К.Н.Попов М.Б.Каддо

Строительные материалы и изделия

Допущено Госстроем России
в качестве учебника для студентов
строительных специальностей
средних специальных учебных заведений

Москва
«Высшая школа»
2001

УДК 691
ББК 38.3
П 57

Рецензенты:

канд. техн. наук *Н.П. Умнякова* (Московский государственный строительный университет); канд. техн. наук *Г.Ф. Слипченко* (Московский строительный техникум)

Попов К.Н., Каддо М.Б.
П 57 Строительные материалы и изделия: Учеб.— М.: Высш. шк., 2001.— 367 с.: ил.

ISBN 5-06-003799-1

В книге описаны свойства современных строительных материалов как общего назначения, так и специальных (тепло- и звукоизоляционных и отделочных). Материал изложен с позиции современного строительного материаловедения. Уделено внимание экологическим проблемам производства и применения строительных материалов.

В конце основных разделов книги дано описание лабораторно-практических работ по оценке качества материалов. Приведены типовые расчетные задачи по курсу «Строительные материалы и изделия».

Для студентов строительных специальностей средних специальных учебных заведений.

УДК 691
ББК 38.3

ISBN 5-06-003799-1

©ГУП «Издательство «Высшая школа», 2001

Посвящается светлой памяти
Николая Анатольевича Попова
(1899—1964)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Материаловедение — одна из главных дисциплин для строителей всех профессий, что вполне объяснимо. Все здания и инженерные сооружения возводятся из строительных материалов, поэтому правильный их выбор, умение оценить их качество и степень сохранности и обеспечить нормальные условия эксплуатации конструкций из этих материалов — все это необходимо для строителей любой специальности.

Учебник включает в себя 6 разделов. Раздел 1 — вводный — «Основные понятия строительного материаловедения». Во втором разделе дано описание природных материалов. Разделы 3—5 посвящены материалам общего назначения (керамика, стекло, вяжущие вещества и др.). Последний 6-й раздел посвящен материалам специального назначения (кровельным, теплоизоляционным, лакокрасочным и др.). Описание всех материалов дается по схеме «состав — структура — свойства».

В отличие от традиционных учебников в предлагаемой книге в конце соответствующих глав дано описание лабораторных работ. Это позволило избежать ненужных повторов теоретической части при объяснении сути лабораторных работ, что неизбежно в случае издания отдельного лабораторного практикума.

В конце учебника приведены типовые задачи по курсу «Строительные материалы и изделия».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Строительство — одна из главных отраслей экономики страны.

Для возведения зданий и инженерных сооружений требуется большое количество различных строительных материалов. Их стоимость в среднем составляет 60 % (а в ряде случаев и более) от общей стоимости строительства.

Перед промышленностью строительных материалов стоят серьезные задачи, заключающиеся не только и не столько в увеличении выпуска материалов и изделий, но прежде всего в повышении их качества и расширении выпуска новых эффективных материалов и изделий, позволяющих снизить материалоемкость строительства и трудоемкость возведения зданий и сооружений.

Промышленность строительных материалов представляет собой сложный комплекс специализированных отраслей производства, изготовляющих большое количество разнообразной продукции. По объему производимой продукции промышленность строительных материалов занимает одно из первых мест в экономике, однако уровень ее технической оснащенности отстает от многих других отраслей.

Последние годы ассортимент строительных материалов претерпел существенное изменение как за счет импортных материалов, так и за счет освоения производства новых материалов отечественными предприятиями. Общая тенденция в производстве строительных материалов — выпуск материалов и изделий с максимальной степенью готовности для использования. Это касается не только традиционных сборных железобетонных элементов (панелей, плит перекрытий и т. п.), но и отделочных, кровельных и других специальных материалов. Использование таких материалов позволяет свести работы на месте строительства к простейшим монтажным операциям, что, вкупе с разнообразным электроинструментом и вспомогательными материалами (крепежными, клеющими и т. п.), резко ускорит строительство.

Одновременно с индустриальным городским строительством получает развитие малоэтажное, в том числе индивидуальное, поселковое и сельское строительство. Для его обеспечения требуется увеличение выпуска традиционных материалов: кирпича, лесоматериалов, асбестоцементных изделий, а также широкое использование местных строительных материалов.

Промышленность строительных материалов использует в качестве сырья попутные продукты и отходы других отраслей промышленности (металлургические шлаки, золы ТЭС, отходы деревообработки), внося

свою лепту в решение экологических проблем, относящихся к главнейшим проблемам, вставшим перед человечеством к концу XX в. К сожалению, используется пока лишь небольшой процент попутных продуктов и промышленных отходов, и это остается одним из актуальных направлений развития промышленности строительных материалов.

Другая проблема, стоящая перед строителями,— снижение энергозатрат на отопление зданий. Она может быть решена только за счет эффективной теплоизоляции зданий и тепловых сетей, так как удовлетворение новых нормативов СНиП по термическому сопротивлению ограждающих конструкций не реально при применении традиционных материалов.

Тем не менее основной материальной базой строительства остаются традиционные материалы: керамика, вяжущие вещества, бетоны и др. Их рациональное применение остается главной задачей строителей.

Для того чтобы правильно использовать строительные материалы, надо знать их свойства и назначение. Изучением свойств материалов занимается материаловедение. В развитие строительного материаловедения большой вклад внесли российские ученые и инженеры. Еще в начале XIX в. по инициативе проф. Н.А. Белелюбского были приняты используемые и поныне стандартные методы оценки свойств строительных материалов (определение марки цементов, морозостойкости и др.). Позднее была разработана теория твердения вяжущих веществ (А.А. Байков, В.Н. Юнг), созданы новые виды вяжущих (П.П. Будников, В.В. Михайлов), разработаны и внедрены в практику новые виды бетонов и растворов (А.В. Волженский, Н.А. Попов, Б.Г. Скрамтаев).

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Жилые, общественные и производственные здания представляют собой сооружения, предназначенные для размещения людей и различного оборудования и защиты их от воздействия окружающей среды. Все здания состоят из одинаковых по назначению частей:

- *фундамента,* служащего основанием здания и передающего нагрузку от всего здания на землю;
- *каркаса* — несущей конструкции, на которой устанавливаются ограждающие элементы здания; каркас воспринимает и перераспределяет нагрузки и передает их на фундамент;
- *ограждающих конструкций,* изолирующих внутренний объем здания от воздействия внешней среды или разделяющих отдельные части внутреннего объема между собой; к ограждающим конструкциям относятся стены, перекрытия и кровли, причем в малоэтажных зданиях стены и перекрытия часто выполняют функцию каркаса.

С глубокой древности жилые и культовые сооружения возводили из природных материалов — камня и дерева, причем из них выполняли все части здания: фундамент, стены, кровлю. Такая вынужденная универсальность материала (других материалов не было) имела существенные недостатки. Строительство каменных зданий было трудоемко; каменные стены для поддержания в здании нормального теплового режима приходилось делать очень толстыми (до 1 м и более) по причине того, что природный камень — хороший проводник теплоты. Для устройства перекрытий и кровель ставили много колонн или делали тяжелые каменные своды, так как прочность при сжатии и изгибе камня недостаточна для перекрытия больших пролетов. У каменных зданий, правда, было одно положительное качество — долговечность. Менее трудоемкие и материалоемкие, но не долговечные деревянные здания часто разрушались при пожарах.

С развитием промышленности появились новые, разные по назначению строительные материалы: для кровли — листовое железо, позже — рулонные материалы и асбестоцемент; для несущих конструкций —

стальной прокат и высокопрочный бетон; для тепловой изоляции — фибролит, минеральная вата и др.

На основе синтетических полимеров стали изготавливать высокоэффективные пластмассы, в том числе и строительного назначения: линолеум, декоративные листы и пленки, герметики, пенопласты и др.

Специализация и промышленное изготовление строительных материалов и изделий коренным образом изменили характер строительства. Материалы, а затем и изделия из них на стройку поступают практически в готовом виде, строительные конструкции стали легче и эффективнее (например, лучше предохраняют от потерь теплоты, от воздействия влаги). В начале XX в. началось заводское изготовление строительных конструкций (металлических ферм, железобетонных колонн), но только с 50-х годов впервые в мире в нашей стране началось массовое строительство жилых зданий из железобетонных элементов заводского изготовления (блочное и крупнопанельное строительство).

Современная промышленность строительных материалов и изделий производит большое количество готовых строительных материалов и изделий различного назначения, например: керамические плитки для полов, для внутренней облицовки, фасадные, ковровую мозаику; рулонные и штучные материалы для устройства кровли, специальные материалы для гидроизоляции. Чтобы легче было ориентироваться в этом многообразии строительных материалов и изделий, их принято классифицировать. Наибольшее распространение получили классификации по назначению и технологическому признаку.

По назначению материалы делят на следующие группы:

• *конструкционные,* которые воспринимают и передают нагрузки в строительных конструкциях;

• *теплоизоляционные,* основное назначение которых — свести до минимума перенос теплоты через строительную конструкцию и тем самым обеспечить необходимый тепловой режим помещения при минимальных затратах энергии;

• *акустические* (звукопоглощающие и звукоизоляционные) — для снижения уровня «шумового загрязнения» помещения;

• *гидроизоляционные и кровельные* — для создания водонепроницаемых слоев на кровлях, подземных сооружениях и других конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды или водяных паров;

• *герметизирующие* — для заделки стыков в сборных конструкциях;

отделочные — для улучшения декоративных качеств строительных конструкций, а также для защиты конструкционных, теплоизоляционных и других материалов от внешних воздействий;

• *специального назначения* (огнеупорные или кислотоупорные и др.), применяемые при возведении специальных сооружений.

Некоторые материалы (например, цемент, известь, древесина) нельзя отнести к какой-либо одной группе, так как их используют и в исходном состоянии, и как сырье для получения других строительных

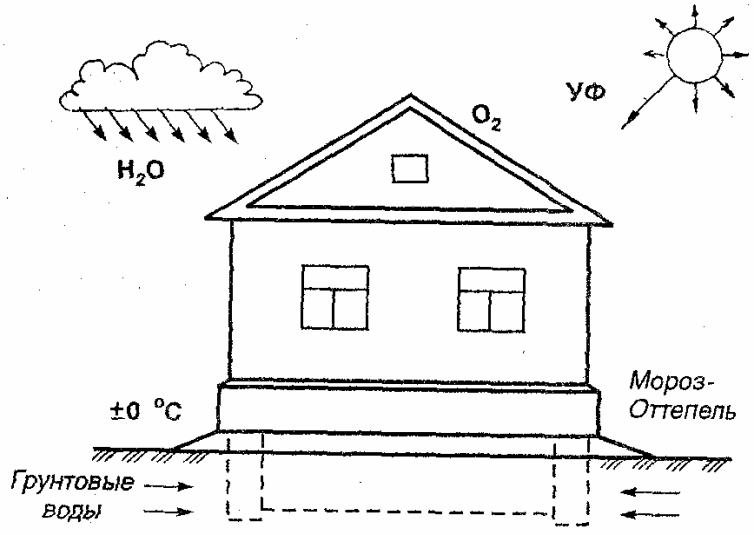
материалов и изделий — это так называемые *материалы общего назначения*. Трудность классификации строительных материалов по назначению состоит в том, что одни и те же материалы могут быть отнесены к разным группам. Например, бетон в основном применяют как конструкционный материал, но некоторые его виды имеют совсем иное назначение: особо легкие бетоны — теплоизоляционные материалы; особо тяжелые бетоны — материалы специального назначения, используемые для защиты от радиоактивного излучения.

В основу классификации по технологическому признаку положены *вид сырья*, из которого получают материал, и *способ изготовления*. Эти два фактора во многом определяют свойства материала и соответственно область его применения. По способу изготовления различают материалы, получаемые спеканием (керамика, цемент) плавлением (стекло, металлы), омоноличиванием с помощью вяжущих веществ (бетоны, растворы), механической обработкой природного сырья (природный камень, древесные материалы).

Так как свойства материалов зависят главным образом от вида сырья и способа его переработки, в строительном материаловедении используют классификацию по технологическому признаку и лишь в отдельных случаях рассматриваются группы материалов по назначению.

1.2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ

Чтобы здание или сооружение было *прочным* и *долговечным*, необходимо знать те агрессивные воздействия внешней среды, в которых будет работать каждая конструкция (рис. 1.1). Зная эти воздействия и назначение конструкции, можно сформулировать требования к материалу конструкции (табл. 1.1).



Р и с . 1.1. Воздействие внешней среды на конструкции здания

Таблица 1.1. **Основные требования к материалам строительных конструкций**

Конструкции	Эксплуатационные факторы	Требования к материалу конструкции
Наружные:		
кровля	Атмосферные влияния (дождь, снег, ветер, солнце), смена температур и влажности, находящиеся в атмосфере газы, биологическое воздействие (живые организмы), статические и динамические нагрузки (снег, ветер)	Прочность, плотность, водонепроницаемость, морозо- и биохимическая стойкость, небольшая собственная масса
стены	Те же атмосферные влияния, но в меньшей степени; разные температура и влажность с наружной и внутренней стороны стены; большие статические и динамические нагрузки	То же, а также высокие теплоизолирующие свойства и достаточная паропроницаемость
цоколь	То же, а также замораживание и оттаивание в насыщенном водой состоянии	Прочность, водо- и морозостойкость
фундамент	То же, а также действие грунтовых вод (растворы солей и слабых кислот); нагрузка от вышележащих частей здания	Прочность, водостойкость, коррозионная стойкость, водонепроницаемость
Внутренние:		
каркас и несущие стены	Статические и динамические нагрузки, звуки и шумы (ударные и воздушные)	Прочность при минимальной массе, низкая звукопроводность
перегородки	Звуки и шумы (ударные и воздушные)	Звукоизоляционная способность при минимальной толщине, прочность
перекрытия:		
чердачные	Нагрузки, смена температур и влажности	Прочность, теплоизолирующая способность, водостойкость
междуэтажные	Статические и динамические нагрузки, шумы и звуки (ударные и воздушные)	Прочность, звуко- и теплоизолирующая способность при минимальной массе
полы	Удары, истирание, статические и динамические нагрузки; в специальных сооружениях — воздействие воды и агрессивных жидкостей	Низкое теплоусвоение, износостойкость, прочность, гигиеничность; в специальных сооружениях — коррозионная стойкость

Материалы для той или иной конструкции выбирают таким образом, чтобы их свойства отвечали предъявляемым к ним требованиям.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы применяли для строительства в древности? 2. На какие группы делят строительные материалы по назначению? 3. Расскажите о классификации строительных материалов по технологическому признаку. 4. Какие требования предъявляют к материалам строительных конструкций?

ГЛАВА 2. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Каждый материал, применяемый в строительстве, имеет различные свойства, определяющие область его рационального применения и возможность сочетания с другими материалами. Основные свойства строительных материалов (физические, механические, химические и технологические) определяются их химическим составом и строением.

В зависимости от химического состава строительные материалы принято делить на:

- *органические* (древесина, битум, пластмассы);
- *минеральные* (природный камень, бетон, керамика и т. п.);
- *металлические* (сталь, чугун, цветные металлы).

У каждой из этих групп материалов есть свои специфические свойства. Так, органические материалы не выдерживают высоких температур и горят; минеральные, напротив, хорошо противостоят действию огня, а металлы очень хорошо проводят электричество и теплоту.

Не меньше, чем химический состав, на свойства материала влияет его строение. При одном и том же химическом составе материалы различного строения обладают разными свойствами. Например, мел и мрамор — две горные породы, состоящие из карбоната кальция $CaCO_3$, но пористый рыхлый мел имеет низкую прочность и легко размокает в воде, а плотный мрамор прочен и стоек к действию воды.

2.2. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Химический состав. В зависимости от химического состава принято выделять органические и неорганические вещества.

Органические вещества представляют собой соединения углерода с другими элементами (преимущественно водородом, кислородом и азотом). Среди строительных материалов из органических веществ чаще всего применяется древесина и битум. В XX в. появились и быстро завоевали прочные позиции полимерные материалы, синтезируемые из продуктов переработки нефти, угля и т. п. С точки зрения строителя органические вещества имеют серьезные недостатки.

При нагреве или под действием ультрафиолетовых лучей они способны *окисляться* кислородом воздуха, а при температурах выше 200...300° С *большинство органических соединений горит* (горение — это тот же процесс окисления, но протекающий очень быстро и сопровождающийся концентрированным выделением теплоты, провоцирующим продолжение горения).

Большинство органических веществ (за исключением некоторых синтетических полимеров) могут служить питательной средой для живых организмов. При развитии на органических материалах грибов или микроорганизмов происходит *гниение* этих материалов.

Таким образом, можно заключить, что стойкость и долговечность органических материалов невелика. Однако многие положительные свойства органических материалов (невысокая плотность, относительно высокая прочность, легкость обработки и др.) привлекали и привлекают до сих пор к ним внимание строителей.

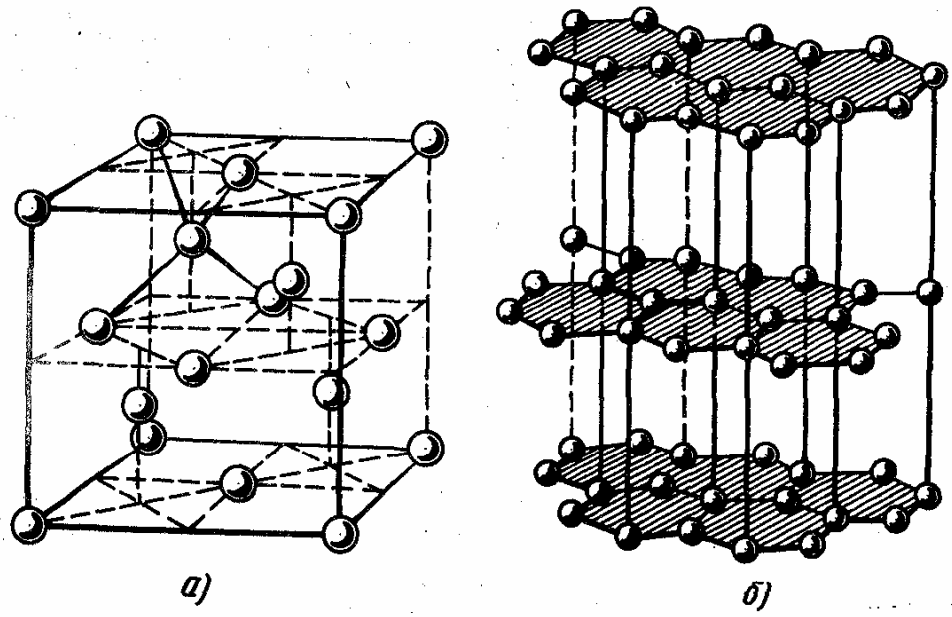
Неорганические вещества, применяемые в строительстве (керамика, природный камень и др.), представляют собой соединения уже окисленных химических элементов — в основном оксидов кремния и алюминия с оксидами металлов. Например, песок — оксид кремния SiO_2; глина — водный алюмосиликат — $Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$; стекло — вещество, состоящее из оксида кремния, оксида натрия, оксида кальция и некоторых других оксидов. Будучи уже в окисленном состоянии, они не способны окисляться и тем более гореть. Такие материалы практически не разрушаются живыми организмами (не гниют). Однако их переработка в изделия, как правило, более трудоемка и энергоемка, чем переработка органических материалов.

