений, климатических и эксплуатационных условий, уклона кровли* рулонные материалы укладывают в *один*, а чаще в *несколько слоев*, которые образуют монолитное покрытие, называемое кровельным ковром.

В соответствии с *назначением* рулонные материалы, имеющие основу, делят на два вида: *покровные* и *беспокровные*. Покровные материалы, применяемые главным образом для верхней части кровельного ковра, получают пропиткой основы органическими вяжущими и нанесением на нее с двух сторон покровного слоя из более тугоплавких органических вяжущих, часто с добавкой в них наполнителей, антисептиков и других компонентов. Покровный слой воспринимает атмосферные воздействия. Беспокровные материалы, предназначенные для нижней и средней частей кровельного ковра, покровного слоя не имеют.

#### ■ Покровные материалы на основе.

Большую часть мягкой кровли выполняют из рулонных материалов, изготовленных на основе кровельного картона, который вырабатывают из смеси хлопчатобумажного, льняного и шерстяного тряпья, бумажной макулатуры и целлюлозы. Такой картон обладает хорошей впитывающей способностью, обеспечивающей практически полную пропитку его расплавленными битумными или дегтевыми композициями, достаточной прочностью на разрыв. В зависимости от массы  $1 \text{ м}^2$  (в г) кровельный картон разделяют на марки: 500, 400, 350, 300, 250. Чем больше марка картона, тем выше его прочность на разрыв и тем выше качество рулонного материала.

К покровным рулонным материалам на картонной

основе относят рубероид, толь, дегтебитумные и гидрокамовые рулонные материалы.

● *Рубероид* выпускают в виде полотнищ, обычно по ширине кровельного картона — 1000, 1025, 1050 мм, свернутых в рулоны площадью 7,5 и 15  $\text{м}^2$ . Его изготовляют пропиткой кровельного картона расплавленным мягким нефтяным битумом с последующим покрытием материала с обеих сторон тугоплавким битумом. Для повышения тепло-, влаго- и светостойкости кровельного рубероида в битум покровного слоя часто вводят наполнитель в виде тонкого порошка из известняка, доломита, талька, коротковолокнистого асбеста и т. п. Лицевая поверхность кровельного рубероида имеет чешуйчатую слюдяную, крупно- или мелкозернистую посыпку. Посыпки придают материалу повышенную атмосферостойкость, понижают возгораемость, предотвращают слипание в рулонах, улучшают внешний вид кровли. На нижнюю поверхность кровельного и обе поверхности подкладочного рубероида наносят мелкозернистую или пылевидную посыпку, которая предотвращает слипание материала в рулонах.

В зависимости от назначения, вида посыпки лицевой поверхности и марки кровельного картона рубероид делят на 14 марок: РКК-500А; РКК-400А (Б и В); РКМ-350Б (В); РПМ и РПП-300А (Б и В); РКЧ-350Б (В). Буква Р в марке означает — рубероид; буквы К и П — кровельный или подкладочный. Третьи буквы К, М, П, Ч — вид посыпки — крупнозернистая, мелкозернистая, пылевидная, чешуйчатая, а числа после буквы означают марку картона.

Для верхнего слоя скатных и пологих кровель рекомендуется применять рубероид марок РКК, РКМ, РКЧ как на горячей, так и на холодной мастиках, а для подкладочных слоев — марок РПМ и РПП, который иногда используют также для оклеечной гидроизоляции.

Для районов с низкой температурой эксплуатации вырабатывают *рубероид с эластичным покровным слоем* (РЭМ-350) путем модификации покровного битума специальными полимерами или применением резинобитумного вяжущего. Этот рубероид обладает повышенной прочностью, погодо- и трещиностойкостью при отрицательных температурах.

Освоено производство так называемого *наплавляемого рубероида*, который в отличие от обычного имеет более толстый покровный слой (0,6...2 мм) с обеих сторон

из тугоплавкого битума. Такой рубероид наклеивают расплавлением нижнего покровного слоя пламенем горелки или другими средствами нагрева. При этом не требуется кровельной мастики, обеспечивается повышение производительности и улучшение условий труда при производстве кровельных работ, снижается стоимость устройства кровли.

● *Толь кровельный покровный* является материалом, аналогичным рубероиду, но для его получения кровельный картон пропитывают и покрывают не битумом, а каменноугольным дегтем и на поверхность наносят слой минеральной посыпки (крупнозернистой или песочной). Толь с крупнозернистой посыпкой (марок ТКК-350, ТКК-400) покрыт с обеих сторон дегтем с более высокой температурой размягчения, чем деготь, которым пропитана его основа — кровельный картон. Он более долговечен, чем толь с песочной посыпкой (марок ТКП-350, ТКП-400), у которого пропиточный и покровный слои из одинаковых дегтепродуктов. Их можно применять для верхнего и нижнего слоев кровельного ковра пологих и плоских кровель на горячих дегтевых мастиках. Толь менее долговечен, чем рубероид, так как дегтевые вяжущие «стареют» быстрее, чем битумные, но более биостоек и дешевле рубероида.

#### ■ Рулонные покровные материалы.

Эти материалы изготовляют не на картоне, а на более прочной и не подвергающейся гниению основе — стеклоткапи, стекловолокне, металлической фольге и т. п.; к ним относятся стеклорубероид, кровельный стекловолок (стеклоизол), гидростеклоизол кровельный и подкладочный, фольгоизол.

● *Стеклорубероид и стеклоизол* изготовляют путем двустороннего нанесения тугоплавкого, биостойкого битумного, резинобитумного или битумно-полимерного вяжущего на стекловолокнистую основу. При этом толщина слоя вяжущего превышает толщину стеклоосновы. Образующиеся покровные пленки из органических вяжущих покрывают сплошным слоем посыпки (крупнозернистой, чешуйчатой, мелкозернистой). Эти материалы более долговечны, чем рубероид и толь. Их применяют для покрытия многослойных плоских водоналивных кровель, оклеечной гидро- и пароизоляции, укладывая на горячих и холодных битумных мастиках.

● *Гидростеклоизол* — кровельный и подкладочный — представляет собой полотнища длиной 3...10 м, шириной

до 1 м, толщиной 4...6 мм, изготовленные путем покрытия с обеих сторон предварительно пропитанной стеклоткани слоем битума или гидроизоляционной асфальтовой мастики. Их применяют для устройства кровельных ковров плоских кровель, а подкладочный гидростеклоизол — в качестве одного из слоев гидроизоляции железобетонных отделок туннелей метрополитена и других инженерных сооружений.

● *Стеклобит* — новый рулонный материал, представляющий собой стеклосетку, покрытую битумно-резиновой мастикой с толщиной покровного слоя до 4 мм. Применяют для уплотнения швов и перекрытия трещин путем приклеивания с разогревом огневыми форсунками.

● *Фольгоизол* состоит из тонкой рифленой или гладкой алюминиевой фольги толщиной 0,08...0,3 мм, покрытой с одной стороны защитным битумно-резиновым вяжущим толщиной 0,8...4 мм. Толщина фольги и защитного слоя зависит от назначения фольгоизола и класса сооружений. Для предохранения покровного слоя фольгоизола на него иногда наносят полимерную пленку. Фольгоизол отличается высокой прочностью на разрыв, гибкостью, водонепроницаемостью и долговечностью. Не требует ухода в течение всего периода эксплуатации. Применяют фольгоизол для устройства кровель и паро-гидроизоляции ответственных зданий и сооружений, герметизации стыков панелей. Благодаря отражательной способности фольги кровли из этого материала на солнце нагреваются значительно меньше, чем аналогичные кровли черного цвета.

● *Фольгопергамин* создан для гидроизоляционной защиты теплоизоляции наружных трубопроводов. Это двухслойный рулонный материал из тонкой рифленой фольги и наклеенного на нее специальным битумным вяжущим пергамина. Такой материал имеет по сравнению с фольгоизолом повышенную жесткость, что делает его более удобным при монтаже и эксплуатации.

● *Металлоизол* состоит из алюминиевой фольги толщиной 0,05 и 0,1 мм, покрытой с обеих сторон битумной мастикой. Этот водонепроницаемый и долговечный материал имеет высокую прочность на разрыв и хорошую гибкость. Его применяют для оклеечной гидроизоляции подземных сооружений.

#### ■ Беспокровные рулонные материалы на основе.

Материалы этой группы имеют основу в виде кровельного картона (пергамин и толь беспокровный) или

асбестового картона (гидроизол), но не имеют покровно-го слоя и минеральной посыпки.

● При пропитке кровельного картона нефтяным битумом получают *пергамин* марок П-300 и П-350, а при пропитке дегтепродуктами — *беспокровный* толь марок ТГ-300 и ТГ-350 (толь гидроизоляционный). Пергамин используют в качестве подкладочного слоя под рубероид, а также при устройстве пароизоляции, укладывая на горячих битумных мастиках. Толь беспокровный марок ТГ предназначен для кровель как подкладочный материал под толь с крупнозернистой посыпкой в многослойных плоских кровлях и для пароизоляции, а также для оклеечной гидроизоляции над фундаментами и других целей с укладкой на горячих дегтевых мастиках.

● В *гидроизоле* основа — асбестовый картон, пропитан нефтяным окисленным битумом. По физико-механическим свойствам гидроизол бывает двух марок ГИ-Г и ГИ-К. Лучшие показатели по водонепроницаемости, водонасыщению и прочности у марки ГИ-Г. Гидроизол более долговечен, чем рулонные материалы на обычном кровельном картоне. Он нашел широкое применение для оклеечной гидроизоляции в подземных сооружениях, многослойных плоских кровлях, для противокоррозионных покрытий металлических трубопроводов.

#### ■ **Безосновные рулонные материалы.**

Эти материалы могут быть резинобитумными и резинодегтевыми, битумно- или дегтеполимерными, гудрокамовыми и гудрокамополимерными. Они обладают способностью к большим пластическим деформациям, не разрываются и не отделяются от основания даже при значительных деформациях изолируемых конструкций. Наибольшее применение получили резинобитумные рулонные материалы — бризол и особенно изол.

● *Рулонный изол* изготавливают методом вальцевания и последующего каландрирования смеси резинобитумного вяжущего, асбестовых волокон, пластификатора и антисептика и других добавок, в виде полотнищ шириной 800 и 1000 мм, толщиной 2 мм, которые свертывают в рулоны площадью 10 м<sup>2</sup>. Он обладает незначительным водопоглощением, эластичен даже при отрицательных температурах, гниlostоек и долговечен. Изол применяют для оклеечной гидроизоляции фундаментов, подвалов, бассейнов, резервуаров, антикоррозионной защиты трубопроводов, для покрытия пологих и плоских кро-

вель. Приклеивают изол горячим битумом или битумной мастикой изол.

● *Бризол* — рулонный безосновный гидроизоляционный материал, который изготавливают так же, как и изол, но используют смесь, состоящую из нефтяного битума, резиновой крошки, асбеста и пластификатора. Этот материал эластичен, стоек к некоторым агрессивным средам, погодостоек, гниlostоек. Бризолом защищают от коррозии металлические трубопроводы и подземные сооружения от воздействия грунтовых вод.

■ **Обмазочные материалы** (мастики, эмульсии и пасты).

Их используют для приклеивания и склеивания рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов, устройства безрулонных кровель, гидроизоляции и других целей.

● *Мастиками* называют искусственные пластичные смеси, получаемые смешением органических вяжущих с минеральными (иногда органическими) наполнителями и добавками (пластифицирующими, уплотняющими, антисептирующими и др.).

По *виду вяжущего* материала мастики разделяют на *битумные, дегтевые, резинобитумные, битумно- или дегтеполимерные, гудрокамовые* и др.

По *способу изготовления и применения* различают мастики горячие, применяемые с предварительным подогревом (до 160...180 °С — битумные и резинобитумные мастики и до 130...150 °С — дегтевые и гудрокамовые), и *холодные*, используемые без подогрева при температуре окружающего воздуха выше 5 °С и подогревом до 60...70 °С — при более низких температурах.

● *Наполнители*, вводимые в мастики для повышения теплостойкости и уменьшения хрупкости (при пониженных температурах), а также для сокращения расхода вяжущего, разделяют на *пылевидные, волокнистые и комбинированные* (смесь пылевидного и волокнистого наполнителей). Пылевидный наполнитель в виде тонкомолотого порошка изготавливают из известняка, мрамора, кварца, мела, доломита, кирпича, талька, трепела, золы минеральных видов топлива и т. п. Волокнистым наполнителем может быть асбестовая пыль, коротковолокнистые асбест и минеральная вата и др.

*Горячие мастики* подразделяют на кровельные (приклеивающие), *кровельно-гидроизоляционные и гидроизоляционные асфальтовые*.

*Кровельные мастики* могут быть битумными, дегтевыми, резинобитумными и гудрокамовыми. Каждой мастике присвоено условное обозначение (марка), означающее название мастики и ее теплостойкость. Мастики битумные кровельные горячие разделяют на марки МБК-Г-55, 65, 75, 85, 100; дегтевые — на марки МДК-Г-50, 60, 70; резинобитумные — на марки МБР-65, 75, 90, 100 и гудрокамовые — МГ-Г-70. Цифра в марке мастики характеризует ее теплостойкость (в °С). Кровельные мастики используют для склеивания рулонных материалов при устройстве многослойных кровель и гидроизоляции.

*Кровельно-гидроизоляционные мастики* могут быть гудрокамополимерные и резинобитумные. Такие мастики по сравнению с горячими битумными и дегтевыми мастиками обладают повышенной эластичностью, гибкостью и морозостойкостью. Их используют для устройства безрулонных кровель, гидроизоляции, а также в качестве приклеивающего материала.

*Гидроизоляционные асфальтовые мастики* состоят в основном из нефтяного битума и минерального наполнителя. Их выпускают трех категорий (1, 2, 3), различающихся по теплостойкости от 90...105 до 60...70 °С. Такие мастики предназначены для устройства литой и штукатурной изоляции, а также для изготовления асфальтовых материалов и изделий (например, плит).

Все горячие мастики при температуре  $18 \pm 2$  °С должны быть однородными, твердыми и не содержать частиц наполнителя, не покрытых связующим. При рабочих температурах мастики должны легко растекаться на ровной поверхности слоем до 2 мм, а при затвердевании давать прочное клеевое соединение.

*Холодные мастики* готовят путем разбавления битумного, битумно-резинового, гудрокамового вяжущего растворителем и добавлением в эту смесь наполнителя и, если требуется, специальных добавок (пластификатора, антисептика и др.). Разбавителями для получения холодных мастик служат жидкие органические вещества, которые делят на летучие (бензин, лигроин, уайт-спирит, керосин, зеленое масло) и нелетучие (нефтяные масла, мазут, масляный гудрон, жидкие нефтяные битумы и т. п.).

Холодные мастики применяют для склеивания рулонных кровельных материалов, для устройства гидро- и пароизоляции. Гудрокамовые и особенно битумно-резиновые холодные мастики обеспечивают более высокое качество склейки рулонных материалов и гидроизоляционных покрытий на них, чем битумные холодные мастики.

Вследствие сохранения пластичности холодными мастиками, даже при пониженных температурах, слои из них тоньше, чем из горячих мастик, что позволяет сократить расход битума. Кроме того, применение холодных

мастик позволяет удлинить сезон кровельных работ и улучшить условия труда рабочих.

Мастики всех видов необходимо хранить в закрытых складах в специальной герметической упаковке. При близких расстояниях от места изготовления до места использования мастики и эмульсии транспортируют в специально приспособленных машинах — автогудропаторах, в других случаях их доставляют в холодном виде в закрытой таре, защищенными от увлажнения и воздействия солнечных лучей.

■ **Герметизирующие материалы (герметики) на основе битумов.**

Строительные герметики в основном предназначены для герметизации стыков наружных стеновых панелей и блоков, усадочных и температурных швов в строительных конструкциях. Герметизирующие материалы должны быть влаго-, паро- и газонепроницаемыми, тепло- и морозостойкими и не должны изменять своих свойств в течение всего времени эксплуатации зданий. Таким требованиям могут удовлетворять как специальные мастики, так и эластичные прокладки, изготавливаемые на основе стойких полимеров (см. гл. 13). Здесь остановимся только на герметиках, изготавливаемых с применением битумов.

В номенклатуре герметизирующих материалов различают три группы: вулканизирующиеся пасты, пастоэластичные мастики и профильные эластичные прокладки. Герметики, изготавливаемые на основе битумов и широко применяемые в строительстве, выпускают в виде мастики «изол Г-М» и эластичных прокладок — пороизол.

● *Мастику «изол Г-М»* изготавливают на основе резинобитумного вяжущего с добавлением высокомолекулярного полиизобутилена, обеспечивающего эластичность даже при отрицательных температурах, канифоли, кумаровой смолы, коротковолокнистого асбеста и антисептика. Такую мастику применяют как в горячем виде (80...100 °С), так и в холодном состоянии с добавкой разбавителя (бензина, лигроина, зеленого масла и др.), вводя ее в стыки методом шприцевания с помощью сжатого воздуха (рис. 12.2).

● *Пороизол* выпускают в виде эластичных пористых полос прямоугольного сечения 30×30 и 40×40 мм — для герметизации горизонтальных стыков панелей и в виде жгутов диаметром 10...60 мм — для герметизации вертикальных стыков (рис. 12.3).