Кристаллические и аморфные тела. Все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул. В зависимости от степени упорядоченности расположения атомов (или молекул) различают кристаллические и аморфные (стеклообразные) твердые тела.

Кристаллическими называют тела, в которых атомы (или молекулы) расположены в правильном геометрическом порядке, причем этот общий порядок соблюдается как для атомов, расположенных в непосредственной близости друг от друга, так и на значительном расстоянии (дальний порядок).

Аморфными называют тела, в которых только ближайшие друг к другу атомы находятся в упорядоченном расположении; дальний же порядок отсутствует.

Процесс кристаллизации можно представить следующим образом. При переходе вещества из жидкого состояния в твердое (например, при застывании расплава металла) или при выпадании твердого вещества в осадок из насыщенного раствора (например, при твердении гипса) атомы и молекулы вещества стремятся занять такое положение относительно друг друга, чтобы силы их взаимодействия оказались



Р и с . 2.1. Схема кристаллической решетки:
а — алмаза; *б* — графита

максимально уравновешены. Поэтому их положение относительно друг друга оказывается вполне определенным, фиксированным.

Такой геометрически правильный и повторяющийся в пространстве порядок расположения атомов (молекул) называют *кристаллической решеткой* (рис. 2.1).

Процесс кристаллизации требует определенного времени. В некоторых случаях (например, при быстром охлаждении расплавленного кварца) затвердевание происходит без кристаллизации с сохранением хаотического расположения атомов. Так образуется аморфное вещество — в нашем случае кварцевое стекло.

Различие в строении кристаллических и аморфных веществ определяет и различие в их свойствах. Так, аморфные вещества, обладая нерастраченной внутренней энергией кристаллизации, химически более активны, чем кристаллические такого же состава. Например, расплав доменного шлака, используемый для получения шлаковых цементов, охлаждают по специальному ускоренному режиму для получения гранулированного шлака стеклообразного строения, обладающего повышенной химической активностью. Аморфное строение имеют также горные породы, применяемые в качестве активных минеральных добавок к цементам (туфы, пемзы, диатомиты, трепелы).

Другое существенное различие между аморфными и кристаллическими веществами состоит в том, что кристаллические вещества при нагревании до определенной температуры (температуры плавления) плавятся, а аморфные размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние (у них отсутствует температура плавления).

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

Различные свойства наблюдаются у кристаллических материалов одного и того же состава, если они кристаллизуются в разных кристаллических формах. Это явление называют *полиморфизмом*. Например, существуют две кристаллические формы углерода: алмаз и графит. Резкое отличие в их свойствах связано с различным строением кристаллов: атомы алмаза имеют плотнейшую тетраэдрическую решетку (рис. 2.1, *а*), а атомы графита расположены как бы слоями, причем расстояние между слоями больше, чем между соседними атомами в слоях (рис. 2.1, *б*). Такое строение графита придает ему мягкость и способность расслаиваться на тончайшие пластинки.

Изменением свойств материала путем изменения его кристаллической структуры пользуются при термической обработке металлов (закалке или отпуске).

Микро- и макроструктура материалов. Под *структурой материала* подразумевают взаимное расположение, форму и размер частиц материала, наличие пор, их размер и характер. Структура материала не в меньшей степени, чем состав, влияет на его свойства.

Различают микроструктуру — строение материала, видимое только под микроскопом, и макроструктуру — строение, видимое невооруженным глазом или при небольшом увеличении.

Поры — один из важнейших элементов структуры большинства строительных материалов — представляют собой воздушные ячейки в материале размером от долей микрона до сантиметра. Количество, размер и характер пор (замкнутые или сообщающиеся) во многом определяют свойства материала. Например, пористое стекло (пеностекло) в отличие от обычного непрозрачное, легкое и может распиливаться обычной пилой.

Крупные поры размером более 1 см и полости между частицами зернистых материалов (песка, гравия и др.) называют пустотами.

Форма и размер частиц твердого вещества, из которого состоит материал, также влияют на свойства материала. Так, если обычное стекло расплавить и из расплава вытянуть тонкие волокна, то получится легкая и мягкая стеклянная вата.

В зависимости от формы и размера частиц и их строения различают *зернистые, волокнистые* и *слоистые* материалы.

По степени связности частиц материалы могут быть *рыхлые,* состоящие из отдельных зерен или волокон (песок, гравий, минеральная вата, распушенный асбест), и *слитного строения,* примером которых

может служить бетон, керамика, асбестоцемент. Среди материалов слитного строения выделяют конгломераты и композиты.

Конгломераты — материалы, представляющие собой плотно соединенные (обычно с помощью какого-нибудь цементирующего вещества) отдельные зерна. Типичным конгломератом является бетон и строительный раствор. В этих материалах зерна песка и крупного заполнителя прочно соединены в единое целое при помощи вяжущего, например, цемента.

Композиты — материалы с организованной структурой. В композитах различают компонент, образующий непрерывную фазу, называемую *матрицей* и играющую роль связующего, и второй компонент, дискретно распределенный в матрице,— *упрочняющий компонент.* В роли матрицы в строительных композитах используют полимерные и минеральные вяжущие; в роли упрочняющего компонента — волокнистые (стекловолокно, отрезки металлической проволоки, асбестовое волокно и т. п.) или листовые (бумага, древесный шпон, ткани) материалы.

Матрица, с одной стороны, является формообразующей частью композиционного материала, а с другой стороны, матрица — связующее, которое «заставляет» дискретный компонент работать как единое целое, обеспечивая высокую прочность материала. В композиционных материалах достигается совокупность свойств, не являющаяся простой суммой свойств исходных составляющих. Примером искусственных композитов может служить стеклопластик, железобетон, асбестоцемент. Природным композиционным материалом можно считать, например, древесину и костную ткань животных.

Волокнистые и слоистые материалы, у которых волокна (слои) расположены параллельно одно другому, обладают различными свойствами в разных направлениях. Это явление называется *анизотропией,* а материалы, обладающие такими свойствами,— анизотропными. Пример анизотропного материала волокнистого строения — древесина. Древесина набухает и дает усадку поперек волокон в 10...15 раз больше, чем вдоль, а прочность и теплопроводность древесины в разных направлениях различна.

2.3. СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА

Основные структурные характеристики материала, во многом определяющие его технические свойства,— это плотность и пористость.

Плотность — физическая величина, определяемая массой вещества (или материала) в единице объема.

В зависимости от того, берется ли в расчет объем только самого вещества, из которого состоит материал, или весь объем материала с порами и пустотами, различают истинную и среднюю плотность.

Истинная плотность ρ (кг/м^3) — масса единицы объема материала, когда в расчет берется только объем твердого вещества V (м^3):

$$\rho = m/V_a.$$

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

Значения истинной плотности вещества зависят в основном от его химического состава, и у материалов с близким химическим составом они различаются незначительно.

У каменных материалов как природных (песок, гранит, известняк), так и искусственных (кирпич, бетон, стекло), состоящих в основном из оксидов кремния, алюминия и кальция, истинная плотность колеблется в пределах 2500...3000 кг/м^3.

Истинная плотность органических материалов, состоящих в основном из углерода, водорода и кислорода (битум, полимеры, масла), составляет 800...1200 кг/м^3. Относительно высокая истинная плотность у древесины — около 1500 кг/м^3.

Большие различия в истинной плотности наблюдаются лишь у металлов (кг/м^3): алюминий — 2700, сталь — 7850, свинец — 11 300. Плотность воды — 1000 кг/м^3.

Средняя плотность материала ρ_m (кг/м^3) (далее мы будем называть ее просто плотностью) — физическая величина, определяемая отношением массы m (кг) материала ко всему занимаемому им объему $V_{ест}$ (м^3), включая имеющиеся в нем поры и пустоты:

$$\rho_m = m/V_{ест}.$$

Следовательно, плотность материала меняется в зависимости от его структуры. Поэтому искусственные материалы (бетоны, керамику и т. п.) можно получать с заданной (требуемой) плотностью. Например, меняя пористость бетона, можно получить как тяжелый бетон плотностью до 2500 кг/м^3, так и особо легкий — плотностью менее 500 кг/м^3.

Пористость — степень заполнения объема материала порами, %

$$П = [(V_{ест} - V_a)/V_{ест}]\ 100.$$

Обычно пористость рассчитывают исходя из средней и истинной плотности материала:

$$П = [\rho - \rho_m/\rho]100 = (1 - \rho_m/\rho)\ 100.$$

Пористость строительных материалов колеблется в пределах от 0 до 90...98 % (табл. 2.1).

Таблица 2.1. **Истинная и средняя плотность и пористость некоторых строительных материалов**

Материал	Плотность, кг/м^3		Пористость, %
	истинная	средняя	
Гранит	2700...2800	2600...2700	0,5...1
Тяжелый бетон	2600...2700	2200...2500	8...12
Кирпич	2500...2600	1400...1800	25...45
Древесина	1500...1550	400...800	45...70
Пенопласты	950...1200	20...100	90...98

Пористость материала характеризуют не только с количественной стороны, но и по характеру пор: замкнутые и открытые, мелкие (размером в сотые и тысячные доли миллиметра) и крупные (от десятых долей миллиметра до 2...5 мм). Характер пор важен, например, при оценке способности материала поглощать воду. Так, полистирольный пенопласт, пористость которого достигает 98 %, имеет замкнутые поры и практически не поглощает воду. В то же время керамический кирпич, имеющий пористость в три раза меньшую (около 30 %), благодаря открытому характеру пор (большинство пор представляет собой сообщающиеся капилляры) активно поглощает воду.

Пористость является основной структурной характеристикой, определяющей такие свойства материала, как водопоглощение, теплопроводность, акустические свойства, морозостойкость, прочность и др.

2.4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Физические свойства материала характеризуют его поведение под воздействием физических факторов, моделирующих воздействие внешней среды и условия работы материала (действие воды, высоких и низких температур и т. п.).

Гидрофизические свойства. Строительные материалы в процессе их эксплуатации и хранения могут поглощать влагу. При этом их свойства существенно изменяются. Так, при увлажнении материала повышается его теплопроводность, изменяются средняя плотность, прочность и другие свойства.

Влажность — содержание влаги в материале в данный момент, отнесенное к единице массы материала в сухом состоянии. Влажность W_m (%) определяют по формуле

$$W_m = [(m_1 - m_2)/m_2]100,$$

где m_1 — масса материала в естественно влажном состоянии, г; m_2 — масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Водопоглощение — способность материала поглощать влагу и удерживать ее в своих порах. Водопоглощение характеризуется максимальным количеством воды, поглощаемым образом материала при выдерживании его в воде, отнесенным к массе сухого образца (водопоглощение по массе $W^{п}_{m}$) или к его объему (объемное водопоглощение $W^{п}_{о}$).

Водопоглощение $W^{п}_{m}$ и $W^{п}_{о}$ (%) определяют по формулам:

$$W^{п}_{m} = [(m_1 - m_2)/m_1]100;$$

$$W^{п}_{о} = \frac{V_{H_2O}}{V_{ест}} = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_{H_2O}} \frac{\rho_m}{m_2} = W^{п}_{m} \frac{\rho_m}{\rho_{H_2O}},$$

где m_1 — масса материала в насыщенном водой состоянии, г; m_2 — масса сухого материала, г; $V_{ест}$ — объем материала в сухом состоянии, $см^3$; ρ_{H_2O} — плотность воды, равная 1 $г/см^3$.

Гигроскопичность — способность материалов поглощать водяные пары из воздуха. Гигроскопичность зависит от химического состава материала и характера его пористости. К гигроскопичным материалам относятся древесина и гипс. Характерные для древесины усушка и набухание, сопровождающиеся короблением и возникающие даже без непосредственного контакта с водой, являются следствием ее гигроскопичности. Снизить гигроскопичность можно, покрывая поверхность материала гидрофобными (водоотталкивающими) веществами. Например, древесину покрывают водостойкими лаками и красками.

При увлажнении материала изменяются его свойства — возрастает плотность, теплопроводность и обычно снижается прочность. Поэтому при всех расчетах необходимо учитывать как влажность материала, так и его способность к поглощению влаги (водопоглощение и гигроскопичность). Во всех случаях при применении и хранении пористые строительные материалы предохраняют от увлажнения.

Влагоотдача — способность материала терять находящуюся в его порах воду. Влагоотдачу определяют количеством воды, испаряющейся из образца материала в течение суток при температуре воздуха 20° С и относительной влажности 60 %. Влагоотдачу учитывают, например, при сушке стен зданий и уходе за твердеющим бетоном. В первом случае желательна быстрая влагоотдача, а во втором, наоборот, замедленная.

Морозостойкость — способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения.

Вода, находящаяся в порах материала, при замерзании увеличивается в объеме почти на 10 %. В результате стенки некоторых пор разрушаются и при повторном увлажнении вода проникает глубже в материал. Такие циклически повторяющиеся замораживания и оттаивания с увлажнением постепенно разрушают материал.

Омского государственного

Морозостойкость материала зависит от его пористости и водопоглощения.

Плотные материалы (без пор), а также материалы с замкнутыми порами, т. е. с небольшим водопоглощением, обладают высокой морозостойкостью. Материалы с открытой пористостью обладают, как правило, невысокой морозостойкостью, и требуются обязательные лабораторные испытания для ее оценки.

Морозостойкость материала характеризуется числом циклов замораживания (при температуре не выше — 18° С) и оттаивания (в воде), которое он выдерживает без снижения прочности и потери массы или появления внешних повреждений, указанных в ГОСТе на соответствующий материал. Так, для бетона допускается потеря прочности не более 5 %, а для растворов не более 25 % от первоначальных значений этих величин.

По морозостойкости материалы подразделяют на марки: 15; 25; 35; 50; 100 и т. д. Например, марка по морозостойкости кирпича F15 означает, что образцы, отобранные от партии кирпича, выдерживают не менее 15 циклов «замораживания — оттаивания» без появления внешних повреждений (отколов, шелушения поверхности и т. п.).

Теплофизические свойства. *Теплопроводность* — способность материала передавать теплоту сквозь свою толщу от одной своей поверхности к другой в случае, если температура этих поверхностей разная. Теплопроводность материала характеризуется количеством теплоты (в джоулях), которое способен передать материал через 1 м^2 поверхности при толщине 1 м и разности температур на поверхностях 1 К в течение 1 с.

Теплопроводность твердого вещества зависит от его химического состава и молекулярного строения, но во всех случаях она во много раз превышает теплопроводность воздуха — 0,023 Вт/(м · К). Поэтому, чем больше в материале пор (т. е. чем больше в нем воздуха), тем ниже будет его теплопроводность:

Материал	*Средняя плотность, кг/м^3*	*Пористость, %*	λ, Вт/(м · К)
Гранит	2600...2800	1...0,5	около 3
Бетон тяжелый	2200...2400	12...8	1,1...1,3
Кирпич обыкновенный	1600...1800	33...28	0,7...0,8
Пенополистирол	10...50	98...95	0,035...0,03

Так как средняя плотность материала так же, как и теплопроводность, обратно пропорциональна пористости, то она может служить характеристикой теплопроводности материала и использоваться в качестве основной характеристики (марки) теплопроводности материала.

Если материал влажный, т. е. воздух в порах частично замещен водой, то теплопроводность материала резко возрастает. Причина этого в том, что теплопроводность воды в 25 раз выше, чем воздуха.

При замерзании воды в порах материала его теплопроводность повышается еще в большей степени, так как теплопроводность льда в 4 раза выше теплопроводности воды.

Теплоемкость — способность материала поглощать при нагревании теплоту. Показателем теплоемкости служит *удельная теплоемкость*, равная количеству теплоты, необходимой для нагревания единицы массы материала на 1 К. Удельная теплоемкость большинства природных и искусственных каменных материалов находится в пределах $(0{,}7...1) \cdot 10^3$ Дж/(кг · К). Поэтому количество теплоты, нужное для нагрева той или иной строительной конструкции до одной и той же температуры, зависит в основном не от вида материала, а от массы конструкции.

Тепловое расширение — свойство материала расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении — характеризуется температурными коэффициентами объемного и линейного расширения. В строительстве чаще используют коэффициент линейного температурного расширения, показывающий, на какую долю первоначальной длины увеличится размер материала в рассматриваемом направлении при повышении температуры на 1° С.

Коэффициенты линейного температурного расширения (КЛТР) у разных материалов значительно отличаются. Например, КЛТР пластмасс в 5...10 раз выше, чем бетона. Поэтому в конструкциях, объединяющих несколько материалов, необходимо учитывать тепловое расширение каждого. При жестком соединении материалов с разными КЛТР в конструкциях могут возникнуть большие напряжения и как результат — коробление и растрескивание материала.

Эффект теплового расширения материалов можно наблюдать, например, в изменении размеров шва между железобетонными панелями. Так, при изменении температуры от — 20 до + 30° С размер железобетонной панели длиной 6 м увеличивается на 3 мм, при этом на столько же уменьшается ширина шва между панелями.

Огнестойкость — способность материала выдерживать без разрушения воздействие огня и воды в условиях пожара. Разрушение материала в таких условиях может произойти из-за того, что он сгорит, растрескается, полностью потеряет прочность. По степени огнестойкости различают несгораемые, трудносгораемые и сгораемые материалы.

Несгораемые материалы под действием огня или высокой температуры не горят и не обугливаются. К таким материалам относятся бетон, кирпич и др. Однако некоторые несгораемые материалы (стекло, асбестоцемент, мрамор) при резком нагревании разрушаются, а остальные конструкции при сильном нагревании теряют прочность и деформируются.

Трудносгораемые материалы под действием огня медленно воспламеняются и после удаления огня их горение и тление прекращаются. К этим материалам относятся фибролит, пропитанная антипиренами древесина, асфальтобетон.

Сгораемые материалы под действием огня или высокой температуры горят и продолжают гореть после удаления источника огня.

Для повышения огнестойкости горючих материалов используют *антипирены* — вещества, которыми пропитывают или покрывают материал. Антипирены выделяют газы, не поддерживающие горения, или под действием высокой температуры образуют пористый защитный слой на материале, чем замедляют его нагрев.

Огнеупорность — способность материала длительно работать в условиях высоких температур без деформаций и размягчения.

Примером огнеупорных материалов может служить огнеупорный кирпич, используемый для кладки внутренних объемов доменных и сталеплавильных печей, топок ТЭС и т. п. Деление материалов по степени огнеупорности дано в § 5.2.

Акустические свойства материалов — это свойства, связанные с взаимодействием материала и звука. Звук, или звуковые волны,— это механические колебания, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах.

Строителя интересуют две стороны взаимодействия звука и материала: в какой степени материал проводит сквозь свою толщу звук — звукопроводность–и в какой мере материал поглощает и отражает падающий на него звук — звукопоглощение.

Звукопроводность зависит от массы материала и его строения. Материал тем меньше проводит звук, чем больше его масса; если масса материала велика, то энергии звуковых волн не хватает, чтобы пройти сквозь него, так как для этого надо заставить материал колебаться. Плохо проводят звук пористые и волокнистые материалы, так как звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала, переходя при этом в тепловую энергию.

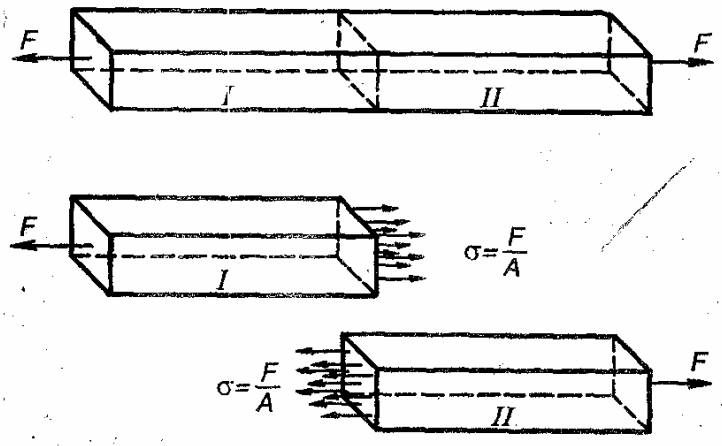
Звукопоглощение зависит от характера поверхности материала. Материалы с гладкой поверхностью отражают большую часть падающего на них звука (эффект зеркала), поэтому в помещении с гладкими стенами звук, многократно отражаясь от них, создает постоянный шум. Если же поверхность материала имеет открытую пористость, то звуковые колебания, входя в поры, поглощаются материалом, а не отражаются. Так, мягкая мебель, ковры заглушают звук.

2.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться действию внешних сил или иных факторов (например, температурных), вызывающих в нем внутренние напряжения сжатия, растяжения или сдвига. Основные механические свойства строительных

материалов: прочность, твердость, износостойкость, деформативность (упругость, пластичность).

Прочность — свойство материала в определенных условиях и пределах воспринимать нагрузки или другие воздействия, вызывающие в нем внутренние напряжения, без разрушения.



Р и с . 2.2. Схема определения напряжений σ в брусе при его растяжении

Частицы, из которых состоит твердый материал, удерживаются в равновесии силами взаимного сцепления. Если к какому-либо образцу материала приложить внешнюю силу F, например растягивающую (рис. 2.2), то ее действие равномерно распределится на все частицы материала: материал окажется в *напряженном состоянии*. Напряжение вызовет изменение расстояний между частицами — материал начнет деформироваться (в нашем случае — растягиваться).

Для определения значения напряжений σ (МПа), т. е. внутренних сил, приходящихся на единицу площади поперечного сечения материала, возникающих в материале при приложении к нему внешней силы P (кН), мысленно делают поперечный разрез образца (a — a). Чтобы образовавшиеся половинки образца (I и II) остались в равновесии, внешней силе F должна противодействовать равная ей внутренняя сила σA, где A (м^2) — площадь поперечного сечения образца материала, откуда

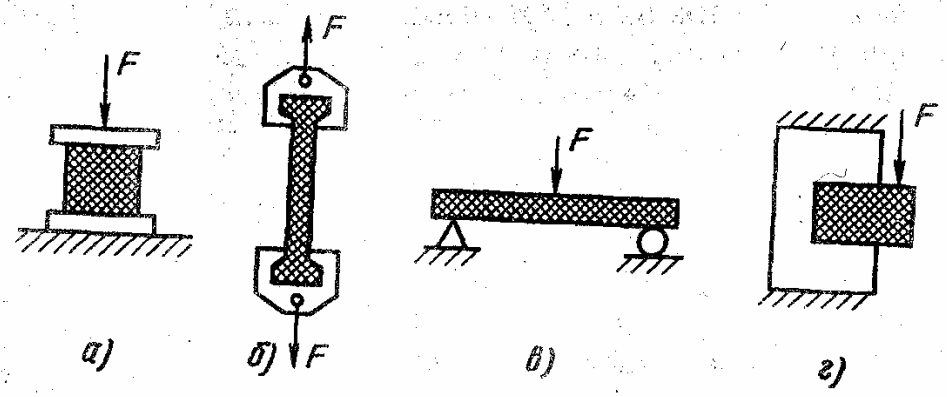
$$\sigma = F/A.$$

Для твердых и упругих тел с увеличением напряжений σ пропорционально возрастают его относительные деформации ε

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E — модуль упругости, МПа, характеризующий жесткость материала.

Чем выше модуль упругости, тем меньше материал деформируется. Так, модуль упругости каучука 10...20 МПа, а стали — 200 000 МПа, это значит, что под действием одной и той же силы деформация стали будет в 10 000 раз меньше, чем каучука при прочих равных условиях.



Р и с . 2.3. Схема нагружения образца при определении пределов прочности материала на сжатие (*а*), растяжение (*б*), изгиб (*в*) и срез (*г*)

При увеличении действующей силы напряжения в материале возрастают и могут превысить силу сцепления частиц — материал разрушится.

На практике разрушение материала начинается значительно раньше того момента, когда напряжения в нем достигнут теоретического предельного значения. Это объясняется тем, что в реальных материалах много дефектов самого различного уровня (начиная от молекулярного и кончая макродефектами, например трещинами).

Прочность материала характеризуется значением предела прочности R — напряжением в испытуемом образце материала в момент его разрушения.

В зависимости от характера приложения нагрузки F и вида возникающих напряжений различают прочность при сжатии, растяжении, изгибе, скалывании (срезе) (рис. 2.3).

Предел прочности материала определяют на образцах, форму и размеры которых устанавливают стандарты на этот материал. Так, для оценки прочности бетона приняты образцы-кубы размером 150 х 150 х 150 мм.

Предел прочности бетона при сжатии $R_{сж}$ обычно 10...50 МПа. Чтобы разрушить бетонный куб размером 150 х 150 х 150 мм с $R_{сж}$ = =10 МПа, надо приложить усилие $F = R_{сж}A = 10(0{,}15 \times 0{,}15) = 225$ кН (22,5 т). Поэтому для испытания материалов применяют специальные машины, снабженные механизмом для силового воздействия на образец и измерительными устройствами. Так, предел прочности при сжатии определяют с помощью гидравлических прессов, развивающих усилие до 10^3 кН (100 т) и более (рис. 2.4).

Для испытания на прочность образец *4* устанавливают на нижнюю плиту *3* пресса, зажимают верхней плитой *5* и включают масляный

насос *8*. За повышением давления масла наблюдают по манометру *7*, фиксируя давление, при котором начинается разрушение материала. Разрушающее усилие $F_{разр}$ равно произведению значений зафиксированного давления и площади поршня пресса. Предел прочности при сжатии

$$R_{сж} = F_{разр}/A,$$

где A — площадь поперечного сечения образца, м^2.

Аналогично определяют пределы прочности при растяжении, изгибе, скалывании. Однако расчетные формулы при изгибе и скалывании имеют другой вид.

Прочность при сжатии, растяжении и изгибе у одного и того же материала может сильно различаться.

> У природных и искусственных каменных материалов прочность при сжатии в 5...15 раз выше, чем при изгибе и растяжении. У древесины, наоборот, прочность при изгибе выше прочности при сжатии (в 1,5...2 раза).

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон близка к прочности бетона, а при изгибе она прочнее бетона более чем в 10 раз.

Водостойкость. Увлажнение многих материалов снижает их прочность. Степень понижения прочности материала, насыщенного водой, характеризуется *коэффициентом размягчения*

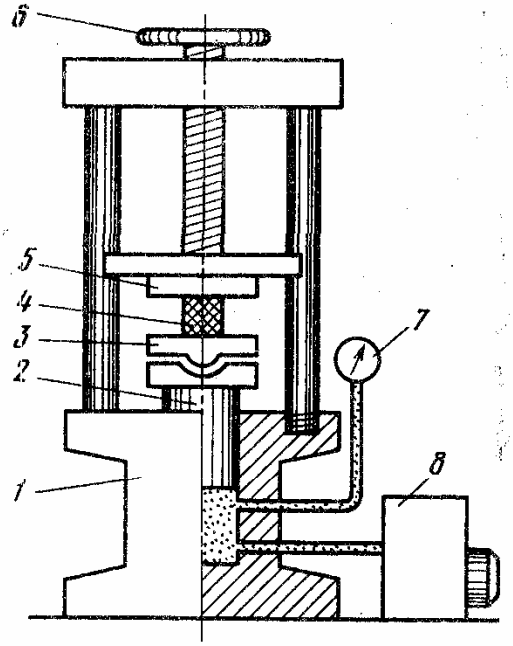
$$K_р = R_{нас}/R_{сух},$$

где $R_{нас}$ — прочность материала в насыщенном водой состоянии, МПа; $R_{сух}$ — то же, в сухом состоянии, МПа.

Значение $K_р$ для разных материалов колеблется от 0 (необожженная глина) до 1 (стекло, сталь, битум).

Упругость и пластичность. Если взять два шарика — резиновый и глиняный — и начать их сжимать, то они оба под действием приложенной силы деформируются. Как только прекращается действие силы, резиновый шарик восстанавливает свою форму, а глиняный останется деформированным.

Материалы, ведущие себя подобно резиновому шарику, т. е. восстанавли-



Р и с . 2.4. Схема гидравлического пресса для испытания на сжатие:

1 — станина; *2* — поршень; *3, 5* — нижняя и верхняя опорная плиты; *4* — испытуемый образец; *5* — маховик для ручного подъема верхней плиты; *7* — манометр; *8* — масляный насос

вающие свою форму и размеры после снятия нагрузки, называются *упругими*. Количественной мерой упругости служит модуль упругости F, рассмотренный ранее.

Материалы, ведущие себя подобно глине, т. е. сохраняющие деформации после снятия нагрузки, называются *пластичными*. Соответственно обратимые деформации называются упругими деформациями, а необратимые — пластическими.

К упругим материалам относятся природные и искусственные каменные материалы, стекло, сталь; к пластичным — битумы (при положительных температурах), некоторые виды пластмасс, свинец, бетонные и растворимые смеси до затвердевания.

Твердость — способность материалов сопротивляться проникновению в них других материалов. Твердость — величина относительная, так как твердость одного материала оценивается по отношению к другому. Самый простой метод определения твердости — по шкале твердости. В эту шкалу входят 10 минералов, расположенных по возрастающей твердости, начиная от талька (твердость 1) и кончая алмазом (твердость 10). Твердость исследуемого материала определяют, последовательно царапая его входящими в шкалу твердости минералами.

Обычно твердость определяют на специальных приборах. Так, для оценки твердости металлов и других твердых материалов применяют методы Бринелля или Роквелла, основанные на вдавливании под определенной нагрузкой в испытуемый образец шарика из закаленной стали или алмазного конуса. По диаметру отпечатка рассчитывают число твердости НВ (по Бринеллю) или HR (по Роквеллу).

Высокая прочность материала не всегда говорит о его твердости. Так, древесина по прочности при сжатии равна бетону, а при изгибе и растяжении во много раз превосходит его, но значительно уступает бетону в твердости.

Износостойкость — способность материала противостоять воздействию на него сил трения и ударных воздействий от движущихся предметов. Определяют ее на специальных приборах, снабженных абразивными насадками и моделирующих реальный процесс изнашивания. Износостойкость — важное свойство материалов, используемых для покрытий полов, дорог и т. п.

2.6. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Химические свойства материала характеризуют его способность к химическим превращениям под влиянием веществ, с которыми он находится в соприкосновении, а также некоторых физических (например, нагревание, облучение, электрический ток) и биологических (микроорганизмы, грибки и др.) воздействий. Из химических свойств материалов для строителя главные — коррозионная стойкость матери-

алов в строительных конструкциях и их химическая активность. Последнее свойство важно для материалов, используемых как связующее (например, цемент, синтетические смолы).

Коррозия — разрушение твердых тел, которое вызывается химическими и электрохимическими процессами, протекающими в них при взаимодействии с внешней средой. Коррозионному разрушению подвергаются не только металлы, но и каменные материалы, бетон, пластмассы, древесина.

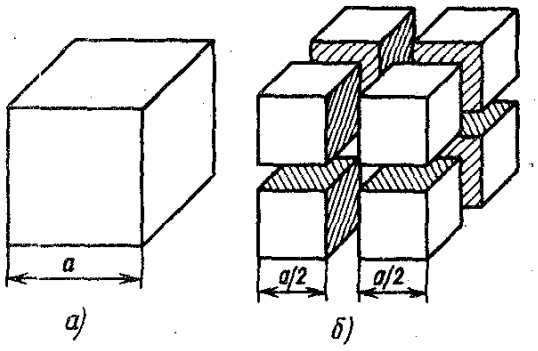


Рис. 2.5. Образование новых поверхностей при дроблении частицы материала:

а — частица до дробления; *б* — после дробления

Основные агрессивные агенты, вызывающие коррозию строительных материалов, следующие: пресная и соленая вода, минерализованные почвенные воды, растворенные в дождевой воде газы (SO_2, SO_3, NO_2) от предприятий и автомашин. На промышленных предприятиях коррозию строительных материалов часто вызывают более сильные агенты: растворы кислот и щелочей, расплавленные материалы и горячие газы.

Особый вид коррозии — *биокоррозия* — разрушение материала под действием живых организмов (например, грибов, микробов). Биокоррозия — это не только гниение органических материалов (древесины, битума и др.), но и разрушение бетона и металла продуктами жизнедеятельности поселившихся на них микроорганизмов.

Изменение структуры и химического состава пластмасс под влиянием внешней среды называется *старением.* Наиболее вредные воздействия на пластмассы оказывают солнечное облучение, кислород воздуха и повышенные температуры.

Коррозия строительных материалов опасна не столько химическими изменениями в материале, сколько связанными с ними изменениями физико-механических характеристик материалов.

Химическая активность таких строительных материалов, как вяжущие вещества или минеральные добавки, зависит от их состава и строения (т. е. от активности составляющих их молекул), а также от тонкости измельчения. Причина в том, что химические процессы протекают либо при непосредственном контакте этих веществ друг с другом (т. е. на их поверхности), либо при растворении веществ (растворение происходит также с поверхности). Таким образом, чем больше поверхность вещества, тем оно активнее в химическом отношении. Поверхность сильно возрастает при увеличении степени измельчения его частиц (рис. 2.5).

Степень измельчения вещества характеризуется величиной, называемой удельной поверхностью. *Удельная поверхность* — суммарная поверхность всех частиц единицы массы вещества ($см^2/г$). Удельная поверхность тонкомолотых материалов достигает больших значений ($см^2/г$): обычного портландцемента — 2000...2500, а тонкомолотого быстротвердеющего — 3000...4000. Чем больше удельная поверхность, тем быстрее частицы цемента взаимодействуют с водой и соответственно быстрее твердеет цемент.

2.7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

Основные требования к качеству материалов, изделий и готовых конструкций массового применения устанавливаются Государственными стандартами РФ (ГОСТ), отраслевыми стандартами (ОСТ), техническими условиями (ТУ).

В ГОСТах и ТУ содержатся краткое описание материалов и способы его изготовления, указаны марки материалов и требования к их качеству, форма и размеры и допускаемые отклонения от них, а также правила транспортирования, приемки и хранения, обеспечивающие сохранность материала, а также методы испытаний. ГОСТы и ТУ — документы, устанавливающие, что данный материал или изделие одобрены для производства и применения при определенном его качестве.

Основные положения строительного проектирования и производства строительных работ регламентируются Строительными нормами и правилами (СНиП).

В части II СНиП «Нормы проектирования» содержатся сведения о том, в каких конструкциях и как следует применять строительные материалы с указанием необходимых требований к свойствам этих материалов.

В стандартах и СНиПах требования к свойствам материалов выражены в виде марок на эти материалы.

> Марка строительных материалов — условный показатель, устанавливаемый по главнейшим эксплуатационным характеристикам или комплексу главнейших свойств материала. Так, существуют марки по прочности, плотности, морозостойкости, огнеупорности.

Один и тот же материал может иметь несколько марок по различным свойствам. Так, кирпич маркируют по прочности и морозостойкости, но основной из них считается марка по прочности — главнейшему эксплуатационному показателю. По прочности для всех природных и искусственных каменных материалов СНиПом установлены следующие марки: 4; 7; 10; 15; 25; 35; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 300 и т. д. до 3000. Цифра показывает минимально допустимый предел прочности

материала, выраженный в кгс/см^2 (например, кирпич марки 100 должен иметь прочность 100...125 кгс/см^2 или 10...12,5 МПа).

Теплоизоляционные материалы делят на марки по плотности. Это объясняется тем, что теплопроводность находится в прямой зависимости от плотности, но контролировать последнюю значительно проще (см. 2.4). Например, изделия из минеральной ваты выпускают марок 75; 100; 150 и т. д. (в этом случае размерность марки кг/м^3).

Лабораторная работа № 1
Часть 1. Определение истинной и средней плотности

Цель: ознакомиться с сущностью понятий «плотность» истинная и средняя и методами их определения для образцов правильной и неправильной геометрической формы.

Материалы: навеска размолотого в порошок керамического кирпича массой около 70 г и кусок кирпича неправильной формы массой 50...70 г; бетонный (или растворный) образец-куб; куб из дерева с ребром 4...5 см; образец пенопласта в форме параллелепипеда массой 10...30 г.