Его изготовляют путем вулканизации газонаполненной резины, модифицированной нефтяными дистиллятами. Пороизол марки М имеет на поверхности незакрытые поры и применяется только после его покрытия холодной мастикой изол, закрывающей поры. Пороизол марки П имеет на поверхности защитную оболочку, что позво-

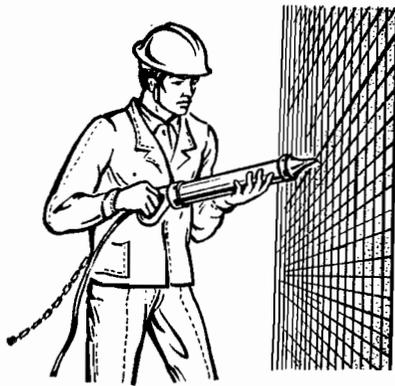


Рис. 12.2. Заделка стыков мастикой с помощью пневматического шприца

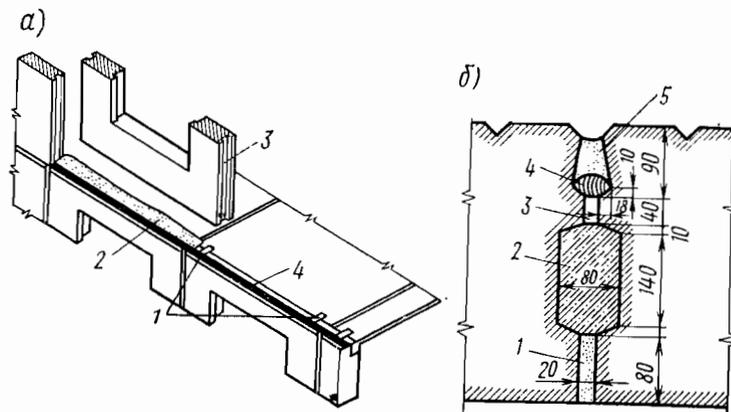


Рис. 12.3. Схемы герметизации стыков наружных стеновых панелей крупнопанельного здания прокладками пороизола:

а — горизонтального стыка; 1 — маяки; 2 — гидрофобный раствор; 3 — стеновая панель; 4 — жгут пороизола; б — вертикального стыка: 1 — цементный раствор; 2 — легкий бетон; 3 — воздушная прослойка; 4 — пороизол; 5 — гидрофобный раствор

ляет использовать этот материал для герметизации без мастики. Пороизол сохраняет эластичность в широком температурном диапазоне от  $+80$  до  $-50$  °С. Для придания пороизолу герметизирующих свойств перед установкой в шов его сжимают (марки М — на 30...50 %, марки П — на 15...25 % первоначального объема).

### 12.3. Методика преподавания вяжущих и материалов на основе битумов и дегтей

Вяжущие и материалы на основе битумов, дегтей как в чистом виде, так и в сочетании с другими материалами (смешанные вяжущие) широко используют в строительстве. В одних случаях такие материалы выполняют конструктивно-защитные функции (например, асфальтовые растворы и бетоны в дорожном строительстве), а в других — защитные (например, гидроизоляционные покрытия), позволяющие значительно увеличить долговечность защищаемых ими конструкций. Поэтому учащимся любой строительной специальности и квалификации необходимо, разумеется, в разной степени подробности, знать эти материалы, чтобы грамотно их применять в будущей практической деятельности.

Методика преподавания этой группы вяжущих и материалов на их основе должна базироваться на логической связи состава и строения вяжущего вещества и материала с вытекающими из этого свойствами. Знание состава, строения и свойств позволит перейти к изложению способов перевода этих материалов в рабочее состояние, наиболее рациональных областей и особенностей их применения в конкретных условиях эксплуатации.

С целью систематизации преподавание битуминозных вяжущих следует начинать с их классификации.

Затем, учитывая, что свойства битумов и дегтей зависят от их состава, который, в свою очередь, обусловливается характером использованного сырья и технологическим процессом производства, необходимо изложить сырьевые источники и общие технологические принципы их переработки в вяжущее. При этом необходимо обратить особое внимание учащихся на принципиальные различия между технологией получения остаточных и окисленных нефтяных битумов, отогнанных и составленных каменноугольных дегтей, а также различных смешанных вяжущих на их основе.

При характеристике состава вяжущих следует дать

общие сведения об элементарном химическом составе, а главное внимание уделить групповому или фракционному составу вяжущих, рассмотрев характерные признаки основных групповых компонентов битума (масел, смол, асфальтенов и асфальтогеновых кислот) и основных фракций дегтя (легких, средних, тяжелых и антраценовых масел и пека). Групповые компоненты образуют сложную дисперсную систему в битумах и дегтях, поэтому соотношение между групповыми компонентами предопределяет структуру битумов и дегтей и влияет на их механические, физические и химические свойства.

При изучении свойств вяжущих особое внимание следует обратить на вязкость, пластичность, теплостойкость и другие свойства, важные для выбора области применения вяжущих. Необходимо ознакомить учащихся с методиками определения основных свойств вяжущих, с маркировкой их в соответствии с действующими ГОСТами.

Далее следует рассказать о номенклатуре материалов и изделий, изготовляемых на основе битуминозных вяжущих.

В зависимости от профиля строительной специальности и категории специального учебного заведения (техникум, ПТУ) степень подробности изложения и выбор номенклатуры материалов и изделий на основе битуминозных вяжущих могут быть различны. Однако в любом случае, особенно в ПТУ, главное внимание должно быть уделено усвоению свойств материалов и особенностей их применения, методам оценки качества материалов, хранению и транспортированию их, условиям работы с ними и т. д. Кроме того, учащийся должен знать общие сведения о составе и принципах получения материала.

При изучении асфальтовых бетонов (дегтебетонов) и растворов следует дать общие понятия об этих материалах, выявить разновидности, способы подготовки и схемы объединения материалов, применяемых для их изготовления. Более подробно необходимо остановиться на свойствах асфальтобетонов, особенно для дорожных и гидротехнических сооружений, и на их отличии от бетонов на минеральных вяжущих. Учащимся техникумов даются общие представления о современной теории асфальтобетонов и методах определения оптимальных составов таких бетонов, учащимся ПТУ сообщают лишь

общие принципы выбора состава и подробнее типовые составы, принципы их приготовления, укладки и уплотнения.

Излагая кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битуминозных вяжущих, необходимо подчеркнуть общее в этих материалах и разницу между ними и на основе этого дать общую их классификацию. Особое внимание необходимо уделить изучению рулонных материалов всех видов (основных и безосновных, беспокровных и покровных), а также обмазочным материалам (мастикам, пастам, эмульсиям):

При изложении отдельных видов материалов следует остановиться на основных их свойствах, видах выпускаемой продукции и ее маркировке, общих сведениях по технологии производства и применения, насыщая излагаемый материал иллюстрациями в виде коллекций материалов, плакатов, слайдов, кинофрагментов и т. п. Кроме текущего контроля в заключение изучения главы рекомендуется провести семинар.

## Глава 13

### МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПЛАСТМАСС

#### 13.1. Общие сведения

● *Пластмассы (пластические массы)* — большая группа материалов с самыми разнообразными свойствами, используемых в строительстве для отделки, тепло- и гидроизоляции и многих других специальных целей. Объединяет эти материалы то, что в их составе обязательно присутствует полимер, который в период формования изделий находится в вязкотекучем (пластическом) состоянии (отсюда название «пластмассы»), а в готовом изделии — в твердом состоянии.

Пластмассы — относительно новый вид материалов, так как в них используют, как правило, синтетические полимеры, производство которых началось лишь в XX в. Основные виды пластмасс (полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол) начали производить в больших масштабах только в 40...50-х годах.

Несмотря на молодость, пластмассы прочно заняли свои позиции именно им позиции в ряду строительных материалов.

Быстрое внедрение в практику строительства относительно дорогих и в ряде случаев дефицитных материалов объясняется наличием у пластмасс целого комплек-

са ценных свойств; малой плотности при значительной прочности, стойкости к различным агрессивным воздействиям, низкой теплопроводности, хорошей декоративности. Важнейшими положительными свойствами пластмасс являются легкость их технологической переработки — возможность придания им разнообразной формы литьем, прессованием, экструзией (выдавливанием) и высокая заводская готовность изделий. Причем процесс их изготовления поддается полной механизации и автоматизации. Пластмассы хорошо свариваются и склеиваются как между собой, так и с другими строительными материалами (древесиной, металлом и др.).

Вместе с тем пластмассы не лишены недостатков. Большинство пластмасс горючи и обладают невысокой теплостойкостью (предельные рабочие температуры для многих из них 100...150 °С, а некоторые начинают размягчаться уже при 60...80 °С). Имея высокую начальную прочность, пластмассы под действием длительных нагрузок даже при нормальной температуре проявляют большие пластические деформации (ползучесть). Длительное воздействие солнечных лучей, повышенной температуры в сочетании с кислородом воздуха может вызвать «старение» пластмасс, т. е. изменение их эксплуатационных свойств (прочности, цвета и др.).

В настоящее время производят большое количество пластмасс (несколько тысяч видов) самого разнообразного назначения, постоянно появляются новые виды полимерных материалов и улучшаются свойства известных пластмасс. Пластмассы могут заменить практически все строительные материалы. Но в ряде случаев вследствие их высокой стоимости, дефицитности и присущих им недостатков такая замена нецелесообразна (например, массовое применение пластмасс в качестве материала для основных несущих и ограждающих конструкций зданий).

В современном индустриальном строительстве пластмассы заняли свое специфическое место. Это высококачественные *отделочные материалы* (декоративные пленки, линолеум, бумажно-слоистый пластик); эффективные *теплоизоляционные материалы* (пено, поро- и сотопласты); *гидроизоляционные и герметизирующие материалы* (пленки, прокладки, мастики); *погонажные изделия* (поручни, плинтусы, раскладки); трубы; *санитарно-технические изделия*. Рационально применение пластмасс в легких ограждающих конструкциях (трехслойные панели с полимерным утеплителем). Особое место занимают по-

лимерные клеи, а также полимербетоны, используемые для устройства химически стойких покрытий, ремонта и усиления конструкций зданий, работающих в агрессивных условиях.

Исследованиями установлено, что применение 1 т полимерного сырья в строительстве позволяет экономить в среднем 2100 руб. приведенных затрат, в том числе около 44 чел-дн трудовых затрат, а также примерно 6 м<sup>3</sup> леса и до 1,5 т металла.

### 13.2. Основные компоненты пластмасс

Основным и обязательным компонентом пластмасс является полимер, но только лишь некоторые строительные пластмассы целиком состоят из полимера (например, органическое стекло, состоящее из полиметилметакрилата). В состав большинства пластмасс входят и другие компоненты: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, красители и др.

#### ■ Полимеры для строительных пластмасс.

Полимер в пластмассах выполняет роль связующего, аналогично цементу в бетонах. От вида полимера, его свойств и количества зависят важнейшие свойства этих многокомпонентных материалов.

● *Полимерами называют вещества, молекулы которых представляют собой цепь или пространственную решетку последовательно соединенных одинаковых групп атомов, повторяющихся большое количество раз.* Молекулярная масса полимеров очень велика (от нескольких тысяч до миллионов). Полимерные вещества существуют в природе (крахмал, целлюлоза, белки), но подавляющее большинство полимеров, используемых для получения пластмасс, — синтетические.

● *Исходные вещества, из которых синтезируют полимеры, называют мономерами.* Это обычно довольно простые и доступные продукты, получаемые из нефти, газа, угля и других широко распространенных веществ. Синтетические полимеры получают двумя различными способами — *полимеризацией* и *поликонденсацией*. Полимеризацией получают такие широко распространенные полимеры, как полиэтилен, поливинилхлорид и полистирол, а поликонденсацией — фенолформальдегидные, эпоксидные, полиэфирные полимеры. Часто процесс поликонденсации ведут так, что образуются продукты с не очень высокой молекулярной массой (до 1000), способные

к дальнейшим взаимодействиям. Эти вещества, обычно вязкие жидкости, называют *олигомерами* (например, некоторые эпоксидные и полиэфирные смолы до их отверждения).

● *Термопластичные полимеры* способны многократно размягчаться и отвердевать при попеременном нагревании и охлаждении. Большинство из них хорошо растворимы в органических растворителях. Характерной особенностью многих термопластичных полимеров является быстрое снижение механических свойств при повышении температуры. Все эти свойства обусловлены линейным строением молекул полимера, их малой связью друг с другом, снижающейся при нагревании, и неспособностью к образованию сетчатых (сшитых) макромолекул. Примером термопластичных полимеров могут служить полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид.

● *Термореактивные полимеры* в отличие от термопластичных отвердевают необратимо. Отверждение происходит в результате сшивания линейных молекул в пространственные структуры как с помощью отверждающих добавок (отвердителей, вулканизаторов), так и за счет активных групп самих полимеров. В неотвержденном состоянии термореактивные полимеры обычно представляют собой олигомерные продукты. Термореактивные полимеры после отверждения не растворяются ни в каких растворителях, хотя могут набухать в некоторых из них; при повышении температуры до некоторого предела они незначительно изменяют свои свойства, а затем наступает их термодеструкция (разложение). В отвержденном виде термореактивные полимеры более твердые и прочные, чем термопластичные. Примером термореактивных полимеров могут служить фенолформальдегидные, карбонидные, эпоксидные полимеры.

К настоящему времени синтезировано большое количество полимеров (несколько тысяч), но широкое применение в народном хозяйстве нашло только около 20 так называемых крупнотоннажных полимеров. Ниже приводятся краткие сведения об основных полимерах, применяемых в строительстве.

● *Полимеризационные полимеры.*

*Полиэтилен*  $[-CH_2-CH_2-]_n$  — насыщенный линейный полимерный углеводород (полиолефин), получаемый полимеризацией газа этилена  $CH_2=CH_2$ . Основным источником получения этилена являются продукты высокотемпературной переработки нефти. Полиэтилен пред-

ставляет собой роговидное прозрачное вещество плотностью  $0,94...0,97$  г/см<sup>3</sup>, размягчающееся при нагревании до  $80...90$  °С и плавящееся при  $100...120$  °С. Характерная особенность полиэтилена — способность сохранять эластичность до  $-70...-80$  °С. Полиэтилен хорошо противостоит действию большинства кислот, щелочей и растворителей. Из полиэтилена изготавливают в основном пленки, трубы (для холодного водоснабжения и транспортировки агрессивных жидкостей), а также трубки для скрытой электропроводки и некоторые санитарно-технические изделия.

*Полипропилен*  $[-CH_2-CH(CH_3)-]_n$  — полиолефин, близкий по свойствам к полиэтилену, но более прочный, жесткий и температуростойкий (температура размягчения  $160...170$  °С). Применяют полипропилен для изготовления отделочных листов, пленок, труб, деталей химической аппаратуры.

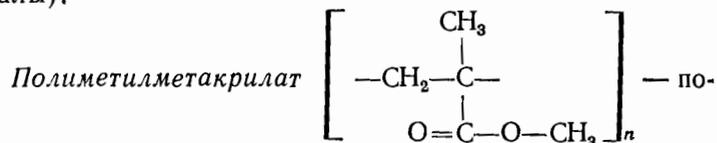
*Полиизобутилен*  $[-CH_2-C(CH_3)_2-]_n$  — полимер, так же как и полиэтилен, относится к полиолефинам, однако благодаря иному строению молекулы обладает рядом специфических свойств: высокой эластичностью (по внешнему виду и механическим свойствам напоминает каучук), морозостойкостью, хорошей адгезией (прилипаемостью) к бетону и другим силикатным материалам. Применяется полиизобутилен для изготовления герметизирующих пленок, прокладок и мастик, в частности для герметизации стыков крупнопанельных зданий.

*Поливинилхлорид*  $[-CH_2-CHCl-]_n$  — один из самых распространенных полимеров, применяемых в строительстве. Это прозрачный, жесткий и прочный при комнатной температуре полимер, при нагревании до  $60...100$  °С он размягчается, а при  $160...200$  °С — плавится. При этой же температуре начинается его разложение (термодеструкция), что затрудняет переработку поливинилхлорида в изделия. Для придания изделиям эластичности и для облегчения переработки поливинилхлорида его обычно пластифицируют (например, добавляя диоктилфталат). Из поливинилхлорида получают различные изделия: линолеум, трубы, плитусы и другие погонажные изделия, отделочные пленки, искусственную кожу и др.

*Полистирол*  $[-CH_2-CHC_6H_5-]_n$  — продукт полимеризации стирола (винилбензол). Полистирол прозрачный, довольно прочный, но хрупкий полимер, хорошо окрашивается и легко перерабатывается в изделия. Благодаря наличию бензольного кольца полистирол хорошо растворяется в ароматических углеводородах. В строи-

тельстве его применяют для получения теплоизоляционных пенопластов, облицовочных плиток и др.

*Поливинилацетат*  $(-\text{CH}_2-\text{CHCOOCH}_3-)_n$  — полимер, у которого к основной углеводородной цепи периодически присоединены остатки уксусной кислоты, что предопределяет невысокую водостойкость полимера и хорошие адгезионные (клеящие) свойства. В строительстве поливинилацетат широко используют в виде водной дисперсии для получения клеев, вододисперсионных красок, шпаклевок и мастик, а также как добавку к бетонам и растворам (так называемые полимерцементные материалы).



лимер, известный под названием «органическое стекло» (или «плексиглас»). Он представляет собой прозрачный (пропускает не только видимое, но и ультрафиолетовое излучение), прочный материал, получаемый в виде листов и блоков. Применяют полиметилметакрилат для устройства светопрозрачных ограждений строительных конструкций, а также для изготовления труб и других изделий.

Кроме чистых полимеров находят широкое применение *сополимеры* — высокомолекулярные вещества, получаемые совместной полимеризацией нескольких мономеров, при этом образуются вещества с видоизмененными свойствами. Например, ударопрочный полистирол получают сополимеризацией стирола с мономерами синтетических каучуков.

#### ● Поликонденсационные полимеры.

*Фенолформальдегидные полимеры* — первые синтетические полимеры, нашедшие практическое применение (1906—1910 гг); получают поликонденсацией фенола и формальдегида в виде олигомерного продукта (вязкой жидкости или легкоплавкой смолы), способного необратимо отвергнуться при нагревании. Применяют фенолформальдегидные полимеры для получения слоистых пластиков (бумопласт, текстолит), минераловатных и электрических изделий, водостойких лаков и клеев для деревянных конструкций.

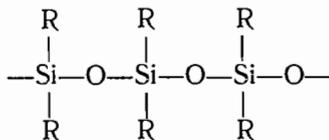
*Карбамидные (мочевинформальдегидные) полимеры* — один из наиболее дешевых видов полимеров; полу-

чают поликонденсацией мочевины (карбамида) и формальдегида. Мочевинформальдегидные полимеры бесцветны, в отвержденном состоянии они довольно прочны, но не водостойки и склонны к быстрому старению. Модифицируя их в процессе синтеза, получают полимеры практически лишенные этих недостатков. Применяют мочевинформальдегидные полимеры главным образом при изготовлении древесностружечных плит, клееных деревянных конструкций, слоистых пластиков, а также особо легкой газонаполненной пластмассы — мипоры. Модифицированные карбамидные полимеры применяют для получения лаков и красок.