Приборы и приспособления: весы лабораторные технические с приспособлением для гидростатического взвешивания, весы торговые, стандартный объемомер (колба Ле-Шателье), стеклянная палочка, стеклянные (фарфоровые) стаканы вместимостью 100 и 500 см^3; линейки измерительные, чашечка фарфоровая.

Ход работы

I. Определение истинной плотности кирпича

Пробу тонкоразмолотого кирпича (размер частиц должен быть менее размера пор в кирпиче) массой около 70 г помещают в стаканчик и взвешивают на технических весах с погрешностью не более 0,05 г (m_1).

В объемомер (рис. 2.6, *а*) наливают воду до нижней риски, нанесенной до расширения на горле колбы. Горло объемомера подсушивают фильтровальной бумагой (или тряпочкой). Затем порошок кирпича из взвешенного стакана осторожно с помощью стеклянной палочки пересыпают в объемомер до тех пор, пока уровень воды не поднимется до верхней метки (потери порошка недопустимы). Объем засыпанного порошка $V_п$ равен объему между верхней и нижней метками объемомера (20 или 10 см^3) и указывается на объемомере.

Массу порошка кирпича (г), засыпанного в объемомер, определяют, взвешивая остатки порошка в стакане m_2 и вычисляя ее как разность масс

$$m_1 - m_2.$$

Истинную плотность (г/см^3) рассчитывают по формуле

$$\rho = (m_1 - m_2)/V_п.$$

II. Определение средней плотности материалов

Образец материала правильной формы. Образцы-кубы бетона (раствора), дерева и пенопласта измеряют линейкой с погрешностью 1 мм и рассчитывают объем образцов $V_{ест}$, см^3. Затем определяют их массу m с погрешностью 5 г для бетона, 1 г для раствора и 0,1 г для дерева и пенопласта. Среднюю плотность (г/см^3) рассчитывают по формуле $\rho_m = m/V_{ест}$, а затем переводят ее в кг/м^3, умножая полученное значение на 1000. Полученные данные заносят в таблицу.

Образец неправильной формы. Трудность определения средней плотности на таких образцах заключается в определении объема образца. Его невозможно рассчитать по результатам геометрических измерений. Для определения объема используют метод гидростатического взвешивания, основанный на законе Архимеда: объем тела оценивают по объему вытесненной телом воды, который, в свою очередь, определяют по выталкивающей силе, действующей на погруженный в воду образец.

Образец кирпича взвешивают в сухом состоянии, определяя его массу $m_{сух}$. Далее образец постепенно заливают водой и периодически (через 1...2 мин) взвешивают; перед взвешиванием образец обтирают мягкой тканью. Заканчивают насыщение образца водой после того, когда два последовательных взвешивания будут различаться не более чем на 0,05 г. Значение массы образца в этот момент принимают за массу насыщенного водой образца $m_{нас}$.

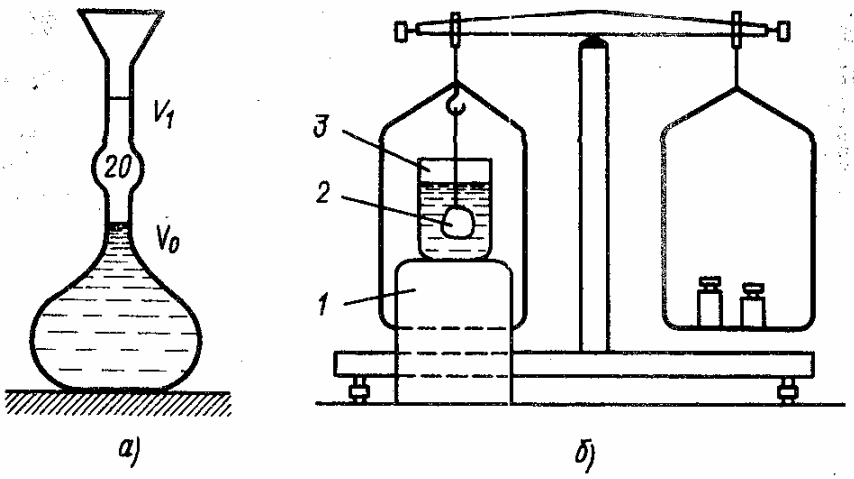


Рис. 2.6. Объемомер (*а*) и весы для гидростатического взвешивания (*б*):

1 — П-образная подставка; *2* — образец материала; *3* — стакан с водой

Насыщенный водой образец подвешивают на тонкой проволочке к коромыслу технических весов и еще раз определяют его массу $m_{нас}$. Затем образец, не снимая с весов, погружают в воду, используя приспособление для гидростатического взвешивания (рис. 2.6, *б*) и определяют массу гирь, уравновешивающих образец, находящийся в воде — $m_{вод}$.

По результатам двух последних взвешиваний рассчитывают естественный объем образца

$$V_{ест} = (m_{нас} - m_{вод})/\rho_{H_2O},$$

где $\rho_{H_2O} = 1$ г/см^3. Среднюю плотность ρ_m рассчитывают по приведенной ранее формуле.

Все результаты заносят в сводную таблицу, форма которой дана в работе 2.

Часть 2. Определение пористости и водопоглощения материалов

Цель: научиться рассчитывать пористость и водопоглощение материала.

Ход работы

Определение пористости материалов

Используя найденные значения истинной и средней плотности и значения пористости, указанные в табл. 2.1, рассчитывают пористость кирпича, дерева и пенопласта по формуле

$$П = [(\rho - \rho_m)/\rho]100.$$

Таблица 2.2. **Результаты определения структурных характеристик и свойств материалов**

Материал	Плотность, кг/м^3		Пористость, %
	истинная	средняя	
Бетон (раствор)			
Кирпич керамический			
Древесина (сосна)			
Пенопласт полистирольный			

Все испытания проводят на трех — пяти образцах и в табл. 2.2 заносят данные средних значений структурных характеристик и свойств материалов.

Определение водопоглощения

Водопоглощение рассчитывают для образца керамического кирпича, используя данные, полученные в лабораторной работе № 1 (II), массу сухого образца кирпича $m_{сух}$ и массу насыщенного водой образца $m_{нас}$.

Водопоглощение по массе $W^{п}_{m}$ определяют по формуле

$$W^{п}_{m} = [m_{нас} - m_{сух}/m_{сух}]100.$$

Водопоглощение по объему $W^{п}_{o}$ рассчитывают по найденному водопоглощению по массе $W^{п}_{m}$ и средней плотности кирпича ρ_m, определенной в работе II.

$$W^{п}_{o} = W^{п}_{m}(\rho_m/\rho_{H_2O}),$$

где ρ_{H_2O} — плотность воды, выраженная в тех же единицах, что и ρ_m, заносят в табл. 2.3.

По результатам табл. 2.3 студенты делают вывод о других свойствах исследованных материалов (морозостойкости, теплопроводности и т. п.) и их использовании.

Лабораторная работа № 2. Определение прочности и водостойкости

Цель: ознакомиться с методом экспериментального определения предела прочности материала при сжатии и оценки его водостойкости по коэффициенту размягчения.

Материалы: образцы-кубы (не менее 6 шт.) из затвердевшего гипсового вяжущего с ребром 2...5 см (размер образцов зависит от максимального усилия, развиваемого имеющимся в лаборатории прессом).

Оборудование: пресс гидравлический с силоизмерителем или манометром (максимальное усилие, развиваемое прессом, 10...100 кН); фарфоровая или металлическая чашка с водой, измерительная линейка.

Ход работы

Гипсовые образцы-кубы нумеруют (номер ставят на поверхности, которая была боковой при формовании), измеряют площадь занумерованной поверхности и заносят полученные значения в табл. 2.3. Образцы делят на две группы: № 1, 2, 3 и № 4, 5, 6. Образцы первой группы испытывают сухими, второй — помещают в воду перед испытанием на 10...15 мин в зависимости от размеров образца.

Сухие и влажные образцы помещают в пресс занумерованной (боковой) поверхностью вверх. Опускают плиту пресса до поверхности

образца и нагружают. Момент разрушения определяют по остановке или началу обратного хода стрелки силоизмерителя (манометра) и визуально по появлению трещин на образце. Разрушающее усилие $F_{разр}$ (или показание манометра) заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3. **Результаты испытаний**

Показатели	Образец							
	сухой				водонасыщенный			
	1	2	3	средняя	4	5	6	средняя
Площадь поперечного сечения, $м^2$								
Показания манометра, кПа								
Разрушающее усилие, МПа								
Предел прочности при сжатии, МПа								

При использовании прессов с манометрами разрушающее усилие рассчитывают по формуле $F_{разр} = pS_п$, где p — показание манометра в момент разрушения образца, кПа; $S_п$ — площадь поршня пресса, $м^2$.

Предел прочности при сжатии (МПа) рассчитывают по формуле $R = F_{разр}/A$, где A — площадь поперечного сечения образца, $м^2$.

По результатам испытаний сухих и водонасыщенных образцов определяют среднюю прочность гипсового камня в сухом и водонасыщенном состоянии и ее значение заносят в табл. 2.3.

Водостойкость испытуемого материала оценивают по коэффициенту размягчения

$$K_{разм} = R_{нас}/R_{сух},$$

где $R_{нас}$ — предел прочности в водонасыщенном состоянии, МПа; $R_{сух}$ — предел прочности в сухом состоянии, МПа. По полученному значению $K_{разм}$ делают вывод о водостойкости гипсового камня.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о кристаллических и аморфных телах. 2. Что вы знаете об истинной и средней плотности материала? 3. Расскажите о физических свойствах материалов (пористости, водопоглощении, влажности, гигроскопичности, влагоотдаче). 4. От чего могут разрушаться материалы наружных конструкций зданий и сооружений в зимний период? Как оценивается морозостойкость материала? 5. Какой главный фактор определяет теплопроводность материалов? 6. Как по результатам испытаний образца материала на сжатие определяют предел его прочности при сжатии? 7. Расскажите о прочности и твердости. 8. Что такое удельная поверхность? На какие свойства материалов она влияет?

РАЗДЕЛ 2. ПРИРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛАВА 3. ДРЕВЕСИНА И МАТЕРИАЛЫ ИЗ НЕЕ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Древесину издавна широко применяют в строительстве благодаря сочетанию замечательных свойств: высокой прочности и небольшой плотности, малой теплопроводности, легкости обработки, простоте скрепления отдельных элементов, высокой морозостойкости и химической стойкости, декоративности. Наряду с этим у древесины много недостатков: наличие пороков, гигроскопичность и связанные с ней набухание и усушка изделий из древесины, приводящие к их короблению и растрескиванию; особенно серьезным недостатком является ее горючесть и подверженность гниению. Специфическая особенность древесины — анизотропность, т. е. различие свойств в разных направлениях, обусловленное ее волокнистым строением.

На долю России приходится более 20 % мировой площади лесов. Но при этом доля деловой древесины составляет менее половины этих лесных богатств. Сроки роста деревьев деловых пород (сосна, ель, лиственница и др.) до достижения товарной ценности в нашей климатической зоне составляют 40...60 лет. Поэтому рубка леса должна вестись строго с учетом возраста древесины и сопровождаться новыми посадками. Только в этом случае можно говорить, что древесина относится к *возобновляемому сырью,* в отличие, например, от горючих ископаемых.

Общеизвестно, что древесина — *экологически чистый материал.* При этом обычно подразумевается, что она как строительный материал безвредна для человека. Это верно, но понятие экологической чистоты древесины значительно шире. Человек получает древесину как материал в готовом виде, не используя энергию для ее производства, т. е. в этом случае исключается загрязнение окружающей среды промышленными выбросами. Отслужившая древесина самоуничтожается, естественно входя в круговорот природы. Однако экологичность древесины реализуется лишь в том случае, когда вырубка и посадка новых деревьев идут как единый процесс, не нарушая биологического равновесия в природе.

При заготовке и распиловке древесины образуется большое количество (до 50...60 %) отходов: горбыль, стружки, опилки и т. п. Эти отходы и неделовую древесину подвергают более глубокой переработке с целью получения полноценных материалов.

В зависимости от степени переработки древесины различают:

• *лесные материалы*, получаемые только механической обработкой стволов дерева (бревна, пиломатериал); в этом случае сохраняются все присущие древесине положительные и отрицательные свойства;

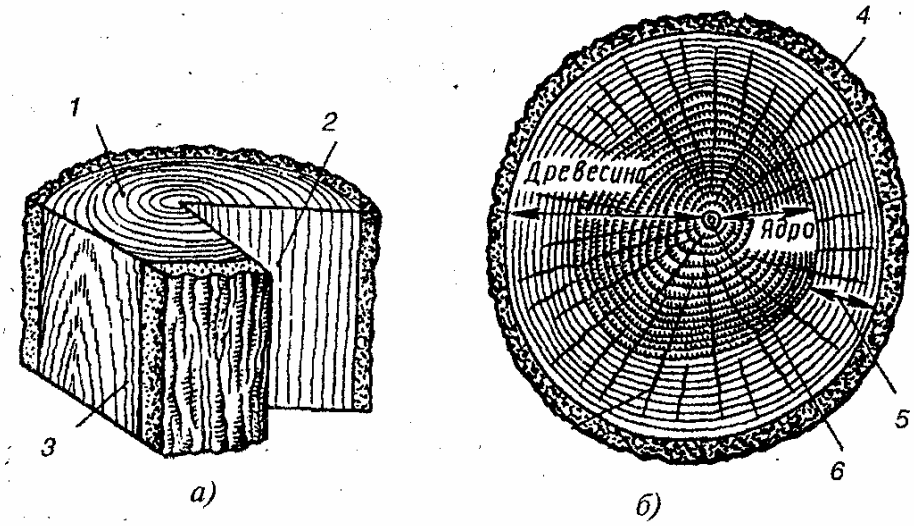
• *деревянные изделия и конструкции*, изготовляемые в заводских условиях (дверные и оконные блоки, клееные конструкции, фанера и пр.); свойства древесины в этом случае используются более рационально;

• *материалы, получаемые технологической переработкой древесины*: а) материалы и изделия из отходов и неделовой древесины с использованием вяжущих веществ (древесно-стружечные плиты, арболит, фибролит); б) материалы, получаемые физико-химической обработкой древесного сырья (древесно-волокнистые плиты, картон, бумага); в) материалы, получаемые химической переработкой древесины.

3.2. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ДРЕВЕСИНЫ

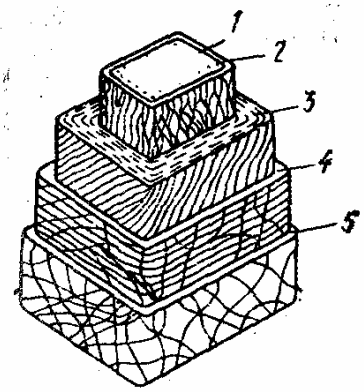
Макроструктура древесины — строение древесины, видимое невооруженным глазом. Рассматриваются три основных разреза ствола: поперечный — *торцовый* и два продольных — *радиальный*, проходящий через ось ствола, и *тангентальный*, проходящий по касательной к годовым кольцам (рис. 3.1).

На поперечном разрезе древесины ствола виден ряд концентрических годовых колец, располагающихся вокруг сердцевины. Каждое годовое кольцо имеет два слоя: ранней (весенней) и поздней (летней) древесины. Ранняя древесина светлая и состоит из крупных тонкостенных клеток. Поздняя древесина более темного цвета, состоит из мелких



Р и с . 3.1. Строение ствола дерева:

а — основные разрезы ствола; *б* — строение ствола дерева на поперечном разрезе; *1* — поперечный (торцовый); *2* — радиальный; *3* — тангентальный; *4* — кора; *5* — заболонь; *6* — сердцевина



Р и с . 3.2. Строение клетки древесины:

1 — внутренняя полость клетки; *2* — *5* — слои стенки клетки, состоящие из микрофибрилл целлюлозы, уложенных под разными углами

клеток с толстыми стенками; поэтому она менее пориста и обладает большей прочностью, чем весенняя.

В процессе роста дерева стенки клеток древесины внутренней части ствола, примыкающей к сердцевине, постепенно изменяют свой состав, одеревеневают 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 у разных пород называют ядром или спелой древесиной.

Микроструктура древесины. Изучая строение древесины под микроскопом, можно увидеть, что основную массу древесины составляют клетки механической ткани, имеющие веретенообразную форму и вытянутые вдоль ствола. Срубленная древесина состоит из отмерших клеток, т. е. только из клеточных оболочек (рис. 3.2). Оболочки клеток сложены из нескольких слоев очень тонких волоконец, называемых микрофибриллами, которые компактно уложены и направлены по спирали в каждом слое под разным углом к оси клетки (подобно отдельным прядям в канате). Это обеспечивает высокую прочность древесине.

Микрофибрилла состоит из длинных, напоминающих цепь, молекул целлюлозы — природного полимера состава $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n = =2500...3000. Ее в древесине 35...45 %. В клеточной оболочке содержатся и другие органические (лигниа — 20...30 % и гемицеллюлозы — около 20 %) и неорганические (0,17...0,27 %) вещества. Последние образуют золу при сжигании древесины.

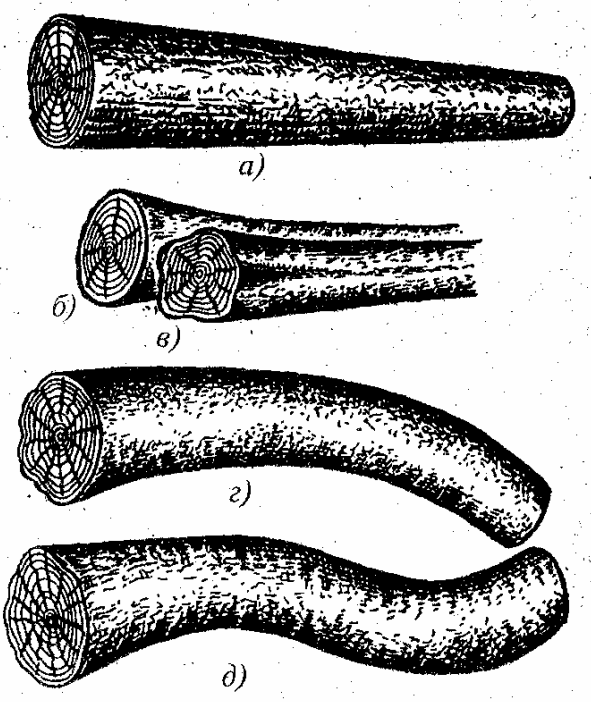
3.3. ПОРОКИ ДРЕВЕСИНЫ

Пороками называют недостатки древесины, появляющиеся во время роста дерева и хранения пиломатериалов на складе. Степень влияния пороков на пригодность древесины в строительстве зависит от их вида, места расположения, размеров, а также от назначения древесной продукции. Один и тот же порок в некоторых видах продукции делает древесину непригодной, а в других понижает ее сортность или не имеет существенного значения. Поэтому в стандартах на конкретные виды лесопродукции имеются указания о допустимых пороках.