*Полиэфирные полимеры* — обширная группа полимеров, получаемых поликонденсацией многоатомных спиртов и органических кислот. Различают насыщенные (термопластичные) полиэфиры, например глифталиевый полимер и полиэтилентерефталат (известный более под названием лавсан), и ненасыщенные полиэфиры (термореактивные). Последние используют в виде жидких олигомеров, которые благодаря наличию двойных связей у атомов углерода способны к необратимому отверждению. На основе ненасыщенных полиэфиров изготавливают лаки и краски, их используют как связующее в стеклопластиках и полимербетонах.

*Эпоксидные полимеры* — довольно дорогой и малодоступный пока для широкого потребления вид полимеров, но обладающий высокой прочностью, химической стойкостью в отвержденном состоянии и очень хорошей адгезией к другим материалам. Выпускают эпоксидные полимеры в виде смолообразного олигомерного продукта, отверждаемого веществами отвердителями. В строительстве эпоксидные полимеры применяют для склейки и ремонта железобетонных конструкций, получения полимербетонных и других специальных целей.

*Кремнийорганические полимеры* — большая группа полимеров, в составе которых наряду с органической частью в основной цепи или боковых ответвлениях присутствует кремний. Благодаря наличию кремния полимеры приобретают ряд специфических свойств: повышенную термо- (до 400...500 °С) и химическую стойкость, в ряде случаев хорошую совместимость с силикатными материалами. Наибольшие перспективы в строительстве имеют полиорганосиллоксаны (силиконы), основные цепи макромолекул которых имеют вид



В этих полимерах углерод находится в органических радикалах (R), расположенных в боковых ответвлениях основных цепей макромолекул. Их применяют в качестве гидрофобизирующих добавок к бетонам и растворам, для получения атмосферостойких фасадных красок и для защитных покрытий облицовочных изделий из пористых горных пород и бетонов.

#### ■ Наполнители.

Номенклатура наполнителей для пластмасс разнообразна. Это порошковые вещества (древесная мука, мел, тальк, сажа и т. п.), волокнистые (стекловолокно, асбест, органические волокна) и листовые материалы (бумага, древесный шпон, ткани). К числу наполнителей можно отнести и воздушные поры в газонаполненных пластмассах (пено- и поропласты). У большинства пластмасс существенная часть объема приходится на долю наполнителей, а некоторые пластмассы на 80..90 % (по объему) состоят из наполнителей (например, древесностружечные плиты, полимербетоны, пенопласты).

Наполнители, уменьшая содержание полимера в пластмассах, значительно снижают их стоимость, усадку и деформативность. Они, особенно минеральные, увеличивают теплостойкость и атмосферостойкость пластмасс и снижают горючесть. Листовые и волокнистые наполнители резко повышают прочность пластмасс на растяжение и изгиб. Некоторые наполнители придают пластмассам специальные свойства. Так, воздушные поры, занимающие более 90 % объема газонаполненных пластмасс, делают их идеальными теплоизоляторами, а сажа или графит, вводимые в пластмассу, придают ей свойство электропроводности.

#### ■ Пластификаторы.

Пластификаторы — вещества, которые в смеси с полимерами придают им большую пластичность при нормальной температуре и облегчают переработку пластмасс, снижая температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние. В качестве пластификаторов используют нелетучие органические жидкости, хорошо совмещающиеся с полимером (например, глицерин, диоктилфталат). Ко-

личество пластификатора в пластмассе может достигать 30..50 % от массы полимера. Примером пластмассы, содержащей пластификатор, может служить поливинилхлоридный линолеум — мягкий и эластичный материал для покрытия полов. В то же время из поливинилхлорида без пластификатора изготовляют прочные и жесткие трубы, выдерживающие значительное давление воды.

#### ■ Стабилизаторы, отвердители, инициаторы.

Это специальные добавки, которые используют при производстве и применении пластмасс. Стабилизаторы способствуют сохранению свойств пластмасс во времени, т. е. замедляют их старение. Отвердители — вещества, с помощью которых осуществляется сшивка линейных молекул олигомеров в сетчатые полимерные молекулы. Инициаторы ускоряют процессы отверждения.

### 13.3. Основные свойства строительных пластмасс

#### ■ Физические и механические свойства.

● *Истинная плотность* пластмасс обычно составляет 1000..2000 кг/м<sup>3</sup>, т. е. в 1,5..2 раза меньше, чем у каменных материалов.

● *Пористость* пластмасс можно регулировать в процессе их производства в широких пределах. Так, полимерные пленки, линолеум, стеклопластики практически не имеют пор, а пористость пенопластов может достигать 95..98 %. Поэтому средняя плотность пластмасс может быть близка к истинной плотности — непористых пластмасс или снижается до 50..10 кг/м<sup>3</sup> — у газонаполненных пластмасс.

● *Водопоглощение* пластмасс очень мало и не превышает для плотных пластмасс 1 %. Большинство пластмасс обладает значительной водостойкостью и стойкостью к водным растворам солей, кислот и щелочей.

● *Теплостойкость* большинства пластмасс невысока (100..200 °С), но отдельные виды пластмасс (фторопласт, кремнийорганические полимеры) выдерживают нагрев до 300..500 °С.

● *Теплопроводность* (0,23..0,7 Вт/(м·°С)) пластмасс низкая, а у газонаполненных пластмасс она близка к теплопроводности воздуха. Отличительной особенностью пластмасс является высокий (в 5..10 раз выше, чем у других строительных материалов) *коэффициент теплового расширения*. Это обстоятельство необходимо учитывать при использовании пластмасс, особенно в сочетании с другими материалами.

● **Прочность** некоторых пластмасс значительна и у конструкционных пластмасс, таких, как стеклопластик, может достигать 200...300 МПа. При этом характерной особенностью пластмасс, отличающих их от каменных материалов, является то, что прочность при растяжении и изгибе у них почти такая же, как при сжатии (у каменных материалов  $R_p = (0,2...0,1) R_{сж}$ ). Благодаря высокой прочности и малой плотности коэффициент конструктивного качества у пластмасс намного выше, чем у большинства традиционных строительных материалов.

● **Модуль упругости** у пластмасс приблизительно в 10 раз ниже, чем у бетона и стали. Это наряду с характерной для полимерных материалов ползучестью предопределяет их высокую деформативность.

#### ■ **Химические и физико-химические свойства.**

● Большинство пластмасс обладает высокой *стойкостью к действию химически агрессивных веществ* — растворов кислот, щелочей и солей. Однако многие пластмассы легко растворяются или набухают в органических растворителях. Для каждой пластмассы характерна своя группа растворителей, имеющих родственную к полимеру природу.

● **Старение** — изменение структуры и состава полимерного компонента пластмасс под действием эксплуатационных факторов (солнечный свет, кислород воздуха, нагрев и т. п.), вызывающих, в свою очередь, ухудшение свойств самой пластмассы. При старении возможно протекание в полимере двух процессов: структурирование (т. е. сшивка молекул), приводящее к потере эластичности, появлению хрупкости и последующему растрескиванию, и деструкция — разложение полимера на низкомолекулярные продукты. В пластифицированных пластмассах возможно также «выпотевание» и улетучивание пластификатора, что также приводит к потере эластичности.

● **Возможность выделения** из пластмасс *токсичных веществ* не исключена. Хотя существует мнение, что пластмассы вредны для здоровья (это утверждение ни в коей мере не относится ко всем пластмассам). Чистые полимеры биологически безвредны, но в полимерах возможно присутствие остатков мономеров или низкомолекулярных продуктов деструкции полимеров, появившихся в результате нарушения технологических режимов синтеза и переработки. Кроме того, в пластмассу вводят низкомолекулярные продукты (пластификаторы, стаби-

лизаторы и др.), которые могут быть также источниками вредностей. Полная безвредность пластмасс может быть обеспечена при условии соблюдения технологических режимов и тщательном подборе компонентов пластмасс.

В целом, говоря о токсичности пластмасс, необходимо помнить, что в жидком виде они почти все в той или иной мере токсичны, а в затвердевшем — не все. Поэтому при использовании пластмасс, особенно для внутренней отделки помещений, для целей водоснабжения и т. п., необходима их тщательная санитарная проверка.

● **Горючесть** большинства пластмасс является следствием горючести полимеров. В настоящее время ведутся интенсивные работы по получению полимеров и пластмасс с пониженной горючестью. Например, синтезированы трудносгораемые галогено- и фосфорсодержащие полимеры, разработаны добавки — антипирены для пластмасс. Однако в целом пластмассы остаются сгораемыми материалами.

### 13.4. Виды строительных материалов и изделий из пластмасс

По сравнению с большинством других строительных материалов пластмассы дороги и дефицитны, что объясняется еще недостаточным объемом производства полимеров и их относительно высокой стоимостью. Основное технико-экономическое требование к строительным пластмассам — минимальная *полимероемкость*, т. е. минимальный расход полимера на единицу готовой продукции. Это обстоятельство, а также специфические свойства пластмасс позволили выявить основные эффективные области их использования в строительстве. К ним прежде всего следует отнести современные, максимально готовые к применению отделочные материалы (моющиеся обои, декоративные самоклеящиеся пленки, листовые облицовочные пластики, погонажные изделия и т. п.); отделочные материалы для покрытия полов (линолеум, полимерные плитки, мастичные составы для бесшовных полов); высокоэффективные теплоизоляционные материалы, особенно на основе вспученных пластмасс; долговечные гидроизоляционные и герметизирующие материалы (пленки, профильные прокладки, мастики); трубы и санитарно-технические изделия (сифоны, сливные бачки); встраиваемая мебель, дверные блоки и, наконец, высококачественные клеи, краски и специальные виды строительных растворов и бетонов.

Деление строительных пластмасс на отделочные, гидроизоляционные и т. п. достаточно условно, так как один и тот же материал в несколько измененном виде может использоваться для различных целей. Например, поливинилхлоридная пленка может быть и отделочным и гидроизоляционным материалом, а некоторые строительные пластмассы, применяемые для отделки зданий, могут выполнять не только декоративные или защитные функции, но и роль ограждающих элементов, воспринимающих определенные механические нагрузки. Такие пластмассы называют конструкционно-отделочными.

#### ■ Конструкционно-отделочные и отделочные материалы.

Полимерные материалы этой группы выпускают в виде крупноразмерных плит и листов, рулонных пленочных материалов, плиток, самоотверждающихся отделочных составов, а также погонажных изделий (плинтусов, поручней, всевозможных накладок). Высокая заводская готовность полимерных отделочных материалов позволяет свести к минимуму долю отделочных работ, выполняемых на стройке, и получить большой экономический эффект.

В качестве конструкционно-отделочных материалов применяют главным образом стеклопластики и древесностружечные плиты.

● *Стеклопластики* — листовый материал, получаемый пропиткой стеклянного волокна или стеклоткани термореактивными олигомерами с последующим их отверждением. Благодаря армирующему эффекту стеклянного волокна стеклопластики обладают очень высокой прочностью (предел прочности при изгибе — 200...500 МПа и более при небольшой плотности — 1500...1700 кг/м<sup>3</sup>). Для получения стеклопластиков обычно используют ненасыщенные полиэфирсы, реже фенолформальдегидные или эпоксидные полимеры. Эти полимеры в отвержденном виде обладают высокой химической стойкостью.

В зависимости от вида и расположения стеклянных волокон в материале различают три основные группы стеклопластиков: *листовой стеклопластик* (плоский и волнистый) на основе рубленого стекловолокна; *стеклотекстолит* — на основе стеклоткани; *листовой стеклопластик СВМ* (стекловолокнистый анизотропный материал), наполнителем в котором является ориентированное стекловолокно в виде стеклошпона — тонких полотнищ однопослойных стеклянных нитей, склеенных полимером.

Плоские или волнистые листы стеклопластика, окрашенные в различные цвета, используют для декоративной наружной облицовки, устройства кровель, а также для внешних слоев трехслойных панелей с заполнением центральной части пено- или сотопластами. Многие полиэфирные стеклопластики применяют для изготовления санитарно-технических изделий (ванны, раковины, трубы и др.) и покровных элементов для трубопроводов, химических аппаратов и т. п. СВМ вследствие его дороговизны в строительстве применяют редко. Из него изготавливают сильно нагруженные детали конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

● *Древесностружечные плиты* (см. также гл. 11) получают горячим прессованием древесной стружки, смоченной термореактивным полимерным связующим, чаще всего — мочевиноформальдегидным полимером. Размер плит 350×175 см при толщине 1...2,5 см (реже изготавливают более толстые пустотелые плиты толщиной до 5 см). Плиты в процессе производства могут быть облицованы декоративными пленками, пластиком или офанерованы. Для конструкционно-отделочных целей используют плиты плотностью 600...800 кг/м<sup>3</sup>. Прочность таких плит при изгибе 12...25 МПа. Древесностружечные плиты легко поддаются механической обработке, хорошо гвоздятся. Их применяют для устройства каркасных и щитовых стен, перегородок, встроенной мебели, а также для облицовки стен, потолков и особенно широко в мебельной промышленности.

● *Древеснослоистые пластики* — листовый материал, получаемый горячим прессованием древесного шпона, пропитанного термореактивными полимерами (главным образом фенолформальдегидами). Древеснослоистые пластики значительно более прочный и водостойкий материал, чем древесностружечные плиты. Их целесообразно использовать для каркасных перегородок, клееных деревянных конструкций и других целей (например, для изготовления особо точной опалубки для бетонных работ).

● *Бумажно-слоистый пластик* — листовый отделочный материал, получаемый горячим прессованием бумаги, пропитанной термореактивными полимерами. Для получения одного листа декоративного бумажно-слоистого пластика используют 15...20 листов пропитанной фенолформальдегидными полимерами крафт-бумаги, образующих основу пластика, и 1...3 листа кроющей декоратив-

ной бумаги, пропитанной прозрачными карбамидными полимерами. После прессования, во время которого происходит плавление и последующее необратимое отверждение полимеров, образуется монолитный лист толщиной 1...2 мм и размером до 300×160 см. Поверхность бумажно-слоистого пластика может быть любого цвета, однотонной или с рисунком (под дерево, под ткань и т. п.).

Бумажно-слоистый пластик обладает сравнительно большой для пластмасс поверхностной твердостью и термостойкостью (выдерживает нагрев до 120 °С). Основная область применения бумажно-слоистого пластика — мебель для кухонь, встроенная мебель и облицовка столярных изделий. Благодаря высокой твердости и износостойкости его применяют для облицовки стен помещений с большой интенсивностью эксплуатации (вестибюли, коридоры, аудитории), а благодаря водостойкости и гигиеничности — для отделки ванн, туалетов, лабораторий и т. п.

Помимо декоративного бумажно-слоистого пластика в строительстве используют (в меньших масштабах) большое количество других отделочных листовых и плиточных полимерных материалов на основе полистирола, поливинилхлорида (винипласт), полипропилена и других полимеров. Ассортимент их пополняется с каждым годом, но такого большого распространения, как бумажно-слоистый пластик, они пока не получили. Это объясняется, в частности, тем, что эти материалы наряду с положительными качествами (например, легкостью, декоративностью) не лишены существенных недостатков (малая поверхностная твердость, горючесть, в ряде случаев трудоемкость применения и др.).

Наиболее широко применяют цветные *декоративные плиты и листы* из полистирола с пониженной горючестью и полиформальдегида. Эти листы изготовляют в виде, имитирующем деревянную облицовку из ценных пород дерева, при этом имитируется и цвет, и фактура дерева, а сложная резьба по дереву легко воспроизводится горячим прессованием, например декоративные панели «Полиформ» (рис. 13.1).

● *Полимерные плитки* (мелкоштучные) из-за большей трудоемкости применения используют в настоящее время реже, чем крупноразмерные листы.

● *Полистирольные плитки* изготовляют из полистирола способом литья под давлением. Они водо- и паронепроницаемы, химически стойки, но горючи. Полистироль-

ные плитки нельзя применять для облицовки стен, к которым примыкают отопительные и нагревательные приборы, в лестничных клетках, эвакуационных коридорах, для облицовки свариваемых конструкций и в детских учреждениях.

● *Фенолитовые плитки* получают горячим прессованием из прессматериала (фенолита), состоящего из фенол-

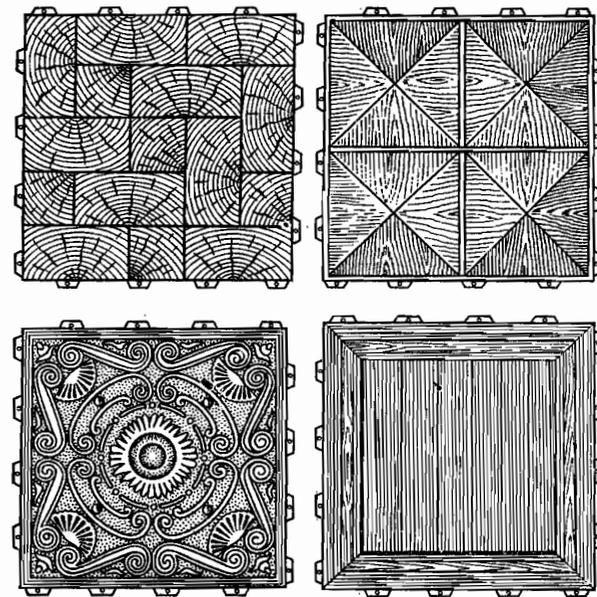


Рис. 13.1. Панели «Полиформ»

формальдегидного полимера, отвердителя и порошкообразного наполнителя (каолина, слюды, талька, древесной муки и др.) Применяют фенолитовые плитки для облицовки стен помещений с агрессивной химической средой.

● *Декоративные пленочные материалы* — один из наиболее перспективных типов полимерных материалов для внутренней отделки. Различают отделочные пленки безосновные и на основе (бумажной, тканевой).

● *Пленки без основы* — тонкие полимерные (главным образом поливинилхлоридные) пленки, окрашенные по

всей толщине и имеющие рисунок или тиснение с лицевой стороны. Рисунок, наносимый типографским способом, может имитировать древесину различных пород, ткани, керамическую плитку и т. п. Пленка выпускается в виде рулонов длиной 10...12 м при ширине 0,5...0,75 м. С тыльной стороны пленка может иметь клеевой слой из так называемого «неумирающего» клея, прикрытый специальной легко снимающейся бумагой. Такие пленки сразу же после снятия защитной бумаги прикатываются к отделываемой поверхности.

● **Пленки на основе** представляют собой рулонные отделочные материалы, в которых цветная полимерная (обычно поливинилхлоридная) пленка сдублирована с бумажной или тканевой основой. В нашей стране наибольшее распространение получил материал «Изоплен», получаемый нанесением цветной поливинилхлоридной пасты на бумажную основу, с последующим тиснением полимерного слоя. Толщина образующейся полимерной пленки 0,1...0,5 мм. Такие пленки применяют для отделки стен, как и обычные обои, но с учетом их повышенной влагостойкости и прочности к механическим воздействиям.

● **Влагостойкие (моющиеся) обои** являются разновидностью рулонных отделочных материалов. Это обычные обои, лицевая сторона которых покрыта тонким слоем поливинилацетатной эмульсии. Такие обои можно протирать влажной тряпкой и периодически мыть теплой водой.

● **Линкруст** — рулонный отделочный материал, состоящий из бумажной подосновы, покрытой слоем пасты из глифталевого полимера или поливинилхлорида. Поверхность линкруста рифленая. После наклейки на стены линкруст можно окрашивать масляной или синтетической краской.

● **Погонажные архитектурно-строительные изделия** — длинномерные материалы разнообразных профилей: плинтусы, рейки, поручни для лестниц, раскладки для крепления листовых материалов, нащельники и т. п. (рис. 13.2). Использование полимерных погонажных изделий имеет большое значение в современном индустриальном строительстве. Это так называемая малая индустриализация. Например, поручни из пластифицированной поливинилхлоридной композиции поступают на стройку в виде бухт. Для укрепления на металлических перилах поручень достаточно нагреть в воде при 50...

70 °С до размягчения и посадить на металлические перила. После остывания поручень плотно охватывает металлическую основу; никаких дополнительных операций (окраски, крепления) не требуется. Без раскладок и нащельников невозможно эффективное использование листовых отделочных материалов.

Применение полимерных погонажных изделий экономит большое количество древесины, так как большинство этих изделий раньше изготавливали из древесины, более 50 % которой из-за сложной конфигурации изделий превращалось в стружку.

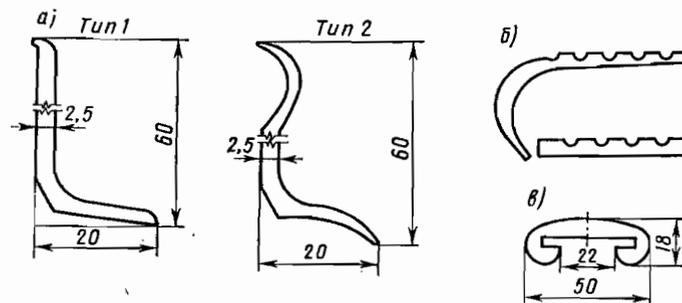


Рис. 13.2. Виды погонажных изделий:

а — плинтусы; б — угловые и полосовые накладки на ступени; в — поручень для лестниц

### ■ **Материалы для полов.**

Среди различных видов материалов для покрытий полов полимерные материалы в наибольшей степени удовлетворяют всему комплексу требований к подобным материалам. Они износостойки, красивы, гигиеничны и технологичны — затраты времени и труда на устройство покрытия пола из полимерных материалов значительно (в 5...10 раз) ниже, чем из традиционных материалов (досок, паркета).

● **Полимерные материалы для полов** могут быть как заводского изготовления — *рулонные* и *плиточные*, так и непосредственного изготовления на строительстве — *мастичные* бесшовные полы. В жилищном строительстве широкое распространение получили рулонные и плиточные материалы. Мастичные покрытия полов применяют обычно в условиях сильных агрессивных воздействий (предприятия химической и пищевой промышленности,

животноводческие помещения и т. п.) или интенсивного износа (магазины, металлообрабатывающие предприятия, спортивные залы и др.).

● *Рулонные материалы для полов* — это разнообразные виды линолеума (поливинилхлоридный, алкидный, коллоксилиновый). Впервые линолеум появился в конце XIX в. и представлял собой тогда джутовую ткань, покрытую слоем пластической массы на основе высыхающих растительных масел и пробковой муки (отсюда пошло название линолеум — *linum* — лен, *oleum* — масло).

В современном строительстве наибольшее применение находит *поливинилхлоридный линолеум*. Выпускают различные виды такого линолеума: *бесосновный* (однo- и многослойный) и на *тканевой* и *тепловоздухоизоляционной подоснове* (войлочной или пористой полимерной). Последний вид линолеума наиболее эффективен, так как позволяет производить настилку полов непосредственно на поверхность бетонного перекрытия без устройства специальных тепло- и звукоизоляционных прослоек. Многослойный линолеум отличается от однослойного тем, что нижний подстилающий слой линолеума содержит большое количество наполнителя, а в верхнем преобладает поливинилхлорид, что придает ему большую износостойкость; при этом общий расход полимера снижается.

Линолеум выпускают в виде рулонов шириной 120...160 см и длиной не менее 12 м. Толщина различных видов линолеума находится в пределах 1,2...6 мм.

К основанию пола линолеум крепится с помощью специальных приклеивающих мастик. От правильности настилки линолеума во многом зависит его долговечность. Это положение относится и ко всем остальным полимерным материалам — только при строгом соблюдении правил монтажа и эксплуатации пластмассы в полной мере проявляют свои положительные свойства. Наиболее эффективный метод применения линолеума — изготовление на заводе с помощью сварки полотнищ линолеума размером «на комнату». Этот метод применим при массовом строительстве типовых зданий.

● *Алкидный (глифталевый) линолеум* получают нанесением на джутовую ткань смеси из алкидного полимера, модифицированного растительными маслами, и наполнителей (древесной и пробковой муки). Это самый старый вид линолеума, производимый по сложной технологии и требующий использования пищевого сырья. Од-

нако по своим физико-механическим показателям алкидный линолеум несколько выше поливинилхлоридного. Основная область применения алкидного линолеума — транспорт (полы вагонов, кают теплоходов и т. п.).

● *Коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) линолеум* — бесосновный однослойный материал, в основном красноватых и коричневых тонов, связующим в котором является нитроцеллюлоза (коллоксилин); для снижения горючести в него вводят много минеральных наполнителей. В настоящее время этот вид линолеума применяется ограниченно.

● *Релин (резиновый линолеум)* — двухслойный материал, лицевой слой которого изготовлен из цветной резины на синтетических каучуках, а нижний обычно из бывшей в употреблении резины с добавкой битума и небольших количеств синтетических каучуков. Часто нижний слой делают пористым. Релин применяют для покрытия полов промышленных зданий, в помещениях с повышенной влажностью или высокими гигиеническими требованиями (кухни, санитарно-технические узлы, раздевалки и т. п.).

● Наряду с рулонными материалами для устройства полов применяют *плитки* размером 300×300 мм и других размеров толщиной 2...5 мм, изготавливаемые из синтетических полимеров, наполнителей, пластификаторов и пигментов. Плитки по своим свойствам близки к линолеумам. Разнообразие форм и цвета плиток дает возможность создавать любые рисунки пола.

● *Монолитные покрытия полов* представляют собой мастичные составы на основе полимеров. В мастичные составы входят жидкий полимер, наполнители и пигменты. Составы, имеющие консистенцию сметаны, наносят на сплошное основание пола слоем 0,5...1,0 см. После затвердевания в течение 1...3 сут образуется сплошное бесшовное покрытие пола. Такие полы отличаются достаточной химической стойкостью, износостойкостью и хорошим сопротивлением ударным нагрузкам. В зависимости от вида полимерного компонента различают составы на водных дисперсиях полимеров (например, на поливинилацетатной эмульсии) и на жидких термореактивных олигомерах (например, на основе эпоксидных смол). Второй тип мастичных составов дает более прочное и химически стойкое покрытие пола.

#### ■ *Теплоизоляционные материалы.*

Теплоизоляционные пластмассы называют газонапол-

ненными материалами, т. е. материалами, большую часть объема которых занимает воздух. Различают ячеистые пластмассы, в которых мелкие поры расположены беспорядочно, и сотопласты, в которых воздушные полости имеют правильную геометрическую форму.

● **Ячеистые пластмассы** в зависимости от характера пор подразделяются на пено- и поропласты. **Пенопласты** имеют преимущественно закрытые, не сообщающиеся между собой поры. В **поропластах** перегородки между отдельными ячейками нарушены и полости сообщаются между собой; встречаются материалы со смешанной структурой. Для теплоизоляции лучше применять пенопласты, а поропласты с сообщающимися между собой ячейками целесообразно применять как звукопоглощающий материал. Наиболее широкое применение в индустриальном строительстве получили пенополистирол, пенополивинилхлорид, пенополиуретан, пенопласты на основе фенолформальдегидных смол и мипора.

● **Пенополистирол** выпускают в виде плит размером до  $100 \times 100 \times 10$  см, плотностью  $30 \dots 100$  кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью  $0,03 \dots 0,05$  Вт/(м·°С). Предельная температура его применения  $-100^\circ \dots +60^\circ$ С. В строительстве пенополистирол используют для изоляции стен, покрытий и перекрытий, в слоистых стеновых панелях в сочетании с алюминием, асбестоцементом и стеклопластиком. Из пенополистирола плотностью около  $100$  кг/м<sup>3</sup> можно сооружать перекрытия по легким металлическим фермам без настила. Экономическую целесообразность применения пенополистирольного утеплителя можно иллюстрировать следующим примером. Если стоимость, затраты труда, массу конструкций, потребность в транспорте при возведении железобетонных покрытий, утепленных пенобетоном, принять за  $100\%$ , то для покрытия с пенополистирольным утеплителем эти показатели значительно меньше и соответственно будут:  $50 \dots 85$ ;  $60$ ;  $20$ ;  $12\%$ .

● **Пенополивинилхлорид** выпускают в виде плит размером  $50 \times 50$  см, толщиной  $4,5 \dots 7,0$  см, плотностью  $60 \dots 200$  кг/м<sup>3</sup>, теплопроводностью  $0,035 \dots 0,055$  Вт/(м·°С). Максимальные температуры применения пенопласта  $-60^\circ \dots +60^\circ$ С. Предел прочности при изгибе — не менее  $1$  МПа. Пенополивинилхлоридные плиты применяют для изоляции ограждающих конструкций зданий, в частности при изготовлении трехслойных панелей.

● **Пенополиуретан** представляет собой пористый жесткий (плиты) или мягкий эластичный (рулоны или листы)

материал плотностью  $30 \dots 100$  кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью  $0,03 \dots 0,05$  Вт/(м·°С). Предел прочности поропласта при сжатии до  $3,5$  МПа, при изгибе до  $5,0$  МПа. Предельная температура применения  $-160^\circ \dots 150^\circ$ С. Пенополиуретановые плиты применяют в качестве внутреннего слоя стеновых навесных панелей, изоляции перекрытий, стен. В виде сегментов и скорлуп его используют для теплоизоляции сетей горячего и холодного водоснабжения. Эластичный пенополиуретан в виде прокладок применяют для герметизации горизонтальных и вертикальных стыков панелей. Пенополиуретаны могут быть получены непосредственно на стройке методом напыления и заливки (заливочные пенопласты). В результате вспенивания полиуретана в конструкциях получают монолитную теплоизоляцию, что дает возможность уменьшить толщину слоя изоляции на  $25 \dots 30\%$  по сравнению с теплоизоляцией, выполненной из штучных изделий.

● **Фенолформальдегидные пенопласты** получают заливкой жидких композиций, их плотность  $50 \dots 150$  кг/м<sup>3</sup>; цвет красно-коричневый. Большое количество фенолформальдегидных пенопластов используют при изготовлении трехслойных панелей с внешними слоями из гофрированного алюминия или стальных листов.

● **Мипора** — поропласт, получаемый вспениванием и отверждением композиций на основе карбамидного полимера, является самой легкой газонаполненной пластмассой. Плотность мипоры  $10 \dots 20$  кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность  $0,03 \dots 0,035$  Вт/(м·°С). Вследствие гигроскопичности мипора требует тщательной гидроизоляции. Ее используют для теплоизоляции холодильников, а крошку мипоры также для заполнения полостей в трехслойных конструкциях.

● **Сотопласты** — теплоизоляционные материалы с ячейками, напоминающими форму пчелиных сот. Стенки ячеек могут быть выполнены из различных листовых материалов (бумаги, стеклоткани, хлопчатобумажной ткани, металлической фольги, древесноволокнистых плит и др.), пропитанных синтетическими полимерами (рис. 13.3). В строительстве обычно используют сотопласты, стенки которых состоят из крафт-бумаги, пропитанной и склеенной мочевиноформальдегидным или фенолформальдегидным полимером. Их применяют в трехслойных ограждающих конструкциях (рис. 13.4). Такие строительные элементы характеризуются значительной прочностью при сжатии, высокой упругостью на сдвиг и низ-

кой теплопроводностью—0,045...0,06 Вт/(м·°С). Для увеличения теплозащитных свойств ячейки сотопласта заполняют мипорой или другим теплоизоляционным материалом.

■ **Гидроизоляционные материалы и герметики.**

● К полимерным гидроизоляционным материалам относятся в первую очередь пленки на основе полиэтилена,

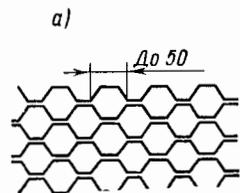
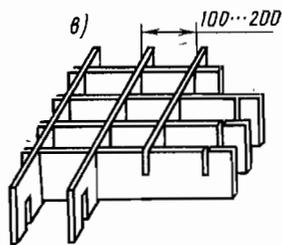
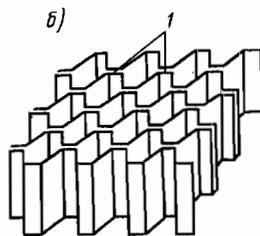


Рис. 13.3. Схемы сотопластов:  
а — из алюминиевой фольги; б — из пропитанной смолой ткани или бумаги; в — из древесноволокнистых плит; 1 — клей



поливинилхлорида, полиизобутилена и других полимеров. Эти пленки можно склеивать или сваривать в большие полотна для устройства сплошной гидроизоляции бассейнов, резервуаров и т. п. Пленочные гидроизоляционные материалы отличаются долговечностью, надежностью и простотой применения, невысокой стоимостью и малым расходом полимера. Кроме чисто гидроизоляционного назначения прозрачные пленки применяют для устройства ограждающих конструкций парников, теплиц и других подобных сооружений.

Большое распространение получили рулонные и мастичные гидроизоляционные и кровельные материалы на основе битума, модифицированного полимерами (полиизобутиленом, синтетическими каучуками). Такие материалы более морозо- и теплостойки, чем битумные, менее подвержены старению и более биостойки (см. гл. 12).

● **Полимерные герметизирующие материалы (герметики)** выпускают в виде паст (мастик), эластичных прокладок и лент. Пастообразные герметики получают на основе полиизобутилена, тиоколовых и силиконовых каучуков. Они имеют хорошую адгезию к бетону, водостойки и сохраняют эластичность при температуре —50°...+100°С, Пастообразные герметики могут быть *неотверждаемыми*, сохраняющими свои первоначальные свойства в течение всего срока их эксплуатации, или *отверждаемыми*, после нанесения переходящими в резиноподобное состояние под действием специальных добавок-вулканизаторов, влаги и кислорода воздуха. К наиболее употребительным неотверждаемым мастикам относятся полиизобутиленовые, а отверждаемым — тиоколовые.

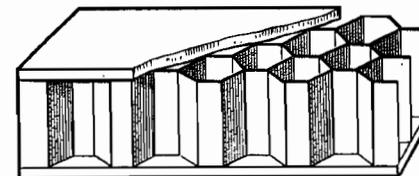


Рис. 13.4. Схема строения трехслойной панели с сотопластовым утеплителем

● **Уплотняющую полиизобутиленовую строительную мастику** УМС-50 серого или другого цвета (в зависимости от цвета вводимого пигмента) получают из полиизобутилена, пластификатора, тонкодисперсного наполнителя (мела, известняка и др.). Другие полиизобутиленовые мастики марок УМ-20, УМ-40, УМ-50 (цифра указывает на нижний предел температуры применения) изготовляют из полиизобутилена, регенерированной резины, минерального масла и наполнителя (тонкомолотый уголь или сажа, тальк, асбест). Эти мастики наносят в герметизируемые швы с помощью пневматических шприцов.

● **Тиоколовые мастики** (ГС-1, У-30М) готовят на основе полисульфидного каучука (жидкий тиокол), который при действии вулканизующих агентов переходит в нерастворимое резиноподобное вещество. Эти мастики наносят на поверхность стыков шпателем или кистью в зависимости от консистенции мастики, которая регулируется количеством вводимого разбавителя.

Пастообразные герметики используют для герметизации вертикальных и горизонтальных стыков в стеновых панелях, а также заделки швов между деталями из бетона, металла, керамики, стекла и т. д.

● **Эластичные прокладки** в виде пористых или плотных полос и жгутов закладывают в стыки в сжатом состоянии и тем самым обеспечивают герметизацию стыка.

Возможно совместное применение пастообразных герметиков и прокладок. В качестве полимерных эластичных прокладок применяют гернит П, пенополиуретановые прокладки, каучуковые уплотнительные ленты и др.

● *Гернит П* — пористая прокладка диаметром 20..60 мм с воздухо- и водонепроницаемой пленкой на поверхности, изготавливают на основе стойкого негорючего полихлоропренового каучука найрита. Плотность гернита 300..600 кг/м<sup>3</sup>; он отличается высокой эластичностью в интервале температур +70...—40 °С и большим относительным удлинением (до 150 %).

● *Уплотнительные прокладки из пенополиуретана* в виде лент (УЛП) изготавливают из эластичного пенополиуретана, пропитанного синтетической смолой, что придает ему гидрофобность. Это легкий (120..150 кг/м<sup>3</sup>) и эластичный при температуре —40...+80 °С материал; применяют его для герметизации стыков панелей, а также для уплотнения оконных створок и в других конструкциях.

● *Каучуковые уплотнительные ленты УЛК* изготавливают из вспененной резины (плотность 180..200 кг/м<sup>3</sup>), пропитанной смолой. Такие ленты дешевле пенополиуретановых, а по свойствам близки к ним.