Пороки древесины можно разделить на несколько групп: пороки формы ствола, пороки строения древесины, сучки, трещины, химиче-

ские окраски и грибковые поражения и покоробленности. Ниже рассмотрены основные виды пороков.

Пороки формы ствола легко определяются на растущем дереве, поэтому стволы таких деревьев могут быть отбракованы на лесосеке. К этой группе пороков относятся сбежистость, закомелистость и кривизна ствола (рис. 3.3).



Р и с. 3.3. Пороки формы ствола:
а — сбежистость; *б, в* — закомелистость округлая и ребристая; *г, д* — кривизна простая и сложная

Сбежистость — значительное уменьшение диаметра по длине ствола. Нормальным сбегом считается уменьшение диаметра на 1 см на 1 м длины ствола. Этот порок уменьшает выход обрезных пиломатериалов. Кроме того, в материале оказывается много перерезанных волокон, что снижает его прочность.

Закомелистость — резкое увеличение диаметра комлевой (нижней) части ствола. Закомелистость бывает круглой и ребристой. В любом случае она увеличивает количество отходов и искусственно вызывает косослой в готовой продукции.

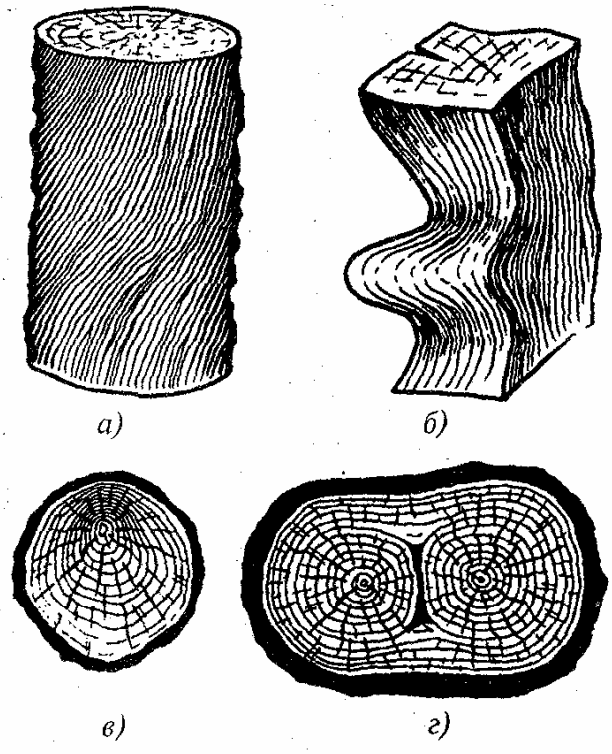
Кривизна ствола — искривление ствола дерева в одном или нескольких местах. Сильная кривизна переводит древесину в разряд непригодной для строительных целей.

Пороки строения древесины представляют собой отклонения от нормального расположения волокон в стволе дерева: наклон волокон, свилеватость, крень, двойная сердцевина и др. (рис. 3.4).

Наклон волокон (косослой) — непараллельность волокон древесины продольной оси пиломатериала. Это явление (особенно при больших углах наклона волокон) вызывает резкое снижение прочности древесины и затрудняет ее обработку. Пиломатериал, имеющий косослой, обладает повышенной склонностью к короблению при изменении влажности.

Свилеватость — крайнее проявление косослоя, когда волокна древесины расположены в виде волн или завитков. Свилеватость в некоторых породах (орех, карельская береза) придает красивую текстуру древесине; такие породы используются в отделочных работах.

Крень — изменение строения древесины, когда годовые кольца имеют разную толщину и плотность по разные стороны от сердцевины. Крень нарушает однородность древесины.

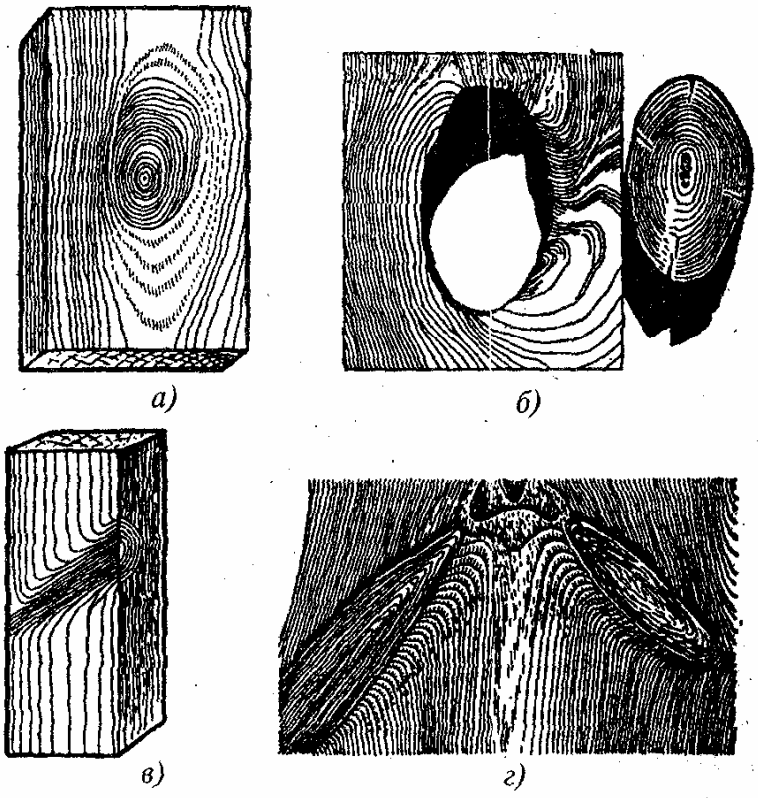


Р и с . 3.4. Пороки строения древесины:
а — наклон волокон; б — свилеватость; в — крень; г — двойная сердцевина

Сучки — самый распространенный и неизбежный порок древесины, представляющий собой основание ветвей, заключенные в древесине. Они нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон (свилеватость). Сучки уменьшают рабочее сечение пиломатериалов, снижая их прочность в 1,5...2 раза (а в тонких досках и брусках и более).

По степени срастания сучков с древесиной ствола различают сучки сросшиеся, частично сросшиеся и несросшиеся (выпадающие). Особенно опасны сучки разветвленные (лапчатые) (рис. 3.5).

Здоровые сучки имеют древесину твердую и плотную без признаков гнили. Часто сучки заг-



Р и с . 3.5. Различные виды сучков:
а — сросшийся здоровый; *б* — выпадающий; *в* — сшивной; *г* — разветвленный (лапчатый)

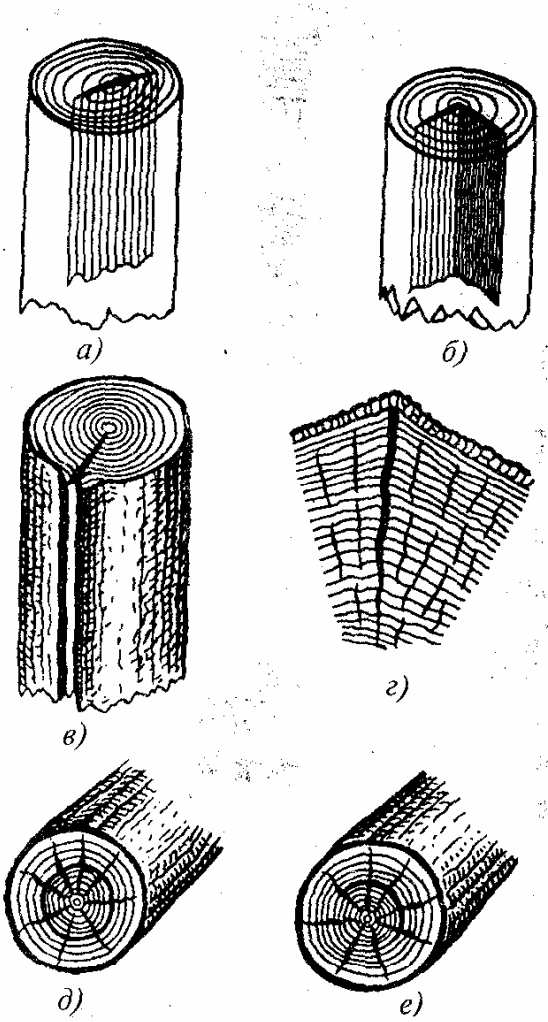
Гибают вплоть до превращения в рыхлую порошкообразную массу — это так называемые табачные сучки.

Для изготовления несущих деревянных конструкций используется древесина, имеющая только здоровые сросшиеся сучки. Количество и размещение сучков определяют сортность материала.

Трещины могут появляться как на растущем дереве, так и при высыхании срубленного дерева и пиломатериалов. Они нарушают целостность пиломатериалов, уменьшают выход высокосортной продукции, снижают прочность и даже делают их непригодными для строительных целей. Кроме того, трещины способствуют гниению древесины.

Различают следующие типы трещин: метик, морозобоина и отлуп, образующиеся на растущем дереве, и трещины усушки, образующиеся на срубленной древесине (рис. 3.6).

Метик — внутренние трещины, идущие вдоль ствола от центра к периферии; трещин может быть несколько как расположенных в одной плоскости, так и крестообразно.



Р и с . 3.6. Виды трещин:

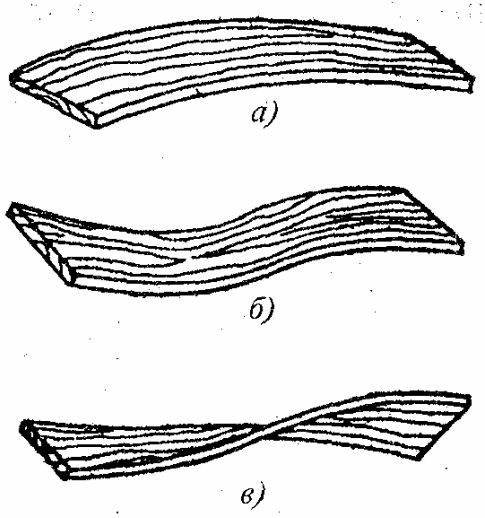
а, б — метиковая простая и сложная; *в, г* — морозобоина открытая и закрытая; *д, е* — отлуп кольцевой и частичный

Морозобоина — наружная открытая продольная трещина, сужающаяся к центру. Такие трещины возникают при замерзании влаги в стволе во время сильных морозов.

Отлуп — полное или частичное отделение центральной части ствола от периферийной в результате усушки первой. Такие трещины располагаются по годовым кольцам.

Трещины усушки встречаются очень часто в древесине всех пород; они возникают в результате напряжений, вызванных неравномерной усадкой при быстрой сушке древесины на воздухе. Эти трещины направлены от периферии к центру вдоль волокон древесины.

Грибные поражения и химические окраски вызываются простейшими живыми организмами — грибами, развивающимися из спор и использующими древесину в качестве питательной среды, или микроорганизмами. Для развития грибов необходим кислород воздуха, определенная влажность и положительная температура. Различают грибы,



Р и с . 3.7. Продольная покоробленность:
а — простая; *б* — сложная; *в* — крыловатая

поражающие деревья, растущие в лесу, и свежесрубленную древесину, и грибы, развивающиеся на деревянных конструкциях.

На растущих деревьях могут развиваться *деревоокрашивающие грибы*. Они питаются содержимым клеток, не затрагивая их стенки. Поэтому прочность такой древесины изменяется незначительно, но на древесине появляются цветные пятна и полосы.

Изменение окраски древесины без изменения ее механических свойств может происходить из-за биохимического окисления дубильных веществ, провоцируемого микроорганизмами.

Значительно более опасны ***дереворазрушающие грибы***. Они питаются материалом стенок клеток — целлюлозой, разлагая ее с помощью ферментов до глюкозы:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6$$

Это возможно только при достаточной влажности древесины. Глюкоза в теле гриба используется в процессе его жизнедеятельности и, в конце концов, превращается в углекислый газ и воду.

Известно большое число дереворазрушающих грибов. Среди них наиболее часто встречаются так называемые *домовые грибы*. При поражении такими грибами древесина делается трухлявой и легкой, а на ее поверхности появляется налет плесени в виде мягких подушечек. Домовый гриб может разрушить древесину очень быстро (в течение нескольких месяцев).

Процесс гниения прекращается при снижении влажности древесины до 18...20 % (сухая древесина не гниет), снижении температуры ниже 0° С или исключении поступления кислорода.

Повреждения насекомыми (червоточины) представляют собой ходы и отверстия, проделанные в древесине насекомыми (жуками-короедами, точильщиками). Они живут в древесине и ею же и питаются. Жуки-точильщики могут развиваться в сухой древесине и даже в мебели.

Поверхностные червоточины не влияют на механические свойства древесины, так как при распиловке уходят в горбыль. Глубокие червоточины нарушают целостность древесины и снижают ее прочность.

Покоробленности — нарушение формы пиломатериалов при изменении ее влажности при сушке и хранении или под действием внут-

ренних напряжений при продольной распиловке крупных элементов на более мелкие. Покоробленность бывает *поперечная, продольная* (простая и сложная) и *винтообразная* (крыловатость) (рис. 3.7).

3.4. ВАЖНЕЙШИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

Физические свойства. ***Влажность и гигроскопичность.*** 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 ± 2° С. *Стандартной* считают влажность древесины 12 %, при которой определяют и сравнивают ее свойства.

Вода в древесине может находиться в двух состояниях — свободном и физически связанном.

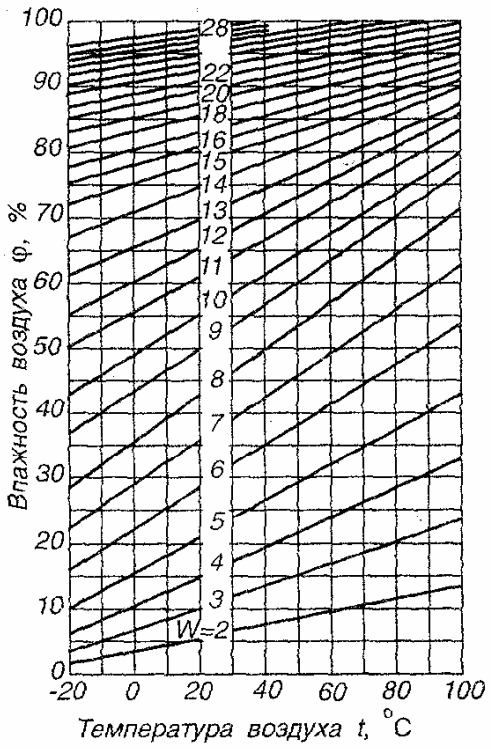
Свободная или капиллярная вода заполняет полости клеток и сосудов и межклеточное пространство. *Связанная* или *гигроскопическая* вода находится в стенках клеток и сосудов древесины в виде тончайших гидратных оболочек на поверхности мельчайших элементов, слагающих стенки клеток.

Влажность древесины, когда стенки клеток насыщены водой (предельное содержание гигроскопической влаги), а полости и межклеточные пространства свободны от воды (отсутствие капиллярной воды), называют пределом гигроскопической влажности или точкой насыщения волокон. Для древесины различных пород она находится в пределах от 23 до 35 % (в среднем 30 %).

Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость (от 50 до 80 %), обладает огромной внутренней поверхностью, которая активно сорбирует водяные пары из воздуха. Влажность, которую приобретает древесина в результате длительного нахождения на воздухе с постоянной температурой и влажностью, называется *равновесной.* Между равновесной влажностью древесины и параметрами окружающего воздуха (относительной влажностью и температурой) существует определенная зависимость. Эта зависимость выражена в форме диаграммы на рис. 3.8.

Гигроскопическая вода, покрывая поверхность мельчайших частиц в стенках клеток водными оболочками, увеличивает и раздвигает их. При этом объем и масса древесины увеличиваются, а прочность снижается. Свободная вода, накапливаясь в полостях клеток, существенно не изменяет расстояния между элементами древесины и поэтому почти не влияет на ее прочность и объем, увеличивая лишь массу и теплопроводность.

Усушка и разбухание. Как уже отмечалось, изменение влажности древесины от 0 до предела гигроскопичности вызывает изменение ее линейных размеров и объема — усушку или разбухание, величина



Р и с . 3.8. Диаграмма зависимости влажности древесины от температуры и влажности воздуха

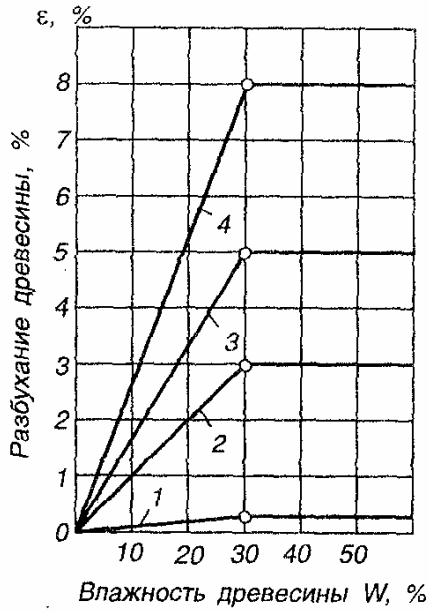
которых зависит от количества испарившейся или поглощенной ею влаги и направления волокон (рис. 3.9). Вдоль волокон линейная усушка для большинства древесных пород не превышает 0,1 %, в радиальном направлении — 3...6 %, а в тангентальном — 7...12 %. Это сопровождается возникновением внутренних напряжений в древесине, что может вызвать ее коробление и растрескивание. Так, боковые края досок стремятся выгнуться в сторону выпуклости годовых слоев. Наибольшему короблению подвержены доски, выполненные ближе к поверхности бревна, и широкие доски (рис. 3.10).

Плотность. Вещественный состав древесины различных пород приблизительно один и тот же, поэтому *истинная плотность* древесины — величина постоянная и составляет 1,54 г/см^3.

Средняя плотность древесины разных пород и даже одной и той же породы зависит от многих факторов, связанных с условиями роста дерева. У большинства древесных пород плотность сухой древесины меньше 1000 кг/м^3, т. е. меньше плотности воды. С изменением влажности средняя плотность древесины меняется, поэтому принято сравнивать плотность древесины при одной и той же стандартной влажности, равной 12 %.