#### ■ Трубы и санитарно-технические изделия.

Коррозионная стойкость и небольшая плотность пластмасс открывают широкие перспективы для изготовления из них труб для водоснабжения, канализации и транспортирования агрессивных жидкостей, а также для изготовления санитарно-технических изделий.

● *Пластмассовые трубы* легче металлических в 4...5 раз при той же пропускной способности. Соединение труб может быть осуществлено различными способами: сваркой, склеиванием или на резьбе. Недостаток пластмассовых труб — низкая теплостойкость (для большинства из них 60...80 °С). Для производства труб применяют главным образом пластмассы на основе полиэтилена, поливинилхлорида и полипропилена. Прозрачные трубы получают из полиметилметакрилата, а трубы повышенной прочности — из стеклопластика. Пластмассовые трубы используют для холодного водоснабжения, для канализации, водостоков, скрытой проводки, дренажа, а трубы-шланги — в сельском хозяйстве. Все виды пластмассовых труб снабжают фасонными деталями.

● *Санитарно-технические изделия из пластмасс* (смывные бачки, смесители, раковины, ванны) изготавливают прессованием из фенолформальдегидных, карбамидных и других полимеров, а мелкие изделия (вентиляционные детали, крючки и т. п.) получают методом литья под давлением или штампованием в основном из полистирола. Санитарно-технические изделия из пластмасс отличаются

легкостью, высокой механической прочностью, стойкостью, к коррозии растворов кислот, щелочей, красивым внешним видом. Недостаток пластмассовых изделий — малая поверхностная твердость (они сравнительно легко царапаются и теряют внешний вид). Использование пластмассовых труб и санитарно-технических изделий дает существенную экономию черных и цветных металлов, потребляемых строительством.

#### ■ Применение полимеров в технологии бетонов.

Цементный бетон — главнейший строительный материал. Он не лишен ряда недостатков, в частности пористости, что делает его недостаточно морозостойким и проницаемым для жидкостей. Свежий бетон плохо сцепляется с ранее уложенным бетоном. В ряде случаев цементные бетоны обладают недостаточной прочностью при растяжении и изгибе, износостойкостью, и, наконец, цементные бетоны быстро разрушаются под действием кислот и некоторых солей.

С целью ликвидации или уменьшения указанных недостатков цементного бетона разработаны новые типы бетонов, в которых минеральное вяжущее частично или полностью заменяется полимерами. Существует три типа таких материалов: полимерцементные материалы, бетонополимеры и полимербетоны.

● *В полимерцементных материалах* в бетонную или растворную смесь добавляют в небольших количествах (5...15 % от массы цемента) полимер, хорошо совместимый с цементным тестом. Этому соответствуют водорастворимые олигомеры, отверждающиеся в процессе твердения бетона (например, водорастворимые фенолформальдегидные полимеры) или чаще водные дисперсии полимеров (поливинилацетата, синтетических каучуков, акриловых полимеров и др.). Полимерцементные растворы и бетоны отличаются высокой адгезией к большинству строительных материалов, низкой проницаемостью для жидкостей, очень высокой износостойкостью и ударной прочностью. Применяют полимерцементные материалы для покрытий полов промышленных зданий, взлетных полос аэродромов, наружной и внутренней отделки по бетонным и кирпичным поверхностям, в том числе для наклейки керамических, стеклянных и каменных плиток, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов.

● *Бетонополимер* представляет собой бетон, пропитанный после затвердевания мономерами или жидкими олигомерами, которые после соответствующей обработки

(например, нагревания) переходят в твердые полимеры, заполняющие поры и дефекты бетона. В результате этого резко повышается прочность бетона ( $R_{сж}$  до 100 МПа и более) и его морозостойкость и износостойкость. Бетонполимер практически водонепроницаем. Для получения бетонполимера главным образом применяют стирол и метилметакрилат, полимеризующиеся в бетоне в полистирол и полиметилметакрилат.

● **Полимербетон (пластбетон)** — разновидность бетона, в котором вместо минерального вяжущего используются терморезистивные полимеры (эпоксидные, полиэфирные, фенолформальдегидные и др.). Полимербетон получают смешиванием полимерного связующего и заполнителей. Связующее состоит из жидкого олигомера, отвердителя и тонкомолотого минерального наполнителя, необходимого для уменьшения расхода полимера и улучшения свойств полимербетона. Твердеют полимербетоны при нормальной температуре в течение 12...24 ч, а при нагревании — еще быстрее.

Главнейшее свойство полимербетона — высокая химическая стойкость в кислотных и щелочных средах. Полимербетоны обладают высокой прочностью ( $R_{сж} = 60...100$  МПа,  $R_{изг} = 20...40$  МПа), плотностью, износостойкостью и отличной адгезией к другим материалам. Наряду с этим полимербетоны характеризуются повышенной деформативностью и невысокой термостойкостью. Их стоимость намного выше стоимости обычного бетона, но несмотря на это, полимербетоны эффективно используют для устройства защитных покрытий и изготовления конструкций, работающих в условиях химической агрессии (химические и пищевые предприятия), ремонта каменных и бетонных элементов (восстановление поверхности, заделка трещин и т. п.).

#### ■ Клеи на основе полимеров.

Подавляющее количество клеев для соединений элементов строительных изделий и конструкций делают на основе полимеров. Они обладают высокой клеящей способностью к разнообразным материалам, биостойки, многие из них водостойки.

Полимерные клеи можно разделить на три типа:

1) *на основе водных растворов и водных дисперсий полимеров*, так называемые водоразбавляемые клеи, например, клей ПВА на основе поливинилацетатной дисперсии или клей «Бустилат» на основе латекса бутадиенстирольного каучука;

2) *на основе растворов термопластичных полимеров в органических растворителях*, например: нитроклей — раствор нитроцеллюлозы в ацетоне и амилацетате, резиновый клей — раствор каучука в бензине, перхлорвиниловый клей;

3) *на основе отверждающихся жидких олигомеров*, например эпоксидные, полиуретановые или мочевиноформальдегидные клеи.

В строительстве применяют в основном 1-й и 3-й типы клеев. Для наклейки отделочных материалов при внутренних работах (линолеума, облицовочных плиток, линокруста) преимущественно используют клеи на основе водных дисперсий полимеров; для клейки обоев — водорастворимый клей на основе метилцеллюлозы; для склеивания элементов несущих конструкций и для наружной отделки — клеи на основе отверждающихся смол. Качество склеивания зависит от правильности выбора типа клея для данных материалов, качества подготовки поверхности (сушка, обеспыливание, обезжиривание и т. п.) и соблюдения требуемого режима отверждения клея (время, температура, давление).

### 13.5. Методика преподавания материалов и изделий из пластмасс

Полимерные строительные материалы являются относительно новым видом строительных материалов. Технология производства, свойства и области применения этих материалов определяются особенностями их основного компонента — полимера. Поэтому знакомство учащихся со строительными пластмассами надо начинать с изложения необходимых сведений о полимерах, и только после усвоения учащимися этого материала следует переходить к изложению конкретных видов полимерных строительных материалов, постоянно увязывая при этом свойства материалов со свойствами полимера, входящего в его состав. Задача преподавателя — объяснить взаимосвязь состава и строения материала с его свойствами и рациональными областями применения и закрепить знания учащихся на конкретных примерах.

Начать изложение темы «Строительные пластмассы» следует с общих сведений о пластмассах, где кратко осветить историю развития производства и применения пластмасс, подчеркнуть их «молодость» как строительных материалов. Здесь же целесообразно рассмотреть

общие свойства пластмасс, их взаимосвязь и связь с рациональными областями применения, указав на перспективы использования пластмасс в строительстве.

Переходя к изложению состава пластмасс и роли каждого компонента, особо следует подчеркнуть влияние полимера и наполнителя на свойства пластмасс. Характеризуя полимеры, следует напомнить учащимся об истории развития химии и технологии полимеров и роли русских и советских ученых в развитии науки о полимерах. Здесь же следует отметить, что из всего многообразия полимеров широкое применение в народном хозяйстве находят лишь около двадцати так называемых многотоннажных полимеров. Далее целесообразно рассмотреть те из них, которые используют в массовом количестве в строительном деле, предварительно классифицировав их по способу получения (полимеризационные и поликонденсационные) и поведению при нагревании (термопластичные и термореактивные). Описание свойств полимеров нужно давать на примере этих многотоннажных полимеров. Заканчивая рассмотрение состава пластмасс, необходимо остановиться на роли наполнителей и их видах, а также кратко на других компонентах пластмасс (пластификаторах, стабилизаторах, красителях).

При изложении видов строительных пластмасс, учитывая их многообразие и часто многоцелевое назначение, следует рассмотреть лишь основные общие сведения по группам этих материалов. Конкретные же сведения по каждому материалу рекомендуется разобрать на практических занятиях (работа с коллекциями) и экскурсиях на строительные объекты и заводы. При этом преподаватель должен добиваться, чтобы учащиеся не просто знали название материалов, а понимали сущность связи состава и строения материала со свойствами и уяснили, почему рационально применять данный вид пластмасс в тех или иных областях строительства. Здесь главный акцент надо сделать на преимуществах пластмасс перед традиционными материалами, в особенности с точки зрения повышения производительности труда и индустриализации строительства. При этом важно подчеркнуть, что полное использование положительных свойств полимерных материалов возможно только при правильном их применении.

Изучение темы рекомендуется закончить проведением семинара, предварительно подготовив вопросы для обсуждения и ознакомив с ними учащихся.

Объем и глубина проработки данной темы в ПТУ должны быть увязаны с программой по материаловедению в зависимости от будущей строительной специальности учащихся.

## Глава 14

### ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 14.1. Общие сведения

● *Лакокрасочные материалы используют для приготовления красочных составов, которые в вязкожидком состоянии наносят тонкими слоями (60...500 мкм) на поверхность отделяемой конструкции (бетон, дерево, металл). В результате отвердевания красочных составов образуется твердая цветная пленка, которая прочно*

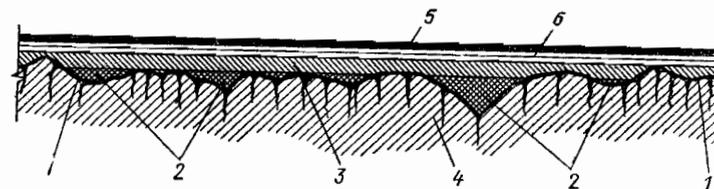


Рис. 14.1. Слой лакокрасочного покрытия:

1 — грунтовка; 2 — подмазка; 3 — шпаклевка; 4 — основание; 5 — слой лака; 6 — слой красочного состава

*сцепляется с отделяемой поверхностью (основанием) и называется лакокрасочным или малярным покрытием.*

Такие покрытия дают возможность защитить материал конструкций от вредного воздействия окружающей среды и, следовательно, повысить их долговечность; получить архитектурно-художественный эффект; улучшить санитарно-гигиенические условия в помещениях. Некоторые лакокрасочные покрытия имеют специальное назначение (например, антисептические и огнезащитные краски для дерева). Чаще всего лакокрасочные покрытия служат одновременно для нескольких целей.

Лакокрасочные покрытия обычно состоят из грунтующего, подмазочного, шпаклевочного и окрасочного слоев, каждый из которых имеет свое особое назначение (рис. 14.1). Основным назначением грунтующего слоя

является улучшение сцепления последующих слоев с основанием. Подмазочные слои служат для заполнения сравнительно крупных углублений на поверхности основания. Шпаклевочный слой предназначен для выравнивания поверхности. Один или несколько окрасочных слоев создают тонкую пленку заданного цвета. В зависимости от характера основания и назначения окраски некоторых слоев может и не быть, но всегда есть красочный слой (слои).

Основными компонентами лакокрасочных составов являются пигменты и связующие вещества, кроме них в лакокрасочные составы могут входить наполнители, растворители и разбавители.

#### 14.2. Пигменты и наполнители

● *Пигменты (их называют также сухими красками) — тонкодисперсные цветные порошки, нерастворимые в олифе, воде и органических растворителях. Цвет лакокрасочного покрытия зависит от пигментов. При тщательном перемешивании пигментов со связующими они дают нерасслаивающиеся суспензии, которые называют красочными составами (красками).*

Окраска пигментов возникает благодаря избирательному поглощению кристаллической решеткой пигмента волн той или другой длины. В результате пигмент кажется окрашенным в цвет, который дополняет поглощенный. Вещества, присутствие которых обуславливает окраску пигментов, называют хромофорами («носителями цвета»).

От пигментов в известной мере зависит также и долговечность малярного покрытия, так как они, подобно наполнителям, в строительных растворах и бетонах уменьшают объемные деформации в красочной пленке в процессе ее твердения и при эксплуатации.

В строительстве применяют главным образом *неорганические пигменты* (природные и искусственные), которые в большинстве случаев состоят из солей или оксидов металлов, а также некоторые металлические и *органические пигменты*.

● *Дисперсность пигмента* влияет на все его основные свойства. Чем мельче частицы пигмента, тем выше его укрывистость и красящая способность (до достижения оптимальной степени дисперсности). Полифракционный состав пигмента позволяет получить плотное красочное

покрытие при минимальном расходе связующего вещества. Природные пигменты, получаемые путем измельчения и отмучивания горных пород, состоят из частиц размером 0,5...40 мкм. Искусственные неорганические пигменты, получаемые в результате химических реакций, отличаются от природных большей дисперсностью и состоят из частиц размерами 0,1...2 мкм.

● *Красящая способность, или интенсивность, пигмента* характеризуется его способностью передавать свой цветовой тон при смешивании с белым пигментом. Чем больше красящая способность пигмента, тем меньше его нужно для получения окраски яркого тона.

● *Укрывистость, или кроющая способность, пигмента* характеризуется расходом (в г на 1 м<sup>2</sup> окрашиваемой поверхности), необходимым для того, чтобы закрыть слой контрастных красок (например, черные и белые полосы), заранее нанесенных на стекло. Чем меньше расход пигмента, тем выше его укрывистость. Укрывистость зависит от разности показателей преломления света пигментом и связующим веществом. Чем больше эта разность, тем выше укрывистость краски. Различие в красящей способности разных пигментов не связано с их кроющей способностью. Например, высокоинтенсивный пигмент — лазурь — обладает очень невысокой укрывистостью, а высокоукрывистый пигмент — свинцовый сурик — сравнительно невысокой красящей способностью.

● *Маслоемкость пигмента* характеризуется количеством (в %) олифы, необходимым для превращения 100 г пигмента в однородную суспензию рабочей вязкости. Чем меньше олифы требует пигмент, тем дешевле краска и тем более стойким будет покрытие, так как окраска разрушается главным образом из-за неизбежного старения пленки.

● *Светостойкость пигментов* — способность не менять цвет под действием ультрафиолетовых лучей. Большинство природных пигментов светостойки. Некоторые органические пигменты на свету быстро обесцвечиваются («выцветают») или изменяют свой цвет.

● *Атмосферостойкость пигментов* — способность выдерживать, не разрушаясь и не изменяя цвета, многократные чередования увлажнения и высыхания, заморозания и оттаивания, а также воздействие кислорода, сернистых газов и других атмосферных реагентов. Это

свойство особенно важно для пигментов, применяемых для окраски наружных конструкций.

● **Химическая стойкость** пигментов — способность противостоять действию кислотной или щелочной среды без изменений цвета и видимых разрушений. В зависимости от условий эксплуатации подбирают щелоче- или кислотостойкие пигменты. Пигменты, не обладающие щелочестойкостью, нельзя применять при окраске свежей известковой штукатурки и свежего бетона, а также в красочных составах на основе известковых или силикатных вяжущих.

● **Антикоррозионные (пассивирующие) свойства пигмента** характеризуются его способностью давать (в сочетании с соответствующим связующим) покрытия, надежно защищающие стальные поверхности от окисления. Эти свойства очень важны для пигментов, применяемых для окраски металлических конструкций.

● **Огнестойкость пигмента** — способность выдерживать действие высоких температур без изменения цвета и разрушения. Огнестойкость пигментов следует учитывать при окраске отопительных систем и тепловых установок.

● **Безвредность пигмента.** Некоторые пигменты ядовиты. Особая осторожность соблюдается при применении пигментов, содержащих соединения свинца, меди.

#### ■ **Природные неорганические пигменты.**

Их получают механической переработкой (измельчением, отмучиванием и т. п.) горных пород, содержащих яркоокрашенные минералы. Производство их сравнительно несложно, а стойкость высокая (все они щелочестойки и почти все светостойки), поэтому их применяют для наружной окраски, а также для получения цветных бетонов. Однако по разнообразию и яркости для получения цвета природные пигменты значительно уступают искусственным неорганическим и особенно органическим пигментам.

К этой группе пигментов относят мел, железистоокисные пигменты (охру, мумию природную, сурик железный), марганцовистые пигменты (умбру, пиролюзит), графит.

● **Мел** — самый дешевый пигмент белого цвета; широко применяется в клеевых красках.

● Окраска **железистоокисных пигментов** зависит от вида и количества содержащихся в них оксидов железа.

● **Охра** состоит из глины, окрашенной в желтый цвет различными оттенками оксидами железа, содержание кото-

рых составляет 11...18 %. Охра является одним из самых распространенных и дешевых пигментов. Она широко применяется для наружных и внутренних окрасок.

● **Природная мумия** представляет собой тонкодисперсный порошок глины, окрашенный в красный цвет разными оттенками оксидами железа, содержание которых составляет 20...70 %. Это один из самых дешевых пигментов. Ее применяют для окрасок по металлу, дереву и штукатурке.

● **Сурик железный** — пигмент коричнево-красного цвета, содержащий 75...90 % оксида железа. Обладает высокой стойкостью ко всем воздействиям; один из самых дешевых пигментов. Сурик железный особенно широко применяют для окраски стальных кровель.

● **Умбра** — пигмент коричневого цвета различных оттенков. Умбра состоит из глины, окрашенной оксидами железа (не менее 48 %), и марганца (7...14 %). Ее широко применяют в строительстве, особенно в клеевых красках.

● **Перекись марганца** (пиролюзит)  $MnO_2$  — пигмент черного цвета: получают из марганцевой руды. Перекись марганца широко используют как в клеевых, так и в масляных красках, особенно для окраски изделий из чугуна.

● **Графит** — пигмент черного цвета с сероватым оттенком и характерным жирным металлическим блеском, содержащий 70...94 % углерода. Обладает высокой устойчивостью к действию различных химических реагентов. Графит используют в масляных красочных составах.

#### ■ **Искусственные неорганические пигменты.**

Их получают из минерального сырья путем сложной химической переработки. Ниже описаны искусственные неорганические пигменты, наиболее часто применяемые в строительстве.

● **Белыми пигментами** являются известь, белила цинковые, титановые, литопоновые, свинцовые.

● **Известь** в красочных составах является одновременно связующим веществом и пигментом. Употребляется преимущественно для окраски фасадов.

● **Цинковые белила** ( $ZnO$ ) обладают невысокой атмосферостойкостью, растворимы в кислотах и щелочах. Применяют их в основном для внутренней окраски по дереву, металлу, штукатурке.

● **Титановые белила** ( $TiO_2$ ) в щелочах и кислотах

нерастворимы, обладают высокой свето- и атмосферостойкостью, совершенно нетоксичны. Их широко применяют как для внутренней, так и для наружной окраски.

● *Литопон* ( $ZnS \cdot BaSO_4$ ) растворим в кислотах, не обладает коррозионной стойкостью и атмосферостойкостью. Литопон применяют преимущественно для внутренней окраски.

● *Свинцовые белила* ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) обладают большой укрывистостью, высокой свето- и атмосферостойкостью, а также высокими антикоррозионными свойствами. Недостатком их является высокая токсичность, в связи с чем их редко применяют в строительстве.

● *Желтые пигменты* — это соли хромовой кислоты, обычно называемые «кронами» от искаженного слова «хром».

● *Крон цинковый желтый* ( $ZnCrO_4$ ) обладает большой свето- и антикоррозионной стойкостью. Применяют его в масляных красках для окраски металлических конструкций.

● *Кроны свинцовые желтые* ( $PbCrO_4$ ) различных оттенков от лимонного до оранжевого обладают высокой укрывистостью и антикоррозионными свойствами. Под действием сероводорода темнеют, под действием щелочей краснеют, токсичны. Применяют редко для окрасок по дереву, металлу и штукатурке.

● *Синие пигменты* — это ультрамарин и лазурь малярная.

*Ультрамарин* — синий пигмент, обладающий средней светостойкостью и хорошей щелочестойкостью. Его применяют в масляных и известковых красках и для подцветки белых красок.

*Лазурь малярная*  $\{Fe_4[Fe(CN_6)]_3\}$  — интенсивный синий пигмент, атмосфероустойчив, но не устойчив к действию щелочей и высоких температур (меняет цвет на коричневый). Применяют лазурь с масляными и полимерными связующими для окраски по дереву и металлу.

*Зеленые пигменты*, применяемые в строительстве, весьма многочисленны. Чаще других используют зелень свинцовую, хромовую и цинковую и оксид хрома.

*Зелень свинцовая хромовая* — механическая смесь желтых свинцовых кронов с лазурью и наполнителем. По техническим свойствам она аналогична свинцовым кронам, т. е. обладает высокой красящей способностью и укрывистостью, светостойка и стойка к коррозионным

воздействиям, но не щелочестойка. Применяют ее для окрасок по металлу, дереву и штукатурке.

*Зелень цинковая* разнообразных оттенков от желто-зеленого до сине-зеленого представляет собой смесь цинкового желтого крона с лазурью и наполнителем. Обладает высокой атмосферостойкостью и антикоррозионными свойствами. Применяют цинковую зелень в масляных красках — по металлу и дереву, в клеевых — по штукатурке.

*Оксид хрома* ( $Cr_2O_3$ ) — высококачественный пигмент, обладающий светостойкостью, щелоче- и кислотостойкостью, стойкостью к действию высоких температур. Его можно смешивать с любыми другими пигментами и заменять со всеми видами связующих.

● *Красные пигменты* многочисленны и разнообразны по свойствам. В строительстве наиболее часто применяют мумию искусственную, крон красный, сурик свинцовый, редоксайд.

*Мумия искусственная* — смесь обожженного сернокислого кальция и оксида железа. Она является светостойким пигментом с высокой красящей способностью и большой укрывистостью. Применяют мумию для окрасок по дереву и штукатурке.

*Крон красный*  $[PbCr_2O_4 \cdot Pb(OH)_2]$  — пигмент ярко-красного цвета; обладает хорошей светостойкостью и высокими антикоррозионными свойствами; применяют для окрасок по металлу.

*Сурик свинцовый* ( $Pb_3O_4$ ) — пигмент от ярко-оранжевого до красного цвета; обладает высокой щелочестойкостью и пониженной кислотостойкостью. Особенно высоки антикоррозионные свойства свинцового сурика, благодаря чему его применяют для красок по стали, подвергающейся длительному воздействию воды.

*Редоксайд* — железоокисный пигмент, устойчивый к действию щелочей. Применяют для окрасок по дереву, штукатурке.

● В качестве *черного пигмента* в строительстве применяют различные сажи. Сажа — продукт неполного сгорания органических веществ, имеет высокую кроющую и красящую способность, устойчива к действию кислот и щелочей. Применяют сажу во всех красках, кроме красок по черному металлу, так как она стимулирует развитие коррозии.

#### ■ **Металлические пигменты.**

Для окраски металлических конструкций часто при-

меняют металлические порошки: *пудру алюминиевую* (тонкий порошок металлического алюминия) и *пудру золотистую* (тонкий порошок металлической бронзы), обладающие высокой свето- и атмосферостойкостью и антикоррозионными свойствами.

#### ■ Органические пигменты.

Эти пигменты представляют собой органические синтетические красящие вещества. Они обладают высокой красящей и кроющей способностью, чистым и ярким цветом. Органические пигменты свето- и атмосферостойки, однако щелочестойкость у них недостаточно высокая. Они пока дороги и дефицитны.

В строительстве применяют следующие органические пигменты: желтый светопрочный, красный, оранжевый, алый, голубой фталоцианиновый, зеленый фталоцианиновый и др.

● *Для экономии пигментов с высокой красящей способностью их разбавляют белыми наполнителями.* Наполнители также повышают прочность, огнестойкость и другие свойства красочных составов. Для наружной окраски лучшими наполнителями являются тонкие порошки тяжелого шпата ( $\text{BaSO}_4$ ) и талька. Для внутренней отделки применяют более дешевые наполнители — тонкомолотые мел, известняк, гипс.

### 14.3. Связующие вещества, растворители и разбавители

● *Связующие (пленкообразующие) вещества в красочных составах «склеивают» частицы пигмента между собой и с окрашиваемой поверхностью, образуя тонкую пленку.* Основные свойства красочных составов (удобноаносимость, скорость отвердевания, прочность и долговечность пленки) зависят в значительной мере от особенностей применяемого связующего. Здесь наблюдается некоторая аналогия с выбором неорганических вяжущих веществ в бетонах и растворах, свойства которых (удобноукладываемость, скорость твердения, прочность и стойкость) существенно зависят от свойств вяжущих.

В качестве связующих веществ в красочных составах используют *олифы* (обработанные растительные масла), *полимеры* (синтетические смолы, синтетические каучуки, производные целлюлозы) *клеи* (животные, растительные, искусственные), *неорганические вяжущие* вещества (известь, цемент, жидкое стекло). Для придания крас-

кам требуемой рабочей (малярной) консистенции используют *растворители* и *разбавители*.

Образование лакокрасочной пленки («высыхание» связующего) происходит вследствие различных физико-химических процессов в зависимости от вида связующего.

#### ■ Связующие вещества.

● *Олифы* являются связующим веществом для приготовления масляных красочных составов. Применяют олифы натуральные, полунатуральные и искусственные.

*Натуральные* олифы получают путем обработки нагреванием до 150...200 °С («варки») растительных «высыхающих» масел (льняного, конопляного и др.) при непрерывном перемешивании. В масло добавляют небольшое количество (2...4 %) *сиккативов* (ускорителей отвердевания) — веществ, богатых кислородом (соли и оксиды марганца, кобальта и других металлов). Благодаря такой обработке олифа (жидкий продукт) сравнительно быстро (за 12...24 ч) высыхает (отвердевает) в тонком слое на воздухе, образуя эластичную необратимую пленку, нерастворимую в воде и маслах. Отвердевание олифы в тонких слоях на воздухе происходит вследствие окисления ее кислородом, сопровождаемого полимеризацией, поэтому термин «высыхание» олифы является условным. Масса и объем пленки несколько увеличиваются, что иногда (в толстом слое) может привести к отслоению пленки от основания.

Пленки натуральной олифы обладают высокой прочностью, эластичностью и стойкостью против атмосферных воздействий. Однако применение натуральной олифы в строительстве ограничено вследствие высокой стоимости и дефицитности растительных масел. Ее используют лишь для окраски кровель из листовой стали и металлических переплетов в зданиях I класса, мостов, металлических ворот шлюзов, а также для грунтовок металлических конструкций в системах водоснабжения (баки, водоразборные колонки и т. п.) и для приготовления замазки.

*Полунатуральные олифы* состоят наполовину из уплотненных растительных масел, разбавленных до требуемой вязкости легко испаряющимися растворителями. Уплотнения масел достигают их окислительной полимеризацией (оксидация) путем интенсивной продувки воздухом, подогретым до 130...150 °С, масла с добавкой сиккативов или же бескислородной полимеризацией

(«варкой» масел в атмосфере нейтрального газа или в вакууме при температуре 280...300 °С). В зависимости от способа уплотнения получают оксидированные (*оксоли*) или *полимеризованные* олифы. Для производства таких олиф можно использовать не только высыхающие масла, но также и полувысыхающие (подсолнечное, касторовое).

Пленки из полунатуральных олиф отвердевают как вследствие испарения растворителя, так и в результате окисления кислородом воздуха. Такие пленки отличаются от пленок натуральной олифы меньшей толщиной, большей твердостью, менее сильным глянецом и большей водостойкостью. Однако долговечность пленок полунатуральных олиф значительно меньше, чем натуральных, так как они быстрее теряют эластичность вследствие испарения растворителей.

Полунатуральные олифы широко применяют в строительстве для всех видов малярных работ в зданиях и сооружениях I и II классов.

*Олифы искусственные*, или *синтетические*, в отличие от натуральной и полунатуральной не содержат растительных масел или содержат их не более 35 %. Они являются, по существу, одним из видов полимерных связующих. Из искусственных олиф в строительстве наибольшее распространение получили: олифа *глифталевая*, состоящая из раствора полимера глифталы в органических растворителях с некоторым содержанием растительных масел; олифа *синтоловая* — раствор продуктов окисления керосина в органических растворителях. Пленки искусственных олиф в большинстве случаев недостаточно атмосферостойки. Применяют искусственные олифы в основном для внутренней окраски в зданиях III класса.

● *Полимерные связующие* в красках и лаках применяют как самостоятельное связующее, а также в композициях с олифами и неорганическими вяжущими. Прежде в качестве полимерного связующего использовались природные смолы: копаллы, даммар, канифоль. В настоящее время в качестве полимерных связующих используют *синтетические смолы*, *синтетические каучуки* и *производные целлюлозы*, растворяемые до требуемой консистенции в органических растворителях.

Образование лакокрасочной пленки при использовании полимерных связующих происходит вследствие испарения растворителя. Образующаяся пленка «обрати-

ма», т. е. она может быть вновь растворена тем же растворителем. Таким образом, высыхание полимерных пленок это чисто физический процесс, а так называемое высыхание олиф — это процесс химический. Высыхание полимерных связующих происходит, как правило, значительно быстрее, чем олифы, однако многие полимерные краски менее долговечны, чем масляные.

На основе полимеров изготавливают лаки, летуче-смоляные, эмульсионные и полимерцементные краски. Эти краски широко применяют в строительстве для наружной и внутренней отделки зданий.

● *Клеи животные* (мездровый, костный, кислотный казеин, декстрин) и *клеи искусственные* (карбоксилметилцеллюлоза и метилцеллюлоза) применяют в качестве связующего при изготовлении так называемых водно-клеевых красок.

*Клей мездровый* (малярный) — продукт переработки кожных покровов животных. *Клей костный* (столярный) получают при переработке обезжиренных костей.

*Казеин* — белковый продукт, получаемый при переработке молока, а *декстрин* — продукт переработки крахмала.

*Карбоксилметилцеллюлоза* и *метилцеллюлоза* — клеи, получаемые при химической переработке древесной целлюлозы.

При растворении в воде получают клеящие коллоидные растворы, вязкость которых зависит от количества воды. Образование клеящей пленки на окрашиваемой поверхности происходит вследствие испарения воды, т. е. происходит высыхание.

Клеящие пленки обладают малой прочностью и водостойкостью. Водно-клеящие краски применяют для внутренней окраски в жилых и общественных зданиях.

#### ■ Растворители и разбавители.

● *Растворителями называют жидкости, применяемые для растворения полимерных связующих и придания малярной консистенции густотертым краскам.* Они должны быть инертными по отношению к лакокрасочным материалам и к материалам окрашиваемых конструкций. Растворителями служат легко улетучивающиеся органические жидкости. Это большей частью углеводородные продукты: уайт-спирит, сольвент-нафта, ацетон, бензол, скипидар, дихлорэтан и др. Растворителем для клеящих красок и красок на основе минеральных вяжущих веществ является вода. При работе с растворителя-

ми необходимо соблюдать правила техники безопасности, так как пары растворителей могут быть токсичными или огнеопасными.

● *Разбавителями называют жидкости, не растворяющие пленкообразующие вещества, а служащие только для уменьшения вязкости красочных составов, т. е. их добавляют для придания краске удобоносимости.* Роль разбавителя выполняет олифа, добавляемая в густотертую масляную краску, или вода, вводимая в водоэмульсионные красочные составы.

#### 14.4. Красочные составы

В зависимости от используемых связующих красочные составы (краски), применяемые в строительстве, подразделяют на: масляные краски, лаки; краски, изготовленные на основе полимеров; краски на основе минеральных вяжущих веществ; клеевые краски; эмульсионные краски.

##### ■ Масляные краски.

Масляные красочные составы получают при тщательном растирании в краскотерках пигментов с олифой. Масляные краски представляют собой однородные суспензии, в которых каждая частица пигмента окружена адсорбированным на ее поверхности связующим веществом — олифой. Промышленность вырабатывает масляные краски двух видов: густотертые и готовые к употреблению.

● *Густотертые краски* — это пасты с минимальным содержанием олифы. Перед использованием их нужно разбавлять до малярной консистенции олифой.

● *Готовые к употреблению (жидкотертые) краски* имеют вид жидкой массы и не нуждаются в разбавлении.

Диапазон применения масляных красок очень широк — наружная и внутренняя окраска по дереву, металлу, бетону и штукатурке. Нельзя наносить масляные краски на влажную поверхность. При выборе и применении масляных красок необходимо учитывать наряду с цветом потребность в олифе для густотертых красок, укрывистость и сроки высыхания пленки. Область применения масляных красок зависит от свойств пигмента и вида олифы.

##### ■ Краски на основе полимеров.

На основе полимеров изготавливают лаки, летучесмоляные, эмульсионные и полимерцементные краски. Осо-

бое значение приобрели лаки и краски на основе кремнийорганических соединений (силоконов). Большинство из них отличаются высокой атмосферостойкостью и термической стойкостью (например, кремнийорганические огнеупорные лаки выдерживают температуру 450... 500 °С).

● *Лаками* называют растворы смол (синтетических и природных) или битумов в летучих органических растворителях. При нанесении на поверхность тонкого слоя лака растворитель испаряется, лак высыхает, образуя твердую блестящую прозрачную пленку. В лакокрасочном покрытии лаковая пленка защищает красочные слои и придает окраске зеркальный блеск. Лаки обычно получают свое название от вида пленкообразующего вещества и реже от вида растворителя. В строительстве в основном используют приведенные ниже виды лаков.

● *Смоляные лаки* — растворы синтетических смол (мочевиноформальдегидной, полиэфирной, полихлорвиниловой и др.) в органических растворителях. Их используют для отделки паркетных полов и защиты древесины и других строительных материалов от коррозии.

● *Масляно-смоляные лаки* — растворы синтетических смол, модифицированные высыхающими маслами. Применяют для покрытий по дереву.

● *Битумные (асфальтовые) лаки* — растворы битумов в органических растворителях. Эти лаки дают водостойкие пленки черного цвета. Их применяют главным образом для антикоррозионной защиты стальных изделий, труб и других металлических деталей санитарно-технического оборудования. На солнце под влиянием ультрафиолетовых лучей свойства пленки быстро ухудшаются. При отрицательных температурах пленки битумных лаков становятся хрупкими. Для улучшения свойств таких лаков вводят высыхающие растительные масла.

● *Спиртовые лаки и политуры* — растворы смол в спирте. Их применяют для полировки деревянных поверхностей и покрытия изделий из стекла и металла.

● *Летуче-смоляные краски* представляют собой готовые к употреблению суспензии пигментов в лаках (летуче-смоляных составах). Образование красочной пленки происходит в результате испарения органического растворителя. При большом количестве связующего (смолы) в красках покрытия получают глянцевые. Эти краски называют эмальями. Эмалевые краски объединяют в себе свойства красок и лаков. Из широкого ассортимента ле-

туче-смоляных красок, выпускаемых промышленностью, в строительстве наиболее часто применяют перехлорвиниловые, эфиры-целлюлозные (нитролаки и эмали), хлоркаучуковые, алкидные, эпоксидные и карбамидные.

Летуче-смоляные краски высыхают значительно быстрее масляных (в течение 2...8 ч), водостойки, некоторые из них обладают высокой атмосферостойкостью (например, перхлорвиниловые фасадные краски), коррозионной стойкостью (например, эпоксидные и хлоркаучуковые краски). Летуче-смоляные краски дешевле масляных. Их широко применяют для наружной и внутренней окраски по штукатурке, бетону, дереву и металлу в зданиях II и III классов.

Недостатком всех летуче-смоляных красок является то, что органический растворитель — ценный продукт при высыхании безвозвратно теряется. Некоторые растворители токсичны.