Пористость древесины главнейших пород, применяемых в строительстве,— 50...70 %.

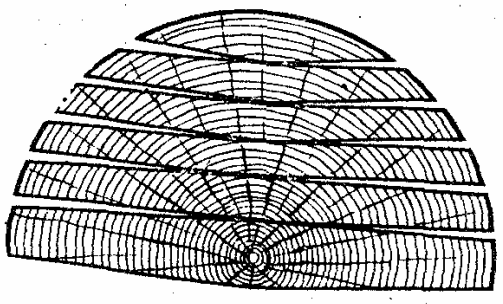
Теплопроводность. Древесина как материал высокопористого и волокнистого строения характеризуется относительно низкой теплопроводностью. Однако вследствие анизотропности теплопроводность вдоль и поперек волокон отличается примерно в два раза [например, для сосны вдоль волокон — 0,35 Вт/(м · К), а в поперечном направлении — 0,17 Вт/(м · К)].



Р и с . 3.9. Разбухание древесины при увлажнении:

1 — вдоль волокон; *2* — в радиальном направлении; *3* — в тангентальном направлении; *4* — объемное

Стойкость древесины к действию агрессивных сред. При длительном воздействии кислот и щелочей древесина медленно разрушается. В кислой среде древесина начинает разрушаться при pH < 2. *Слабощелочные растворы* почти не разрушают древесину. В морской воде древесина сохраняется значительно хуже, чем в пресной (речной, озерной) воде. *В воде большой биологической агрессивности* стойкость древесины низкая.

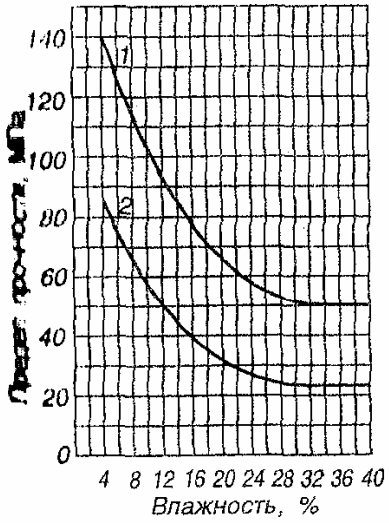


Р и с . 3.10. Деформации досок при сушке

Механические свойства. Прочность древесины (материала волокнистого строения) имеет большое различие вдоль и поперек волокон (при растяжении вдоль волокон в 20...30 раз, а при сжатии в 3...6 раз больше, чем поперек волокон). Прочность древесины зависит от того, под каким углом к волокнам направлено разрушающее усилие, а также от породы дерева, плотности, косвенно характеризующей пористость древесины, наличия пороков и особенно от влажности в пределах 0 ...30 % (рис. 3.11). Поэтому при определении механических свойств древесины необходимо всегда учитывать ее влажность, направление действия нагрузки и применять стандартные образцы, не имеющие пороков (так называемые «малые чистые образцы»).

Методы определения механических свойств древесины регламентированы соответствующими ГОСТами и описаны в лабораторной работе № 4.

Прочность при сжатии вдоль волокон достаточно высока и составляет в среднем 40...60 МПа, т. е. сопоставима с прочностью бетона. Это объясняется тем, что пустотелые волокна древесины работают как жесткие пространственные элементы.



Р и с . 3.11. Влияние влажности древесины на ее прочность при изгибе (*1*) и при сжатии вдоль волокон (*2*)

Прочность при сжатии поперек волокон составляет примерно 0,15...0,3 от предела прочности вдоль волокон. Это объясняется тем, что при сжатии поперек волокон в действительности происходит смятие волокон древесины без явного разрушения стенок. Поэтому за прочность в этом случае принимают условный предел прочности, равный наибольшему напряжению, при котором еще сохраняется линейная зависимость между напряжением и деформацией.

Прочность при растяжении вдоль волокон в 2...3 раза больше прочности при сжатии в этом направлении и составляет 100...120 МПа. Прочность при растяжении сильно зависит

от наличия некоторых пороков (сучки, косослой и др.), но мало изменяется от влажности.

Прочность при изгибе в 1,5...2 раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон, но несколько меньше прочности при растяжении и составляет в среднем 60...110 МПа. Прочность при изгибе у древесины значительно выше, чем у большинства строительных материалов (бетон, керамика и т. д.) и сопоставима с прочностью металлов.

Прочность древесины при скалывании и перерезании имеет важное значение для соединения деревянных элементов (для врубок, шпонок, нагелей и т. д.).

При *скалывании вдоль волокон* целостность самих древесных волокон не нарушается, а разрушение древесины происходит вследствие нарушения сцепления между волокнами. Предел прочности при скалывании вдоль волокон составляет 10...20 % от предела прочности при сжатии в этом же направлении.

При *перерезании* внешние силы направлены перпендикулярно волокнам. Для разрушения древесины в этом случае необходимо разрезать волокна, что значительно трудней, чем расщепить. Поэтому предел прочности при перерезании в 3...4 раза выше, чем при скалывании.

Зависимость прочности от влажности. В связи с тем, что механические свойства древесины зависят от влажности (рис. 3.11), для получения сравнимых результатов испытания прочность древесины при фактической влажности пересчитывают на прочность при стандартной 12 %-ной влажности. При фактической влажности 8...20 % пересчет производят по формуле

$$R_{12} = R_W[1 + \alpha(W - 12)],$$

где R_{12} и R_W — предел прочности образцов соответственно при 12 %-ной и фактической влажности W в момент испытаний; α — поправочный коэффициент на влажность, показывающий, насколько изменяется прочность при изменении влажности на 1 %. Значения α при сжатии и изгибе составляют 0,04, при смятии —0,035.

Основные физико-механические свойства древесины хвойных и лиственных пород, применяемых в строительстве, приведены в табл. 3.1 (средние значения при влажности 12 %).

Таблица 3.1. **Средние показатели физико-механических свойств древесины хвойных и лиственных пород при стандартной 12 %-ной влажности**

Порода	ρ_m, кг/м^3	Пористость, %	Предел прочности, МПа		
			$R^*_{сж}$	$R_{изг}$	$R_р$
Лиственница	680	56	65	110	125
Сосна	500	68	50	85	105
Ель	450	72	45	80	103
Кедр	440	71	35	65	80

Продолжение табл. 3.1

Порода	ρ_m, кг/м^3	Пористость, %	Предел прочности, МПа		
			$R^*_{сж}$	$R_{изг}$	$R_р$
Дуб	700	46	60	107	125
Бук	670	56	55	110	125
Береза	630	59	55	110	160
Осина	490	68	45	80	120

* $R_{сж}$ — предел прочности при сжатии вдоль волокон.

Стандартные методы определения механических свойств на малых «чистых» образцах позволяют сравнивать между собой прочность древесины одной породы или разных пород и оценивать качество древесины из данного лесонасаждения.

Фактическая прочность строительной древесины в изделиях стандартных размеров (досок, брусьев, бревен), имеющих те или иные дефекты строения и другие особенности, существенно ниже стандартной прочности; поэтому при нормировании допускаемых напряжений (расчетных сопротивлений) устанавливают относительно большие коэффициенты запаса.

Кроме того, *при долговременном действии нагрузки* разрушение древесины наступает при напряжениях меньших, чем при стандартных испытаниях. Так, *предел долговременного сопротивления* при изгибе составляет 0,6...0,65 от предела прочности при стандартном испытании.

При многократных нагружениях наблюдается *усталость* древесины. Предел выносливости при изгибе равен в среднем 0,2 от статического предела прочности.

3.5. ОСНОВНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ ПОРОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Древесные породы по ряду биологических признаков принято разделять на хвойные и лиственные. Такое же деление принято и в строительстве.

Хвойные породы в средней полосе составляют основные запасы деловой древесины. В строительстве в основном применяется древесина хвойных пород, отличающаяся правильным (с меньшим количеством пороков) строением ствола и большей устойчивостью к загниванию, которая связана со смолистостью хвойной древесины. Из хвойных пород чаще всего применяют сосну, лиственницу, ель, пихту, кедр (их физико-механические свойства приведены в табл. 3.1).

Сосна — наиболее распространенная хвойная порода. Древесина сосны светло-золотистого цвета; она характеризуется высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами и хорошо поддается обработке. Из сосны изготовляют несущие деревянные конструкции, различные столярные изделия, фанеру и др.

Древесина *лиственницы* по внешнему виду напоминает древесину сосны, но обладает большей плотностью и прочностью. Цвет ее более темный, чем у сосны. Древесина лиственницы характеризуется повышенной стойкостью против загнивания в условиях переменной влажности благодаря высокой смолистости. Поэтому ее применяют для гидротехнических и подземных сооружений, а также для изготовления шпал.

Ель — распространенная хвойная порода, древесина которой отличается малой смолистостью при относительно высоких прочностных показателях. Однако при использовании в сырых местах быстро загнивает. Из ели изготавливают строительные конструкции, эксплуатируемые в сухих условиях.

Древесина *пихты* белого цвета, по внешнему виду напоминает древесину ели. Физико-механические ее свойства близки к свойствам ели, однако она еще менее стойка к загниванию. В строительстве используют для тех же целей, что и древесину ели.

Кедр имеет легкую прочную и хорошо обрабатывающуюся древесину. Его применяют в столярном и мебельном производстве.

Лиственные породы в строительстве используют значительно реже, чем хвойные. Среди многообразия лиственных пород наибольшее применение в строительстве нашли дуб, ясень, бук, береза, осина.

Дуб обладает тяжелой, плотной, твердой и очень прочной древесиной желтоватого цвета с красивой текстурой; она хорошо сохраняется как на воздухе, так и под водой. Из дуба делают высококачественный паркет, фанеру, мебель.

Ясень имеет тяжелую, твердую и прочную древесину, по виду и строению напоминающую древесину дуба, но более светлой окраски.

Бук имеет плотную и прочную древесину белого цвета с красноватым оттенком. Бук применяют для изготовления паркета, фанеры, высококачественных столярных изделий и мебели.

Береза — самая распространенная в наших лесах лиственная порода. Древесина ее твердая и прочная, но недолговечная в условиях попеременного увлажнения и высушивания. Это основное сырье для изготовления фанеры, столярных изделий и мебели.

Осина имеет мягкую и легкую древесину белого цвета с зеленоватым оттенком; во влажном состоянии она быстро загнивает. Осина легко раскалывается вдоль волокон, поэтому применяется для изготовления фанеры, кровельных материалов (щепы, гонта, лемеха) и тары.

3.6. ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Лесоматериалами (лесным сортиментом) называют материалы из древесины, сохранившие ее природную структуру и состав. Их подразделяют на необработанные (круглые) и обработанные (пиломатериалы, колотые материалы, шпон и др.). Изделия из древесины получают из лесоматериалов путем механической обработки и в ряде случаев соединения отдельных фрагментов в изделие с помощью склейки или крепежных материалов.

Круглые лесоматериалы — очищенные от сучьев отрезки древесных стволов. В зависимости от диаметра верхнего торца круглые лесоматериалы подразделяют на бревна, подтоварник и жерди.

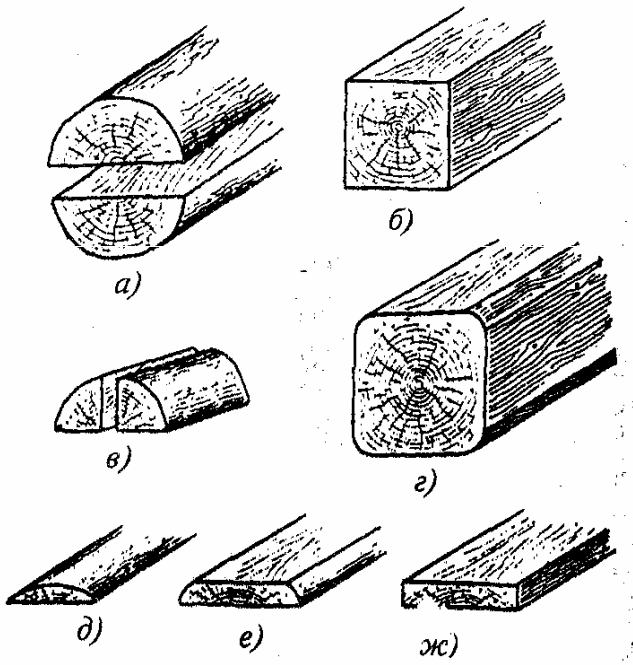
Бревна строительные и пиловочные из хвойных и лиственных пород должны иметь диаметр верхнего торца не менее 14 см и длину 4...6,5 м, ошкуренную поверхность, а торцы их должны быть опилены под прямым углом к продольной оси. Для строительных конструкций (здания, гидротехнические сооружения, мосты и т. п.) обычно применяют бревна из хвойных пород. Пиловочные бревна готовят из хвойных и лиственных пород для получения различных пиломатериалов.

В последние годы получили распространение *оцилиндрованные бревна*, получаемые из обычных бревен обработкой их на токарном станке, в результате чего они приобретают цилиндрическую форму (без «сбега»). Такая форма облегчает возведение срубов и другие плотницкие работы.

Подтоварник — часть ствола дерева с диаметром верхнего торца 8...13 см и длиной 3...9 м. Их используют для различных целей в жилом и сельскохозяйственном строительстве, а также для вспомогательных сооружений.

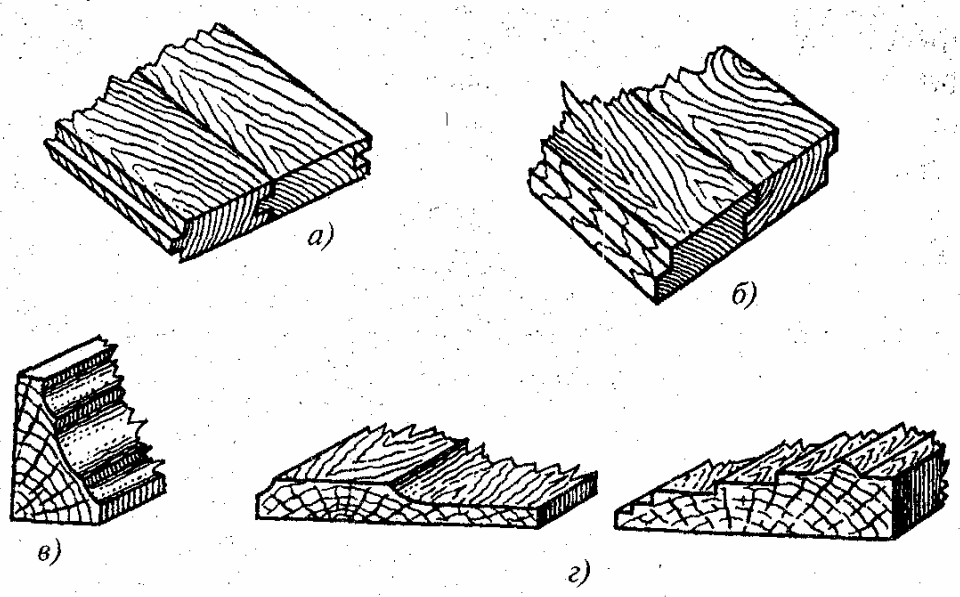
Жерди имеют диаметр верхнего торца менее 8...3 см и длину 3...9 м; их применяют для вспомогательных (изгороди и т. п.) и временных сооружений.

Пиломатериалы получают при продольной распиловке бревен. По форме поперечного сечения различают следующие основные виды пиломатериалов: пластины, четвертины, горбыль, доски, брусья и бруски (рис. 3.12).



Р и с . 3.12. Виды пиломатериалов:

а — пластины; *б* — брусья; *в* — четвертина; *г* — брус с обзолом; *д* — горбыль; *е* — необрезная доска; *ж* — чистообрезная доска



Р и с . 3.13. Строганый и профилированный погонаж:
а — шпунтованные доски с прямоугольным пазом и гребнем; *б* — фальцованные доски (в четверть); *в* — плинтус; *г* — наличник

Пластины получают при продольном распиливании бревен на две половины, *четвертины* — по двум взаимно перпендикулярным диаметрам.

Горбыль — срезанная во всю длину наружную часть бревна, имеющая с другой стороны плоскую поверхность распила; применяется для вспомогательных и временных построек.

Доски в зависимости от чистоты опиловки продольных кромок бывают необрезные с неопиленными кромками на длину более половины длины доски и обрезные — опиленные полностью или более чем на половину длины доски. Длина досок до 6,5 м с градацией через 0,25 м. В зависимости от качества древесины и ее обработки (наличие обзола) доски делят на пять сортов. Доски высших сортов используют для изготовления элементов деревянных конструкций и столярных изделий.

Брусья имеют квадратное или прямоугольное сечение ($a : b \leq 2$); брусья, опиленные с двух противоположных сторон, называют двухкантными, а опиленные с четырех сторон — четырехкантными. Длина брусьев такая же, как у бревен 4...6,5 м. Брусья используют для устройства стен, перекрытий, стропил и т. д.

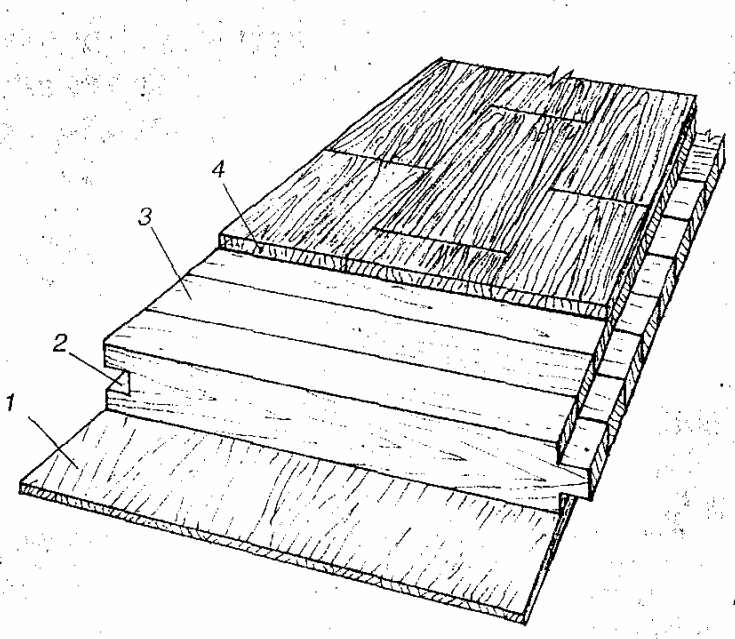
Бруски — пиломатериал, аналогичный брусьям, но имеющий толщину менее 100 мм; длина такая же, как у брусьев; из брусков изготовляют элементы деревянных конструкций и столярные изделия.