● *Эмульсионные (латексные) краски* представляют собой пигментированные эмульсии или дисперсии полимера в воде. В их состав входят также эмульгаторы и некоторые вещества, улучшающие свойства красок. Эмульсионные краски выпускают в виде жидкой пасты, которую на месте работ разводят до малярной консистенции мягкой водой (жесткая вода может вызвать свертывание краски, что делает ее непригодной к употреблению). Эмульсионными красками окрашивают плотные, а также сильно пористые и влажные поверхности. Образование пленки происходит вследствие распада эмульсии при удалении воды, которая частично испаряется, а частично поглощается основанием. Образовавшаяся пленка обладает некоторой пористостью и благодаря этому является воздухо- и паропроницаемой. Влага постепенно испаряется через красочное покрытие, а его сцепление с основанием не ослабевает. Эти краски дают гладкие матовые покрытия, обладающие большой механической прочностью, свето- и водостойкостью.

В строительстве наиболее часто применяют поливинилацетатные, бутадиенстирольные и полиметилакрилатные (акрилатные) эмульсионные краски. Поливинилацетатные и бутадиенстирольные краски используют для внутренней окраски по дереву и штукатурке. Акрилатные краски, обладающие повышенной атмосферостойкостью, можно применять для окраски фасадов зданий.

● *Полимерцементные краски* изготовляют смешиванием водных смоляных эмульсий с белым цементом, ще-

лочестойкими пигментами и наполнителем. Образование пленки в полимерцементных красках происходит в результате распада смоляной эмульсии при испарении воды и реакций гидратации портландцемента. Такие краски хорошо сцепляются с бетонными поверхностями и штукатуркой. Применяют полимерцементные краски для отделки фасадов бетонных, кирпичных и оштукатуренных зданий, а также для заводской отделки крупных блоков и панелей.

■ *Водоразбавляемые краски на основе неорганических вяжущих веществ и клеев.*

Водоразбавляемые красочные составы готовят с использованием в качестве связующих неорганических вяжущих веществ или клеев. Такие краски изготовляют на месте работ и разбавляют водой.

● *Известковые краски* изготовляют из извести, щелочестойких пигментов и небольших добавок, например олифы для придания пленке небольшого блеска. Образование красочной пленки происходит благодаря карбонизации извести. Известковые краски не обладают высокой прочностью и долговечностью, но они дешевы и подготовка поверхности для их нанесения проста. Применяют известковые краски в основном для окраски фасадов: кирпичных, бетонных, оштукатуренных.

● *Цементные краски* состоят из цемента, щелочестойких пигментов, извести, хлористого кальция и гидрофобизирующих добавок. Образование пленки происходит вследствие реакций гидратации цемента. Известь и хлористый кальций повышают водоудерживающую способность краски, что необходимо для приобретения прочности красочной пленки. Применяют цементные краски для окраски по влажным пористым поверхностям: бетонным, штукатурным, кирпичным.

● *Силикатные краски* состоят из растворимого калийного стекла ( $K_2O \cdot nSiO_2$ ), минеральных щелочестойких пигментов и кремнеземистых добавок (трепела, диатомита, тонкомолотого песка). Образование красочной пленки происходит в результате гидролиза силиката калия и образования нерастворимых силикатов кальция и водного кремнезема (см. гл. 5). Наиболее атмосферостойкие покрытия получают при нанесении силикатной краски на основания, содержащие свободную известь (поверхность свежего бетона, цементной или известковой штукатурки). При окраске по дереву силикатные краски служат для защиты древесины от возгорания.

● *Клеевые краски* представляют собой суспензии пигментов и мела в водном коллоидном растворе клея. Приготавливают клеевые краски на месте производства работ. Красочная пленка в клеевых красках образуется по мере удаления из них воды, вследствие ее испарения и впитывания окрашиваемым основанием. Клеевые краски не прочны и не водостойки, поэтому их применяют лишь для внутренней окраски сухих помещений.

● *Казеиновые клеевые краски* выпускают в виде сухих смесей, состоящих из казеина, пигментов, щелочи, извести и антисептика. Для получения состава требуемой консистенции сухую краску на месте производства работ разбавляют водой. Казеиновые клеевые составы более водостойки, чем составы на животных клеях. Их применяют для внутренней и наружной окраски.

#### 14.5. Методика преподавания лакокрасочных материалов

Лакокрасочные материалы являются наиболее широко распространенными отделочными материалами.

При изучении лакокрасочных материалов необходимо учитывать, что красочные составы — это сложные системы, в состав которых обязательно входят связующее и пигмент, а также другие компоненты: наполнители, растворители, разбавители, сиккативы и другие специальные добавки. Свойства красочных покрытий зависят от свойств компонентов красочных составов. Следует четко уяснить влияние на свойства красочных покрытий каждого из компонентов.

Далее необходимо изучить основные требования, предъявляемые к пигментам: тонкость измельчения, светостойкость, атмосферостойкость, химическую стойкость, укрывистость, интенсивность окраски, маслосъемкость, токсичность. Основные пигменты: природные и искусственные рассматриваются в свете предъявляемых к ним требований.

Изучая связующие (пленкообразующие) материалы, необходимо подчеркнуть, что свойствами пленки определяется долговечность красочного покрытия и, следовательно, область применения красочного состава, а также четко уяснить процессы образования пленки на различных связующих.

Другие компоненты следует рассматривать с точки

зрения их влияния на свойства красочных составов и покрытий.

При изучении красочных составов необходимо обратить внимание на то, что в основу деления красок положен вид связующего. Следует подчеркнуть, перспективность применения красок на основе полимерных связующих, особенно эмульсионных. Для учащихся производственно-технических училищ наиболее важным является знание свойств готовых красочных составов, областей и условий их применения, а также правил составления красок на месте работ.

Заканчивается изучение раздела проведением коллоквиума или семинара.

## Обобщающие вопросы для самостоятельной работы над курсом и при подготовке к экзамену

? Глава 1. 1. Свойства материалов, характеризующие особенности физического состояния (истинная и средняя плотность, пористость). Связь этих свойств с составом, строением материала и условиями его применения. 2. Свойства материалов, определяющие их отношение к водной и паровой среде (гигроскопичность, капиллярное впитывание, водопоглощение, влажностные деформации, водостойкость, воздухоустойчивость, влагоотдача, водо-, паро- и газонепроницаемость). Определение, методы оценки этих свойств. Связь этих свойств с составом, строением материала и условиями эксплуатационной среды. 3. Морозостойкость материалов. Определение, причины разрушения материалов при попеременном замораживании и оттаивании. Методы оценки. Пути повышения морозостойкости материалов. 4. Свойства материалов, определяющие их отношение к постоянному или переменному тепловому воздействию (теплопроводность, теплоемкость, термическая стойкость, огнестойкость, огнеупорность). Определение и методы оценки. Зависимость этих свойств от состава и строения материала и условий эксплуатации. 5. Механические свойства материалов (прочность и предел прочности, релаксация, упругость, пластичность, хрупкость). Понятие о теоретической и фактической прочности. Методы оценки. Зависимость этих свойств от состава и строения материала и эксплуатационных условий. Понятие о специальных механических свойствах (ударная вязкость, твердость, истираемость и износостойкость). 6. Понятие о радиационной стойкости и защите; акустических свойствах — звукопроводности, звукопоглощении материалов. Связь этих свойств с составом, структурой материала и условиями его применения. 7. Понятие о дисперсности и ее влиянии на химическую активность материалов; об адгезии, реологических свойствах, химической стойкости (коррозии) материалов. 8. Основы методики изучения основных свойств строительных материалов.

? Глава 2. 1. Минералы и горные породы. Классификация горных пород по условиям образования. 2. Магматические горные породы. Образующие их минералы (названия, химические формулы, свойства); виды, свойства и области применения материалов и изделий из магматических горных пород. 3. Осадочные горные породы. Основные породообразующие минералы и горные породы, образованные этими минералами. Виды, свойства и области применения материалов из осадочных горных пород. 4. Основные виды метаморфических горных пород (гнейсы, мраморы, кварциты, сланцы), особенности их строения и свойства. Применение в строительстве. 5. Методы добычи горных пород и их обработка в каменные материалы и изделия для строительства; фактуры природных каменных мате-

риалов для наружной и внутренней облицовки зданий; использование отходов от обработки штучных изделий. 6. Выветривание природных каменных материалов и меры для предохранения их от вредного воздействия среды. 7. Основы методики преподавания природных каменных материалов.

? Глава 3. 1. Классификация керамических материалов и изделий по плотности и назначению. Основные направления развития производства этих материалов. 2. Сырьевые материалы для производства керамических материалов и изделий: разновидности, минеральный и гранулометрический составы, керамические свойства и способы их регулирования. 3. Общая схема технологии керамических изделий: основные технологические переделы, их влияние на качество изделий и способы регулирования. 4. Стеновые керамические материалы и изделия: общие требования, виды и деление по эффективности применения; характеристика отдельных видов этих материалов по форме, размерам, маркам и особенностям применения. 5. Фасадные керамические материалы: общие требования, разновидности и их характеристики по внешнему виду, размерам, свойствам и особенностям применения. 6. Керамические материалы и изделия для внутренней облицовки стен и полов. Общие требования к каждой группе, разновидности и их характеристики по внешнему виду, размерам, свойствам и особенностям применения. 7. Керамические материалы специального назначения: кровельные, теплоизоляционные, трубы, санитарно-технические изделия, кислото- и огнеупорные материалы и изделия. Особенности сырьевых материалов, технологии, основные свойства и особенности применения этих материалов. 8. Методические принципы изучения керамических материалов и изделий.

? Глава 4. 1. Понятие о стеклообразном состоянии вещества; силикатные расплавы; вещества, полученные при их охлаждении. 2. Стекло: сырьевые материалы, основы производства, особенности строения, эксплуатационные и технологические свойства стекла, определяющие основные области его применения. 3. Главнейшие материалы и изделия из стекла: листовое стекло, облицовочные материалы из стекла, строительные элементы из стекла (виды и области применения). 4. Стеклокристаллические материалы, их основные виды, способы получения и области применения. 5. Особенности строения и свойств ситаллов и шлакосталлов, какими технологическими приемами получают такие материалы. 6. Методические принципы преподавания материалов и изделий из силикатных расплавов.

? Глава 5. 1. Назначение неорганических вяжущих веществ, классификация, сырьевые источники и общие технологические принципы получения этих вяжущих. 2. Сравнение воздушной извести (гашеной, молотой) и гипсовых вяжущих по свойствам и областям применения с учетом состава сырья, особенностей производства, строения и состава самих вяжущих и камня, образующегося при их твердении. 3. Растворимое (жидкое) стекло; кислотоупорный цемент и магнезиальные вяжущие: сырье, принципы получения, состав, особенности твердения, свойства, области применения. 4. Портландцемент: сырье, принципы производства; минеральный и вещественный состав; схема химических и физико-химических процессов, происходящих при затворении цемента водой; свойства портландцемента и области применения. 5. Коррозия цементного камня: основные виды, меры защиты от коррозии. 6. Разновидности портландцемента (быстротвердеющий, сульфатостойкий, белый и цветные) и их сопоставление по составу, свойствам и областям применения с портланд-

цементом. 7. Понятие о гидрофобизации и пластификации цемента и сопоставление гидрофобных и пластифицированных портландцементов с обычным по свойствам и областям применения. 8. Активные (гидравлические) добавки и неорганические вяжущие на их основе; сопоставление пуццоланового портландцемента и шлакопортландцемента с портландцементом по составу, особенностям твердения, свойствам и областям применения. 9. Глиноземистый цемент, расширяющиеся и безусадочные цементы и их сопоставление с портландцементом: по сырью, составу, особенностям твердения, свойствам и областям применения. 10. Методические принципы преподавания неорганических вяжущих веществ.

? Глава 6 и 7. 1. Основные преимущества бетона и железобетона по сравнению с другими строительными материалами; классификация бетонов. 2. Материалы для бетонов и требования к ним: а) влияние вида цемента на эксплуатационные качества бетонных конструкций и марки цемента на прочность бетона; б) требования к воде для затворения и ухода за бетоном; в) добавкам для ускорения и замедления твердения бетона; г) заполнителям в бетоне (влияние зернового состава заполнителей, формы зерен и характера их поверхности, крупности песка, содержания в заполнителях глинистых, илтистых и пылевидных частиц, особенности пористых заполнителей по сравнению с плотными и как это отражается на свойствах бетонных смесей и затвердевшего бетона). 3. Физический смысл основного закона прочности бетона (формулы, графики). 4. Производственные факторы, влияющие на качество и технико-экономические показатели бетонов: а) технологические операции дозирования компонентов и приготвления бетонной смеси; б) влияние на прочность бетона в период его твердения (особенности приготовления и укладки бетона в сухую жаркую погоду и при отрицательной температуре воздуха). 5. Класс бетона; важность обеспечения однородности свойств бетона во всем объеме конструкции, оценка однородности и приемы ее повышения. 6. Почему стремятся подобрать состав бетона с наименьшим расходом цемента? 7. Сопоставление тяжелого и легкого бетонов по составу, свойствам и областям применения. 8. Ячеистые бетоны: основные виды, исходные материалы, принципы производства, строение, свойства, области применения. 9. Понятие о железобетоне; роль арматуры в железобетонных конструкциях; виды арматурных сталей и арматурных изделий. 10. Преимущества и недостатки сборных изделий перед монолитными, сопоставьте их по затратам труда на изготовление, срокам возведения строительных объектов, качеству и надежности. 11. Особенности строительных растворов по сравнению с бетонами. 12. Показатели для оценки удобоукладываемости растворов смесей, роль и виды пластифицирующих добавок в строительных растворах. 13. Принципы определения состава растворов и основные показатели свойств затвердевших растворов для каменной кладки. 14. Отделочные растворы — штукатурные декоративные и их краткая характеристика.

? Глава 8. 1. Силикатные (известково-песчаные) материалы: сырье, принципы получения, физико-химические процессы, происходящие при твердении в автоклаве. 2. Основные виды силикатных материалов и изделий, их свойства, области и особенности применения в строительстве. 3. Гипсовые и гипсобетонные материалы и изделия: сырьевые компоненты, общие принципы технологии изделий, основные разновидности этих изделий, их свойства и области применения. 4. Асбестоцемент как композиционный материал, роль каждого компонента сырья в формировании строения и свойств композита; осно-

вы технологии асбестоцементных изделий. 5. Виды асбестоцементных изделий, их основные свойства и области применения; технико-экономическая эффективность применения этих изделий по сравнению с взаи́моаменяемыми материалами (кровельными, стеновыми, отделочными и т. д.).

? Глава 9. 1. Классификация металлов и сплавов; основные достоинства и недостатки металлов и сплавов; наиболее распространенные металлы и сплавы, применяемые в строительстве. 2. Основы производства чугуна и стали различными способами: схема процессов, достоинства и недостатки, пути совершенствования. 3. Обработка металлов (холодная и горячая). Вид и сущность обработки: прокатка, волочение, прессование, штамповка, литье. 4. Строение металлов. Структурные составляющие металлических сплавов. 5. Понятие о диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов. 6. Механические испытания металлов. 7. Основы термической обработки сталей: структура сталей в неравновесном состоянии, виды термической обработки сталей, химико-термическая обработка сталей, наклеп, возврат и старение сталей. 8. Виды сталей, применяемых в строительстве: сталь углеродистая обыкновенного качества, качественная конструкционная, легированная (признаки деления, маркировки, их характерные свойства). 9. Сортамент металла и металлоизделий в строительстве и их краткая характеристика. 10. Чугуны, применяемые в строительстве: виды, свойства, области применения. 11. Цветные металлы и сплавы, применяемые в строительстве: виды, свойства, области применения. 12. Коррозия металлов (виды) и способы защиты от коррозии. 13. Электросварка металлов: виды сварки и сущность сварочных процессов. 14. Газовая сварка и резка металлов. 15. Основы методики преподавания металлических материалов и изделий.

? Глава 10. 1. Основные породы древесины, применяемые в строительстве: хвойные и лиственные. 2. Положительные и отрицательные свойства древесины как строительного материала. 3. Зависимость основных свойств древесины от ее строения и влажности. 4. Важнейшие группы пороков и их влияние на качество древесины. 5. Способы защиты древесины от гниения и возгорания: влияние влажности, конструктивные меры защиты от гниения и возгорания, антисептики, антипирены, их виды и действие. 6. Сортамент лесных материалов и деревянных изделий, применяемых в строительстве. Значение клееных деревянных конструкций. Комплексное использование древесины в строительстве. 7. Принципы методики преподавания материалов и изделий из древесины.

? Глава 11. 1. Определение и классификация теплоизоляционных материалов. Технико-экономическое значение их в строительстве: экономия топливно-энергетических ресурсов, снижение массы зданий, повышение индустриальности строительства. 2. Общий характер строения теплоизоляционных материалов, связь строения со свойствами. 3. Важнейшие теплоизоляционные материалы и изделия из органического сырья: сырье, принципы технологии, свойства, области применения. 4. Важнейшие теплоизоляционные материалы и изделия из неорганического сырья: сырье, принципы технологии, свойства, области и особенности применения. 5. Акустические материалы: классификация и назначение. 6. Звукопоглощающие материалы и изделия: виды, сырье, принципы технологии, свойства, особенности применения. 7. Звукоизоляционные материалы и изделия: виды, принципы получения, свойства, особенности применения. 8. Основы методики преподавания теплоизоляционных и акустических материалов и изделий.

? Глава 12. 1. Основные органические вяжущие вещества: битумы природные и искусственные, дегти, смешанные вяжущие (определение и состав). 2. Свойства нефтяных битумов; методы определения их марки; области применения. 3. Способы перевода твердых битумов в жидкое (рабочее) состояние. 4. Асфальтовый и дегтевый бетоны. Основные компоненты, классификация, свойства, области применения. 5. Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе органических вяжущих: рулонные и обмазочные. 6. Герметизирующие материалы на основе битумов, их значение, виды и свойства. 7. Основы методики преподавания битуминозных вяжущих и материалов на их основе.

? Глава 13. 1. Состав и назначение главнейших компонентов пластмасс. 2. Почему в строительстве пластмассы применяют в основном в качестве отделочных и теплоизоляционных материалов? И почему нерационально их использовать в качестве конструктивных? 3. В чем заключается высокая технологичность пластмасс? 4. Понятие о важнейших видах материалов и изделий из пластмасс: виды, свойства, области применения. 5. Как и какие полимеры применяют для модификации бетонов и получения новых видов бетонов? 6. Техничко-экономические показатели материалов из пластмасс.

? Глава 14. 1. Назначение лакокрасочных материалов. Основные компоненты красочных составов. 2. Пигменты, их виды и основные требования к ним. Важнейшие свойства пигментов. 3. Связующие вещества: их назначение в красочных составах; виды и основные свойства. 4. Красочные составы на основе неорганических вяжущих и клеев: известковые, цементные, силикатные, клеевые. 5. Красочные составы на основе полимеров: полимерные, полимерцементные, эмульсионные (латексные). 6. Олифы и масляные краски. 7. Методы оценки основных свойств лакокрасочных материалов. 8. Основы методики преподавания лакокрасочных материалов.

## Заключение

Промышленность строительных материалов, изделий и конструкций является в настоящее время крупной отраслью индустрии, располагающей механизированными предприятиями, квалифицированными кадрами и крупной научной базой.

Однако потребности капитального строительства по объему и ассортименту строительных материалов полностью не удовлетворяются, продолжает существовать противоречие между масштабами их производства и структурой выпуска. В связи с этим перед промышленностью строительных материалов со всей остротой стоит задача ускорения темпов технического прогресса, повышения уровня концентрации производства, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий. При этом следует иметь в виду, что планомерно осуществляемый технический прогресс в промышленности, новые технологические решения способствуют не только увеличению объема продукции, но и облегчают создание новых, более эффективных строительных материалов, применение которых меняет привычные представления о конструкциях, конструктивных схемах и общем архитектурном облике зданий и сооружений. Расширение выпуска и повышение качества высокопрочных, многокомпонентных и специальных цементов, прогрессивных бетонных и железобетонных, металлических и клеевых деревянных конструкций, стекла, особенно полированного, упрочненного и теплозащитного, стеклохолста; эффективных отделочных и тепло- и звукоизоляционных материалов, строительного фаянса и сантехнических изделий, перевооружение кирпичного производства на базе новейшей техники повысит уровень индустриализации строительного производства и степень заводской готовности конструкций и деталей, расширит применение новых эффективных конструкций. Ускорение разработки и внедрения энергосберегающих технологий в производ-

све цемента (например, развитие сухого способа вместо мокрого), стекла, извести, экономичных методов тепловой обработки железобетона, обжига керамических изделий, эффективных способов изоляции тепловых агрегатов и использование вторичного тепла позволит обеспечить экономию топлива и энергетических ресурсов в народном хозяйстве. Для охраны окружающей среды и экономии топливно-энергетических ресурсов большое значение приобретает малоотходное и безотходное производство строительных материалов, включающие комплексную переработку побочных продуктов промышленности (например, металлургических шлаков, зол ТЭС и шлаков в вяжущие вещества и заполнители для бетона; опилок, стружек и других отходов лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности в теплоизоляционные и конструкционные материалы — древесностружечные и древесноволокнистые плиты и т. п.).

Все это позволит добиться коренного улучшения строительства, повысить производительность труда и эффективность капитальных вложений.

Решение вышеуказанных задач неразрывно связано с подготовкой инженерных кадров для строительства. Инженеры-строители должны обладать широкими знаниями номенклатуры строительных материалов и оптимальных условий их применения на базе логической связи со свойствами и строением материалов, принципов технологии и во взаимосвязи с технико-экономическими показателями их производства и применения. Овладев комплексом этих знаний, инженер, специализирующийся в области строительства, становится активным участником в совершенствовании строительного производства. С учетом этого и составлен учебник. Автор понимает, что не все вопросы, рассмотренные в книге, изложены одинаково глубоко и полно и будет благодарен читателям за возникшие замечания и предложения.

## Литература

- Ахвердов И. Н.* Основы физики бетона. М., 1981.  
*Баженов Ю. М., Комар А. Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий. М., 1984.  
*Баженов Ю. М.* Технология бетона. М., 1987.  
*Болдырев А. С., Добужинский В. И., Рекитар Я. А.* Технический прогресс в промышленности строительных материалов. М., 1980.  
*Боженев П. И.* Технология автоклавных материалов. Л., 1978.  
*Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В.* Химическая технология вяжущих материалов. М., 1980.  
*Волженский А. В.* Минеральные вяжущие вещества. М., 1986.  
*Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н.* Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М., 1984.  
*Воробьев В. А., Андрианов Р. А.* Технология полимеров. М., 1980.  
*Горчаков Г. И.* Строительные материалы. М., 1981.  
*Горчаков Г. И., Баженов Ю. М.* Строительные материалы. М., 1986.  
*Горлов Ю. П., Меркин А. П., Устенко А. А.* Технология теплоизоляционных материалов. М., 1980.  
*Комар А. Г.* Строительные материалы. М., 1988.  
*Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты/Под ред. В. М. Москвина.* М., 1980.  
*Общий курс строительных материалов/Рыбьев И. А. Арефьева Т. И., Баскаков Н. С. и др.* М., 1987.  
*Ратинов В. Б., Иванов Ф. М.* Химия в строительстве. М., 1977.  
*Роговой М. И.* Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М., 1974.  
*Технология металлов и сварка/Под ред. П. И. Полухина.* М., 1977.  
*Шейкин А. Е.* Строительные материалы. М., 1978.  
*Яковлев А. А.* Химия и технология лакокрасочных покрытий Л., 1981.

## Предметный указатель

- Автоклав 266  
Аглопорит 228  
Азотирование 316  
Акмигран 400  
Акминит 400  
Алит 143  
Ангидрит 57  
Андезит 53  
Антипирены 365  
Антисептики 362  
Арболит 395  
Асбест 277  
Асбестоцемент 276  
Асфальт природный 408  
Асфальтобетон 418
- Базальт 53  
Белит 143  
Бетон асфальтовый 418  
— кислотоупорный 130, 240  
— крупнопористый 234  
— легкий 226  
— специальный 239  
— тяжелый 202  
— ячеистый 234  
Биотит 50  
Битум 408  
Блоки стеклянные 112  
— стеновые 64, 88  
Бризол 429
- Вата минеральная 385  
— стеклянная 388  
Вермикулит вспученный 228, 390  
Водопоглощение 23
- Водопроницаемость 25  
Водонепроницаемость 25  
Водостойкость 24  
Воздухостойкость 25  
Войлок 397  
Вяжущие гипсовые 125
- Габбро 52  
Газобетон 235  
Газосиликат 235, 270  
Гернит 458  
Гигроскопичность 22  
Гидронзол 428  
Гипс природный 57  
Глазурь 79  
Глина 58, 75  
Глинозем 120, 169  
Гнейс 62  
Гравий 57, 180  
Гранит 57  
Графит 307, 467
- Деготь каменноугольный 414  
Дендрит 304  
Диабаз 53  
Диаграмма состояний железо — углерод 305  
Диатомит 58  
Динас 98  
Днорит 52  
Дислокация 317  
Добавки активные минеральные 161  
— поверхностно-активные 191  
— пуццолановые 161  
Доломит 57

- Доломит каустический 129  
Дюралюмин 327
- Железо 302  
Железобетон 241  
Жесткость бетонной смеси 198  
Заполнители пористые 54, 227
- Известняк 59  
Известь воздушная 132  
— гашеная 133  
— гидравлическая 137  
— негашеная 132  
— негашеная молотая 134  
Изделия стеклянные 103  
Изол 428  
Инсектициды 364
- Кальций хлористый 193  
Кальцит 57  
Камень бутовый 63  
— керамический 88  
— тесаный 64  
— пиленный 64  
Камышит 395  
Каолин 75  
Каолинит 57  
Кварц 50  
Кварцит 63  
Керамзит 97  
Керамика ковровая 90, 93  
— отделочная 89  
— санитарно-техническая 96  
— эффективная 88  
Кирпич керамический 86  
— огнеупорный 98  
— силикатный 267  
Клинкер цементный 141  
Краски известковые 477  
— клеевые 478  
— масляные 474  
— полимерные 475  
— силикатные 477  
— эмульсионные 476  
Кремнезем 56

- Лабрадорит 53  
Лаки 475  
Ледебурит 307  
Ликвидуса линия 307  
Линолеум глифталевый 452  
— коллоксилиновый 453  
— резиновый (релин) 452  
— хлорвиниловый  
Литые каменные 114  
— шлаковое 114
- Магнезит 57  
— каустический 129  
Магний хлористый 129, 155  
Макроструктура древесины 341  
Мартенсит 312  
Мастики 429  
Масло антраценовое 415  
Материалы акустические 397  
— лесные 339  
— герметизирующие 431  
Мел 58  
Мергель 59  
Микроструктура древесины 344  
Минералы глинистые 57, 75  
Морозостойкость 26  
Мрамор 62  
— искусственный 129  
Муллит 83  
Мусковит 50
- Наклеп 317  
Натрий кремнефтористый 362  
Нормализация стали 313
- Огнеупорность 31  
Огнестойкость 31  
Олифа 471  
Опока 59  
Отжиг 312  
Отпуск 314  
Охра 466
- Пасты (битумные, дегтевые) 416  
Пек 415

Пемза вулканическая 54  
— шлаковая 228  
Пенобетон 237  
Пенопласт 454  
Пеносиликат 237, 270  
Пеностекло 388  
Пергамин 428  
Перлит вспученный 228, 390  
Песок 57, 185  
Песчаник 60  
Пигменты 464  
Пластик бумажно-слоистый 447  
Пластичность 34  
Пластификаторы 201  
Плиты асбестоцементные 281  
— древесноволокнистые 393  
— древесностружечные 394  
— минераловатные 387  
— торфяные 396  
Плитки керамические 81  
Плотность 19  
Подвижность бетонной смеси 196  
Покрытия металлов (защитные) 330  
Пористость 21  
Поронизол 431  
Пороки древесины 353  
Поропласты 454  
Порфир 53  
Прочность 35  
  
Разливка стали 296  
Ракушечник 60  
Растворы 258  
— гипсовые 258  
— известковые 258  
— смешанные 259  
— цементные 259  
Рубероид 425  
  
Сиенит 52  
Силумины 327  
Сиккатив 471  
Ситаллы 112  
Сланец 62

Слюда 50  
Смолы 438  
Совелит 392  
Солидус 307  
Сотопласт 455  
Стали легированные 321  
— — нержавеющие 322  
— — строительные 321  
Старение 444  
Стекло армированное 108  
— жидкое 130  
— закаленное 109  
— оконное 107  
— теплопоглощающее 107  
— ультрафиолетовое 107  
Стеклоизол 426  
Стеклорубероид 426  
Стеклопластик 446  
Сурик 467  
  
Твердость 39  
Теплоемкость 30  
Теплопроводность 28  
Термостойкость 30  
Толь 426  
Трасс 54  
Трепел 58  
Троостит 312  
Трубы асбестоцементные 283  
— железобетонные 214  
— керамические 95  
— пластмассовые 458  
— стеклянные 112  
Туф вулканический 54  
— известковый 60  
  
Удобоукладываемость 196  
  
Фанера 372  
Фарфор 97  
Фаянс 96  
Феррит 305  
Фибролит 394  
Фольгоизол 427  
  
Хрупкость 34

Цемент ангидритовый 129  
— белый 159  
— быстротвердеющий 157  
— гидрофобный 161  
— глиноземистый 168  
— известково-зольный 167  
— известково-пуццолановый 167  
— известково-шлаковый 167  
— кислотоупорный 131  
— магнезиальный 129  
— пластифицированный 160  
— портландский 138  
— — с активными добавками 161  
— — сульфатостойкий 158  
— пуццолановый 163  
— расширяющийся 171

— шлакопортландский 163  
Цементит 305  
  
Черепица 95  
Чугун 325  
  
Шамот 79  
Шлак доменный 163  
Шлакоциталл 113  
Шпат полевой 50  
Щебень 64, 187  
  
Эвтектика 305  
Эвтектоид 305  
Эмульсии битумные и дегтевые 416  
— поливинилацетатные 476  
Этtringит 156, 172

## Оглавление

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
<b>Глава 1. Основные свойства строительных материалов . . . . .</b>	<b>12</b>
1.1. Общие сведения . . . . .	12
1.2. Связь состава, структуры и свойств . . . . .	14
1.3. Стандартизация свойств. Марки материалов . . . . .	17
1.4. Физические свойства . . . . .	18
1.5. Механические свойства . . . . .	32
1.6. Химические и технологические свойства . . . . .	40
1.7. Методика преподавания свойств строительных материалов . . . . .	44
<b>Глава 2. Природные каменные материалы . . . . .</b>	<b>45</b>
2.1. Общие сведения . . . . .	45
2.2. Магматические породы . . . . .	48
2.3. Осадочные горные породы . . . . .	55
2.4. Важнейшие метаморфические породы . . . . .	61
2.5. Материалы и изделия из природного камня . . . . .	63
2.6. Методика преподавания природных каменных материалов . . . . .	72
<b>Глава 3. Керамические материалы и изделия . . . . .</b>	<b>74</b>
3.1. Общие сведения . . . . .	74
3.2. Сырье для производства керамических материалов и изделий . . . . .	75
3.3. Общая схема производства керамических изделий . . . . .	80
3.4. Стеновые материалы . . . . .	84
3.5. Облицовочные материалы и изделия . . . . .	89
3.6. Керамические материалы и изделия различного назначения . . . . .	95
3.7. Методика преподавания керамических материалов и изделий . . . . .	100
<b>Глава 4. Материалы и изделия из силикатных расплавов . . . . .</b>	<b>101</b>
4.1. Общие сведения . . . . .	101
4.2. Стекло и изделия из стекла . . . . .	103
4.3. Ситаллы и шлакоситаллы . . . . .	112
4.4. Литые каменные изделия . . . . .	114
4.5. Методика преподавания стекла и других плавящихся материалов и изделий . . . . .	115

<b>Глава 5. Неорганические вяжущие вещества . . . . .</b>	<b>116</b>
5.1. Общие сведения . . . . .	116
5.2. Сырьевые материалы и основы технологии неорганических вяжущих веществ . . . . .	119
5.3. Воздушные вяжущие вещества . . . . .	125
Гипсовые вяжущие вещества . . . . .	125
Магнезиальные вяжущие вещества . . . . .	129
Растворимое стекло и кислотоупорный цемент . . . . .	130
Известь строительная воздушная . . . . .	132
5.4. Гидравлические вяжущие вещества . . . . .	137
Гидравлическая известь и романцемент . . . . .	137
Портландцемент . . . . .	138
Разновидности портландцемента . . . . .	157
Портландцементы с активными минеральными добавками . . . . .	161
Другие вяжущие с активными минеральными добавками . . . . .	167
Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие . . . . .	168
Глиноземистый цемент . . . . .	168
Расширяющиеся и безусадочные цементы . . . . .	171
5.5. Методика преподавания неорганических вяжущих веществ . . . . .	173
<b>Глава 6. Бетоны и изделия из них . . . . .</b>	<b>176</b>
6.1. Общие сведения и классификация . . . . .	176
6.2. Заполнители . . . . .	180
6.3. Вода. Добавки к бетону . . . . .	189
6.4. Свойства бетонной смеси . . . . .	195
6.5. Тяжелый бетон . . . . .	202
Структура затвердевшего бетона . . . . .	202
Основной закон прочности . . . . .	205
Принципы определения состава бетона . . . . .	208
Производственные факторы прочности бетона . . . . .	211
Свойства бетона . . . . .	218
6.6. Легкие и ячеистые бетоны . . . . .	226
6.7. Специальные бетоны . . . . .	239
6.8. Применение бетона в сборных и монолитных конструкциях . . . . .	241
<b>Глава 7. Строительные растворы . . . . .</b>	<b>251</b>
7.1. Общие сведения . . . . .	251
7.2. Основные свойства строительных растворов . . . . .	252
7.3. Применение растворов различных видов . . . . .	256
7.4. Методика преподавания бетонов и строительных растворов . . . . .	260
<b>Глава 8. Искусственные каменные безобжиговые материалы и изделия . . . . .</b>	<b>264</b>
8.1. Силикатные материалы и изделия . . . . .	264
8.2. Гипсовые и гипсобетонные изделия . . . . .	271
8.3. Асбестоцементные материалы и изделия . . . . .	276
8.4. Методика преподавания искусственных каменных безобжиговых материалов и изделий . . . . .	285

<b>Глава 9. Металлические материалы и изделия</b>	288
9.1. Общие сведения	288
9.2. Основы технологии черных металлов	290
9.3. Строение металлов	302
9.4. Механические испытания металлов	308
9.5. Основы термической обработки стали	311
9.6. Применение металлов в строительстве	318
9.7. Коррозия металлов и способы защиты от нее	328
9.8. Сварка металлов	332
9.9. Методика преподавания металлических материалов и изделий	337
<b>Глава 10. Материалы и изделия из древесины</b>	329
10.1. Общие сведения	339
10.2. Строение и состав древесины	340
10.3. Важнейшие свойства древесины	347
10.4. Пороки древесины	353
10.5. Сушка древесины	360
10.6. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания	361
10.7. Основные породы древесины, применяемые в строительстве	365
10.8. Материалы и изделия из древесины	368
10.9. Методика преподавания материалов и изделий из древесины	377
<b>Глава 11. Теплоизоляционные и акустические материалы и изделия</b>	379
11.1. Теплоизоляционные материалы и изделия	379
11.2. Акустические материалы и изделия	397
11.3. Методика преподавания теплоизоляционных и акустических материалов и изделий	404
<b>Глава 12. Битумные и дегтевые вяжущие и материалы на их основе</b>	407
12.1. Битумные и дегтевые вяжущие	407
12.2. Материалы на основе битумов и дегтей	418
Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы	418
Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы	423
12.3. Методика преподавания вяжущих и материалов на основе битумов и дегтей	433
<b>Глава 13. Материалы и изделия из пластмасс</b>	435
13.1. Общие сведения	435
13.2. Основные компоненты пластмасс	437
13.3. Основные свойства строительных пластмасс	443
13.4. Виды строительных материалов и изделий из пластмасс	445
13.5. Методика преподавания материалов и изделий из пластмасс	461

<b>Глава 14. Лакокрасочные материалы</b>	463
14.1. Общие сведения	463
14.2. Пигменты и наполнители	464
14.3. Связующие вещества, растворители и разбавители	470
14.4. Красочные составы	474
14.5. Методика преподавания лакокрасочных материалов	478
<b>Обобщающие вопросы для самостоятельной работы над курсом и при подготовке к экзамену</b>	480
<b>Заключение</b>	485
<b>Литература</b>	487
<b>Предметный указатель</b>	488