Изделия из древесины. Из древесины хвойных и лиственных пород изготовляют большой ассортимент погонажных изделий, паркета и паркетных изделий, столярных плит, фанеры и т. п.

Погонажные изделия включают: шпунтованные доски для полов, у которых на одной кромке имеется паз, а на другой гребень (выступ),

обеспечивающие плотное соединение досок; доски с гребнем (вагонка) для обшивки стен; профильные изделия — плинтусы, наличники и т. п. (рис. 3.13).

Изделия для паркетных полов включают: штучный паркет, щитовой паркет и паркетные доски. У всех видов паркетных изделий верхний лицевой слой выполняется из твердых пород дерева (дуба, бука, березы и т. п.).



Р и с . 3.14. Паркетная доска:

1 — нижний компенсационный слой шпона; *2* — паз; *3* — несущая доска, склеенная из брусков; *4* — лицевой слой из твердых пород

Штучный паркет представляет собой дощечки длиной от 150 до 450 мм, шириной от 30 до 60 мм и толщиной 16 и 19 мм. Дощечки имеют пазы и гребни, аналогичные доскам для пола.

Паркетные щиты и *доски* представляют собой трехслойную клееную конструкцию, состоящую из лицевого покрытия в виде тонких (4...10 мм) планок из твердых пород (дуб, бук и т. п.), основания из сосновых или еловых реек и слоя шпона. Волокна древесины в соседних слоях взаимно перпендикулярны. Длина досок 1,2...3 м при ширине 200...250 мм. Паркетные щиты и доски позволяют экономить дорогую древесину и ускоряют работы по настилке пола (рис. 3.14).

Фанера (от фр. *fournir* — накладывать) — многослойный листовой материал, состоящий из склеенных между собой трех и более листов шпона; *шпон* получают лущением (срезанием тонкого слоя в виде непрерывной широкой ленты) предварительно распаренных кряжей — толстых и коротких (2...2,5 м) бревен преимущественно лиственных пород: березы, ольхи, осины и др. (рис. 3.15).

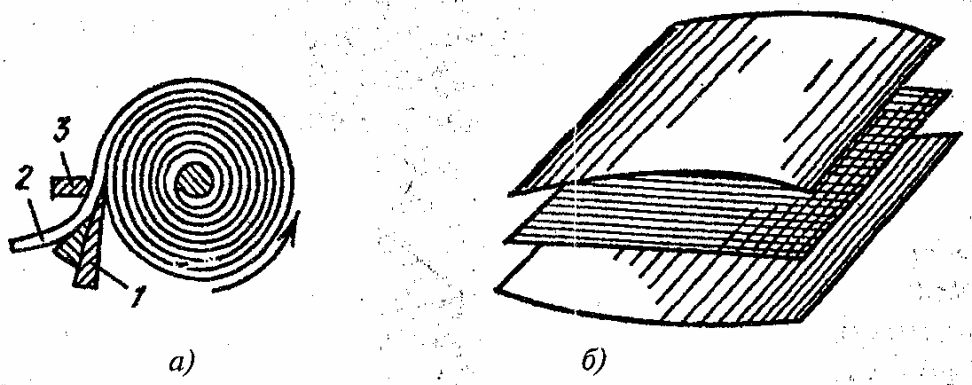
В фанере листы шпона располагают так, чтобы волокна древесины в смежных слоях находились во взаимно перпендикулярных направлениях. Этим достигается *изотропность* материала при высоких прочностных показателях, характерных для цельной древесины без пороков.

В зависимости от вида использованного клея фанера может быть:

повышенной водостойкости (ВСФ) на фенол-формальдегидных клеях;

водостойкой (ФК) на карбамидном клее;

неводостойкой (ФБА) на белковом (альбуминовом, казеиновом) клее.



Р и с . 3.15. Схема изготовления фанеры:
а — лущение шпона; *1* — нож; *2* — шпон; *3* — прижим; *б* — склеивание листов шпона (волокна смежных листов взаимно перпендикулярны)

Толщина листов фанеры от 3 до 19 мм; размеры по длине (ширине) от 725 до 2240 мм.

В строительстве фанера применяется для изготовления дверей, встроенной мебели, перегородок, панелей, подшивки потолков, при устройстве сплошной обрешетки кровли и т. п.

Кроме обычной выпускается *декоративная фанера,* облицованная шпоном ценных пород или декоративными полимерными пленками. Для использования во влажных условиях в нагруженных конструкциях производится *бакелитизированная фанера* (марок ФБС и ФБ), в которой шпон пропитывается фенолформальдегидными смолами. Благодаря пропитке и интенсивному горячему прессованию фанера приобретает абсолютную водостойкость и очень высокую прочность (близкую к прочности стали); плотность такой фанеры до 1200 кг/м^3. Из бакелитизированной фанеры изготавливают опалубку для бетона, кровельные плиты, трубы и т.п.

Столярные плиты получают склеиванием деревянных реек сечением не более 30 мм в сплошную плиту больших размеров с последующей оклейкой шпоном с одной или двух сторон. Применяют такие плиты для изготовления дверей, мебели и т. п.

Столярные изделия строительного назначения — это, главным образом, оконные блоки (оконная коробка и рамы) и дверные блоки (дверная коробка и дверное полотно). Эти и другие столярные изделия выпускают деревообрабатывающие комбинаты (ДОК) в виде полностью готовых (антисептированных и окрашенных) изделий.

Строительные конструкции и детали из древесины изготавливают на ДОКе и доставляют на строительство в готовом виде. К ним относятся комплекты для сборных деревянных домов, детали и конструкции для малоэтажных зданий (балки, фермы).

Наиболее перспективны *клееные деревянные конструкции*. Их получают склеиванием реек и мелкоразмерных досок из древесины хвойных пород в большеразмерные конструкции любой заданной формы (балки, фермы) с помощью водостойких полимерных клеев. Ширина деревоклееных конструкций 120...200 мм, а высота до 1500 мм. Швы склеиваемых элементов делаются «вразбежку». Клееные конструкции имеют много преимуществ перед конструкциями из цельных крупноразмерных пиломатериалов (брусьев, досок). Технология клееных конструкций позволяет:

- максимально полно использовать древесину, в том числе и «неделовую»;
- удалить из древесины дефектные участки (сучки, косослой и т. п.);
- полнее защитить древесину от гниения и возгорания;
- снизить гигроскопичность и предотвратить коробление элементов;
- получать конструкции любого требуемого размера и формы.

Клееные деревянные конструкции при современной технологии превосходят по эффективности железобетонные. Во многих странах мира они рекомендованы для многоэтажных жилых и общественных зданий (например, в строящемся комплексе посольства Великобритании в Москве из клееных балок переменного сечения выполнено перекрытие главного корпуса).

Материалы и изделия из отходов древесины. Для целей строительства производится довольно много материалов на базе неделовой древесины и отходов деревообработки. К ним относятся древесностружечные плиты — ДСП (см. § 15.3), цементностружечные плиты — ЦСП (см. § 14.6) и древесноволокнистые плиты — ДВП, фибролит и арболит (см. § 14.6). В этих материалах древесина в виде стружек или опилок используется как наполнитель совместно с полимерным (в случае ДСП) или минеральным связующим.

Древесноволокнистые плиты получают путем распушки размягченной горячей водой или паром древесины до состояния волокна. Волокнистая масса, суспензированная в воде, выливается на частую медную сетку для отфильтровывания воды и образует на ней ковер. В зависимости от вида производимой плиты этот ковер сушится или прессуется на горячем прессе. В первом случае получается легкая малопрочная *мягкая плита,* используемая для тепловой изоляции (подробнее см. § 17.3), во втором — тонколистовой прочный материал с гладкой поверхностью — *твердые* ДВП или *оргалит,* используемый для обшивки стен, потолков, устройства полов и т. п. Плотность твердых ДВП плит 800...1000 кг/м^3. Размеры ДВП: толщина 2,5...6 мм; длина 6,0...1,2 м; ширина 2,0...0,6 м.

Сверхтвердые ДВП (плотностью 1100...1200 кг/м^3), обладающие повышенной водостойкостью, получают при добавлении в волокнистую массу синтетических смол. Такие плиты, окрашенные с поверхности или покрытые декоративными полимерными пленками (ламинированные), используют для помещений с повышенной влажностью.

3.7. ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ И ВОЗГОРАНИЯ

Склонность древесины к гниению и возгоранию делает деревянные конструкции недолговечными и ненадежными. Поэтому принимаются меры по снижению горючести и повышению биостойкости древесины.

Защита от гниения. Как уже указывалось в § 3.3, гниение древесины происходит в тех случаях, когда на ней начинают развиваться грибы, использующие древесину как питательную среду. Для их развития необходимы определенные условия: влажность древесины не менее 18...20 %; свободный доступ кислорода; температура + 5...+ 40° С.

Если какое-либо условие не выполняется, гниения древесины не происходит. Наиболее радикальный и реальный с конструктивной точки зрения путь защиты древесины от гниения — *сухой режим эксплуатации* (влажность древесины должна быть не более 15 %).

Если этот путь невозможен, то можно сделать древесину ядовитой для грибов. Последний прием называют *антисептированием* (от греч. *Septikos* — вызывающий гниение). Этот путь защиты древесины использовался с давних времен. Например, древесину обжигали до образования на поверхности слоя древесного угля. Более эффективна пропитка древесины дегтем, ароматические компоненты которого (фенолы, крезол и др.) обеспечивают его антисептическое действие (о дегте подробнее см. § 9.2). Кроме того, такая обработка придает древесине гидрофобность. Но при этом древесина приобретает темно-коричневую окраску и характерный дегтярный запах.

Для антисептирования деревянных конструкций, с которыми человек находится в непосредственном контакте, используют водорастворимые антисептики — соли фтористоводородной и кремнефтористых кислот (NaF; Na_2SiF_6) и другие ядовитые для грибов соединения (хлорид цинка, пентахлорфенол). Эти антисептики не имеют цвета и запаха, а пропитка ими не препятствует склейке и окраске древесины.

Защита от возгорания. Древесина относится к сильногорючим и легковоспламеняемым материалам. Возгорание древесины при контакте с открытым огнем происходит при температуре 260...290° С, а при нагреве выше 350° С газы, выделяющиеся из древесины, способны самовозгораться. Для предупреждения возгорания древесины применяют специальные меры конструктивного характера, сводящие к ми-

нимуму вероятность нагрева древесины и ее контакта с огнем. Другой путь защиты древесины — снижение возгораемости самой древесины.

Снижение возгораемости древесины вплоть до перевода ее в группу трудносгораемых можно достичь двумя путями: покрытием древесины огнезащитными составами; пропиткой древесины *антипиренами* (от греч. *pyr* — огонь).

Огнезащитные покрытия могут быть в виде обмазок, красок и лаков. Обмазки состоят из неорганических связующих (глина, известь, гипс), наполнителей (слюда, асбест и т. п.) и антипиренов. Обмазки наносят слоем 2—3 мм на деревянные конструкции, к которым не предъявляются декоративные требования. Огнезащитные краски образуют более декоративные покрытия. Огнезащитная функция заключается в образовании оплавленных стекловидных пленок, предотвращающих доступ кислорода к древесине и защищающих ее от нагрева. Огнезащитные лаки используются в тех случаях, когда необходимо сохранить видимой природную текстуру дерева. При контакте с огнем лаковая пленка вспучивается (наподобие «воздушной кукурузы») и образует теплоизолирующее трудносгораемое покрытие на поверхности древесины.

Огнезащитные пропитки — растворы солей и некоторых других веществ — антипиренов, которыми пропитывают древесину.

При нагреве до температуры возгорания древесины антипирены действуют по следующим схемам:

- разлагаются с выделением газов, не поддерживающих горение (CO_2, NH_3 и др.);
- плавятся с образованием газонепроницаемой стеклообразной пленки;
- вспучиваются, а затем обугливаются, образуя теплоизолирующее покрытие.

Пока протекают эти процессы, древесина не загорается.

Наиболее распространенные антипирены: фосфат и сульфат аммония, бура ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), поташ (K_2CO_3), борная кислота (H_3BO_2). В последнее время в качестве антипиренов предложены элементорганические соединения, содержащие галогены и фосфор (например, трихлорэтилфосфат).

Так как технология пропитки антисептиками и антипиренами одинаковая, то часто проводят комплексную обработку древесины против гниения и возгорания. Для этого используется, например, водный раствор, содержащий 15 % антипиренов (диаммоний фосфата 7,5 %, сернокислого аммония — 7,5 %) и 2 % антисептика — фтористого натрия.

Пропитка древесины может быть поверхностная или глубокая. Проводится она до окраски деревянных конструкций или столярных изделий.

Поверхностная пропитка производится путем 2—3-кратной обработки деревянных элементов концентрированными растворами с помощью кисти или распылителя. Ее производят обычно в построечных условиях на готовых конструкциях. Недостаток такой обработки — возможность вымывания пропитывающего состава и появления высолов на конструкции. Механическая обработка (острожка, шлифование) после пропитки не допускается, так как при этом снимается пропитанный слой древесины.

Глубокая пропитка обеспечивает проникновение антисептиков и антипиренов в глубину древесины, что повышает надежность пропитки. Ее производят в заводских условиях; при этом пропитывают обычно подкрашенным раствором. Используют два метода глубокой пропитки.

• *Метод горяче-холодных ванн*: обрабатываемую древесину сначала помещают в горячий раствор. В нем из древесины выходит воздух и пары воды. Затем древесину перемещают в холодный раствор; в порах древесины при этом образуется разряжение и туда активно засасывается раствор.

• *Автоклавно-диффузионный метод:* древесину помещают в автоклав (толстостенную герметически закрывающуюся емкость), в котором создают разряжение 0,06...0,08 МПа. Затем туда подают пропиточный состав с температурой не ниже 70° С и постепенно поднимают давление.

Лабораторная работа № 3
Физико-механические свойства древесины

Цель: определить влажность, плотность и прочность древесины.

Материалы: малые чистые образцы-призмы из испытуемой древесины размером 2 х 2 х 4 см и 2 х 2 х 6 см по 3 шт.

Оборудование: штангенциркуль, весы лабораторные, психрометр и психрометрическая таблица, номограмма равновесной влажности, пресс гидравлический с максимальным усилием 50...10 кН, металлический брусок шириной 20 мм и длиной 40...60 мм.

Ход работы

I. Определение равновесной влажности древесины

Показания психрометра:
Температура сухого термометра_____° С
Температура влажного термометра_____° С
Разность температур_____° С
Влажность воздуха по психрометрической таблице φ =_____ %.

Равновесная влажность древесины, соответствующая температуре влажности воздуха W_p =_____ %.

II. Определение средней плотности древесины

Размеры образца, см: a = _____; b = _____; h = _____ .
Объем образца V_e =_____ $см^3$.
Масса образца m =_____ г.
Средняя плотность образца древесины при влажности W_p
$\rho^W_m = m/V_e$ = _____ $г/см^3$ =_____ $кг/м^3$.
Средняя плотность образца при стандартной 12 %-ной влажности $\rho_m = \rho^W_m + 2{,}5(12 - W_p)$ =_____ $кг/м^3$.
Среднее значение плотности испытуемой древесины при стандартной влажности рассчитывают как среднее арифметическое испытаний трех образцов.

III. Определение прочности древесины

Прочность на сжатие вдоль волокон. Испытания проводят на образцах в виде прямоугольных призм сечением 20 х 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Площадь поперечного сечения образца A ($см^2$) вычисляют, измеряя его размеры с погрешностью 0,1 мм.

Образец помещают строго на центр плиты пресса и медленно нагружают образец, фиксируя разрушающую нагрузку F (кН).

Предел прочности образца при сжатии вдоль волокон (МПа) при влажности W_p определяют по формуле

$$R^W_{сж} = (F/A)10.$$

Предел прочности испытуемой древесины при сжатии вдоль волокон вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

Для пересчета предела прочности на стандартную влажность (12 %) используют формулу

$$R^{12}_{сж} = R^W_{сж}[1 + \alpha(W - 12)],$$

где W — влажность древесины в момент испытаний, %; $\alpha = 0{,}04$ — поправочный коэффициент.

Прочность на сжатие поперек волокон. Испытания проводят на образцах в виде прямоугольных призм с основанием 20 х 20 мм и длиной вдоль волокон 60 мм. Образец укладывается на центр плиты пресса.

Усилие на образец передается через металлическую накладку, устанавливаемую крестообразно на образец. Ширина рабочей площадки накладки, вдавливаемой в древесину — 20 мм. Из-за того, что ребра накладки закруглены ($R = 2$ мм) расчетная ширина принимается 18 мм. Таким образом, площадь рабочей поверхности при испытании $A = (1{,}8x\ x\ b)$ см^2.

За разрушающее усилие $F_{усл}$ (кН) принимают усилие, при котором накладка входит в образец на 2 ...4 мм, а на торцах образца появляются первые трещины. По найденному $F_{усл}$ рассчитывают условный предел прочности образца при смятии поперек волокон $R^{W}_{см}$ (МПа) по формуле

$$R^{W}_{см} = (F_{усл}/A)10,$$

где b — ширина образца, см.

Условный предел прочности древесины при смятии вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытания трех образцов.

Для пересчета предела прочности на стандартную влажность (12 %) используют формулу

$$R^{12}_{см} = R^{W}_{см}[1 + \alpha(W - 12)],$$

где α — поправочный коэффициент на влажность, равный для всех пород 0,035; W — влажность древесины в момент испытаний, %.

Контрольные вопросы

1. Каков химический состав древесины? 2. Почему древесина считается анизотропным материалом? 3. Что такое равновесная влажность древесины? 4. Какие пороки могут быть у древесины? 5. Почему древесина коробится при изменении влажности? 6. Сравните древесину и кирпич по плотности. 7. Как предохранить древесину от гниения? 8. Как защитить древесину от возгорания? 9. Что такое клееные деревянные конструкции, какие у них преимущества перед обычными пиломатериалами? 10. Какие материалы можно получить из отходов древесины?

ГЛАВА 4. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Природными каменными материалами называют материалы и изделия, получаемые механической обработкой (дроблением, раскалыванием, распиливанием и т. п.) горных пород.

Природный камень наряду с древесиной был первым строительным материалом, используемым человеком. Из глубины веков пришли к нам памятники архитектуры, возведенные из природного камня: одно

и древнейших культовых сооружений Стоунхендж в Англии, пирамиды в Египте, храмы Древней Греции. Средневековые замки и храмы, построенные из природного камня, можно найти в каждой стране. И в наши дни практически все монументальные постройки выполняются с использованием природного камня.

Природный камень, применяемый непосредственно как строительный материал, привлекает своей *декоративностью* и *долговечностью. Облицовка зданий и сооружений природным камнем*, а также использование камня в интерьере зданий придает им не только архитектурную выразительность, но и *респектабельность* и *престижность*. Высокая стойкость природных каменных материалов делает их незаменимыми для гидротехнических сооружений, дорожного и мостового строительства и во многих других случаях, когда необходимо обеспечить высокую долговечность сооружения.

Пористые камни, такие, как известняк-ракушечник или вулканический туф, очень эффективны как местный материал для возведения стен, вместо кирпича и других искусственных стеновых материалов, так как энергозатраты на их добычу несравнимо меньше, чем на обжиг кирпича или изготовление бетонных панелей и блоков (с учетом производства цемента и арматуры).

Огромное количество природных каменных материалов используется в качестве сырья для получения большинства строительных материалов: керамики, стекла, минеральных вяжущих веществ. Миллионы кубометров песка, щебня и гравия расходуются на получение бетонов и растворов.

Природные каменные материалы занимают одно из основных мест в ряду строительных материалов. Общая доля затрат в строительстве на эти материалы, называемые «нерудными материалами», превышает 20 %.

Знакомство с природными каменными материалами целесообразно начинать с изучения свойств основных горных пород и минералов.

Горной породой называют крупное скопление, сложенное из одного или нескольких минералов (т. е. моно- или полиминеральные породы) и характеризующееся достаточно постоянным составом, строением и свойствами. Процентное содержание минералов в горной породе определяет ее минеральный состав. Форма, размер и взаимное расположение минералов, наличие пор и т. п. обусловливают ее структуру. Минеральный состав и структура определяют свойства горной породы.

Среди горных пород выделяется специфическая группа пород — *руды*. Они содержат в своем составе металлы в таких соединениях и концентрациях, при которых возможно промышленное извлечение этих металлов. В данном учебнике они не рассматриваются.

4.2. ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Минерал (от лат. *minera* — руда) — природное тело, однородное по химическому составу, строению и свойствам, образующееся в результате физико-химических процессов на поверхности и в глубинах земли. Минералы в подавляющем большинстве — твердые тела: кристаллические и аморфные.

В природе найдено более 3 тыс. минералов, но лишь немногие из них образуют крупные скопления; такие минералы называют породообразующими.

Каждый минерал обладает комплексом только ему присущих свойств и признаков. К ним относятся: химический состав и строение, плотность, твердость, спайность, оптические свойства (блеск, цвет, светопреломление и др.). По этим признакам идентифицируют минералы.

Твердость — наиболее характерное свойство минералов. Существует много методов определения твердости (см. § 2.5), простейший из них — метод оценки относительной твердости по десятибалльной шкале (табл. 4.1), предложенной немецким геологом Ф. Моосом (1811 г.).

Таблица 4.1. **Шкала твердости минералов**

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

Характерным признаком минералов, имеющих кристаллическое строение, является *спайность* — способность минерала раскалываться по строго определенным плоскостям. Так, слюда имеет весьма совершенную спайность в одной плоскости; совершенная спайность у кальцита — он практически всегда раскалывается по трем плоскостям, образуя косые параллелепипеды. Спайность отсутствует, например, у кварца, кристаллы которого при ударе раскалываются на неправильные куски, имеющие раковистый излом.

Спайность — *свойство с точки зрения строителя отрицательное,* так как уменьшает стойкость и прочность соответствующей горной породы и ухудшает ее обрабатываемость (шлифовку, полировку).

Ниже приводится краткая характеристика основных породообразующих минералов.

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

Кварц — наиболее распространенная модификация кремнезема, являющаяся существенной составной частью многих горных пород (гранита, кварцита, песка и др.). Плотность кварца — 2650 кг/м^3, твердость — 7, стойкость к выветриванию и химическая стойкость — очень высокая. Прочность при сжатии кристаллов кварца высокая — 1000...2000 МПа. Плавится кварц при 1710° С; при быстром охлаждении расплава образуется кварцевое стекло. При температуре 573° С кварц переходит из β-модификации в α-модификацию с увеличением в объеме на 0,82 %. Это может вызвать растрескивание кварцесодержащих пород при нагреве их выше этой температуры. Обычно цвет кварца молочно-белый; крупные прозрачные кристаллы кварца называют *горным хрусталем,* окрашенные в лиловый цвет — *аметистом.*

Халцедон — скрытокристаллическая разновидность кварца, содержащая до 1,5 % воды и примеси оксидов железа и алюминия.

Опал — гидрат оксида кремния $SiO_2 \cdot nH_2O$ (содержание воды 2...14 %); в опале могут быть примеси оксидов магния, алюминия, железа и др. Встречается в породах органогенного происхождения: диатомитах, трепеле и др.

Полевые шпаты (от нем. *Spalten* — раскалываться) — группа алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов общей формулой $Me \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$ (где Me — калий, натрий или кальций). Полевые шпаты — самые распространенные минералы, составляющие более 50 % от массы изверженных пород (гранитов, сиенитов, габбро и др.). Главнейшими разновидностями полевых шпатов являются:

ортоклаз (прямораскалывающийся) $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$;

плагиоклазы (косораскалывающиеся) непрерывного изоморфного ряда от *альбита* $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ до *анортита* $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Полевые шпаты — довольно твердые минералы: твердость — 6...6,5. Спайность у них проявляется в двух плоскостях. Плотность в зависимости от состава — 2500...2800 кг/м^3. Температура плавления — 1200...1500° С. Прочность и стойкость несколько ниже, чем у кварца ($R_{сж}$ до 200 МПа).

Цвет полевых шпатов зависит от примесей и чаще всего бывает от белого до темно-серого и от светло-розового до темно-красного. Особым декоративным эффектом отличается относящийся к группе полевых шпатов *лабрадор,* обладающий свойством ирризации (от греч. *iris* — радужный). Он образует яркие радужные сине-зеленые отсветы из глубины кристаллов.

При выветривании полевых шпатов образуются глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит и др.) и соли натрия, калия и кальция, обогащающие воду морей ионами Na^+, K^+, Ca^{+2}.

Железистомагнезиальные силикаты — темноокрашенные минералы, входящие в состав основных и ультраосновных изверженных пород (габбро, базальты, диабазы и др.). Наиболее распространенные минералы этой группы — *пироксены, амфиболы, роговая обманка* и *оливин.*

Средняя плотность у этих минералов больше, чем у кварца и полевых шпатов, за счет присутствия железа — 3200...3800 кг/м^3; твердость — 5,5...6,5. Отличительная черта железистомагнезиальных силикатов — высокая ударная вязкость, благодаря чему породы, в которых присутствуют эти минералы, имеют меньшую хрупкость и повышенную износостойкость. Цвет минералов этой группы — от темно-зеленого до черного; он зависит от содержания железа в их составе. Все минералы этой группы, за исключением оливина, стойки к выветриванию.

Слюды — группа минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты слоистой структуры и обладающих весьма совершенной спайностью в одной плоскости, т. е. легко расщепляющиеся на тончайшие пластинки. Твердость слюд не высока — 2,5...3. Слюда — широко распространенный минерал изверженных и осадочных пород. Общее количество слюды составляет несколько процентов от массы всей земной коры, но промышленные месторождения слюды с крупными кристаллами (10 см^2 и более) встречаются редко. Среди слюд наибольшее распространение имеют мусковит и биотит.

Мусковит — прозрачная калиевая слюда плотностью 2750...3000 кг/м^3. Вплоть до XVIII в., т. е. до начала промышленного выпуска стекла, мусковит применяли для устройства окон, и в Европе его называли «*vitrum Moscovitum*» — стекло из Московии. В настоящее время мусковит применяют в качестве электроизоляционного высокотемпературного материала, защитной (бронирующей) посыпки для рубероида, а также добавляют в составы огнеупорных красок и декоративных растворов.

Биотит — темная железистомагнезиальная слюда; плотность — 3000...3300 кг/м^3. Для строителей представляет интерес ее разновидность — *вермикулит* с молекулярной межслоевой водой. Благодаря этому вермикулит при нагревании до 900...1000° С вспучивается, как гармошка, увеличиваясь в объеме в 15...20 раз. Вспученный вермикулит применяют для изготовления тепло- и звукоизоляционных материалов.

Асбест — группа минералов, водных силикатов магния и железа, кристаллы которых представляют собой тончайшие волокна, легко поддающиеся распушке (отсюда народное название асбеста — «горный лен»). В России находятся крупнейшие в мире месторождения наиболее ценного вида асбеста — *хризотил-асбеста* $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, ис-

...ьзуемого при производстве асбестоцементных изделий (подробнее ... § 14.5).

Глинистые минералы — группа водных силикатов алюминия. Эти минералы составляют основную массу глин. Образуются глинистые минералы в результате выветривания полевых шпатов в виде очень ... их частиц размером не более 0,01 мм, которые, в свою очередь, ... ставляют агрегаты мельчайших кристаллов. Глинистые минералы ... офильны и при увлажнении образуют пластичное тело (подробнее ... 5.2). Среди глинистых минералов чаще всего встречаются каолинит и монтмориллонит.

Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ — очень мягкий (твердость 1) минерал белого цвета. Используется при производстве тонкой керамики, для получения бумаги и в качестве наполнителя в полимерных материалах.

Монтмориллонит — водный алюмосиликат переменного состава. Размер его чешуйчатых кристаллов еще меньше, чем у каолинита, благодаря чему он обладает высокой адсорбционной способностью и очень пластичен в увлажненном состоянии.

Карбонаты — группа минералов, представляющих собой соли угольной кислоты. Встречаются в основном в осадочных породах. Стойкость минералов невысокая. Основные представители минералов группы карбонатов — кальцит, магнезит и доломит.

Кальцит $CaCO_3$ — один из наиболее распространенных минералов поверхностного слоя земной коры. Кальцит хрупок, обладает совершенной спайностью по трем плоскостям; при раскалывании всегда образует кристаллы в виде косых параллелепипедов. Кальцит без примесей — прозрачный. Его плотность составляет 2700...2750 кг/м^3, твердость — 3. Он легко разлагается кислотами, с бурным выделением углекислого газа, растворяется в воде насыщенной CO_2. При нагревании выше 850° С кальцит разлагается на CaO и CO_2. Породы, сложенные из кальцита (мел, известняк, мрамор), характеризуются низкой химической и атмосферостойкостью.

Магнезит $MgCO_3$ по свойствам близок к кальциту, но встречается значительно реже. Плотность — около 3000 кг/м^3, твердость — 3,5...4,5. В отличие от кальцита растворяется в разбавленных кислотах лишь при нагревании. Образует породу того же названия.

Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ — довольно распространенный минерал, по свойствам занимающий промежуточное положение между кальцитом и магнезитом. Плотность — 2800...2900 кг/м^3, твердость — 3,5...4. В кислотах растворяется без «вскипания». Образует породу того же названия.

Сульфаты — группа минералов, представляющих собой соли серной кислоты. В строительстве находят применение гипс, ангидрит и в меньшей степени барит.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — очень мягкий минерал. В чистом виде прозрачный, но обычно окрашен примесями в светло-серый, желтоватый или розоватый цвет, а его плотность — 2320 кг/м^3, твердость — 2. Гипс заметно растворим в воде (2,4 г/л при 20° С). В природе встречается как самостоятельная порода и как цементирующее вещество в природных конгломератах.

Ангидрит $CaSO_4$ — безводная разновидность гипса — существует в нескольких кристаллических формах. Природная форма — β-$CaSO_4$ — *нерастворимый ангидрит*. Плотность — 2980 кг/м^3, твердость — 3...3,5. Цвет светло-серый, серо-голубой; за счет полупрозрачности, дает эффект свечения изнутри.

Барит $BaSO_4$ — бесцветные или белые кристаллы; твердость — 3...3,5; плотность — 4300...4700 кг/м^3. Его применяют в бетонах и растворах для защиты от ионизирующего излучения.

4.2. ГЛАВНЕЙШИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Для того чтобы легче разобраться в многообразии горных пород и выявить причины в различии их свойств, целесообразно воспользоваться классификацией горных пород, в основу которой положено их происхождение (генезис). Принципы такой классификации были предложены еще М.В. Ломоносовым, а в современном виде она была доработана российскими учеными Ф.Р. Левинсоном-Лессингом, А.П. Карпинским и др.

Генетическая классификация горных пород учитывает условия их образования, которые предопределяют строение и, следовательно, свойства пород. В соответствии с этой классификацией выделены (рис. 4.1):

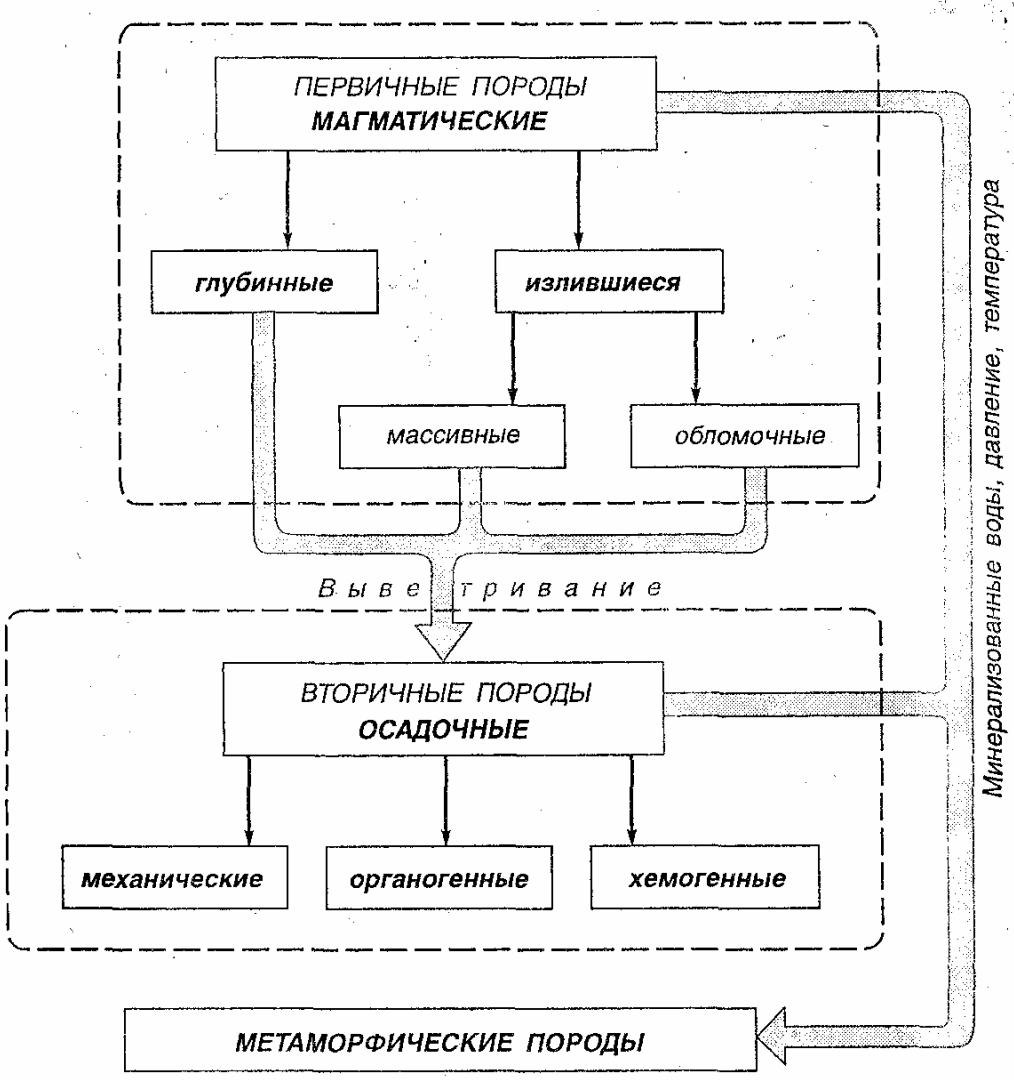
магматические — первичные породы, образующиеся при остывании магмы;

осадочные — вторичные породы, образовавшиеся в результате выветривания магматических пород;

метаморфические — осадочные и магматические породы, изменившие свое строение и свойства в результате длительных физико-химических процессов, протекающих под воздействием высоких давлений, температур и минерализованных вод, во время нахождения их в земной коре.

Магматические породы

Магма представляет собой высокотемпературный силикатный расплав, который в зависимости от режима охлаждения может образовать:



Р и с . 4.1. Генетическая классификация горных пород

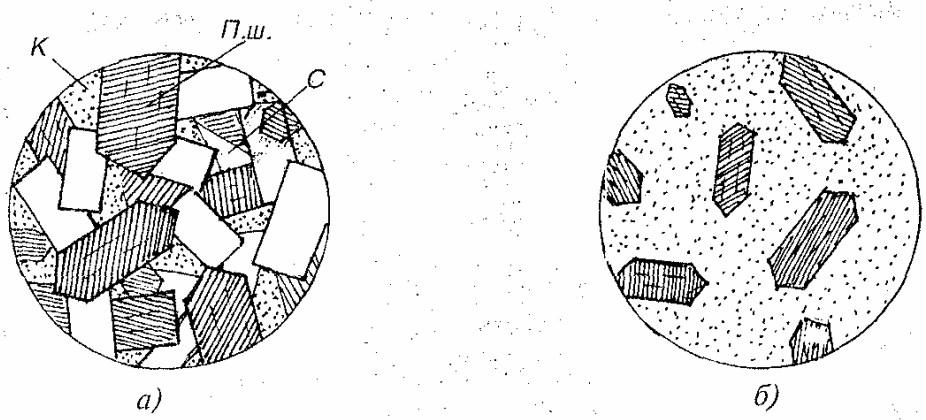
• плотные кристаллические породы, если остывание магмы происходило медленно и под большим давлением в глубине земной коры (*глубинные магматические породы*);

• аморфные (стеклообразные) или слабозакристаллизованные, а при наличии газа в магме — пористые породы (*излившиеся магматические породы*).

Минеральный состав пород зависит от химического состава магмы. Различают магмы *кислые* (содержание $SiO_2 > 65$ %), *средние* (содержание $SiO_2 = 50...65$ %) и *основные* (содержание $SiO_2 < 50$ %).

В горных породах, образовавшихся из кислой магмы, обязательно присутствует кварц. Если порода образовалась из основной магмы, в ней преобладают темноокрашенные железистомагнезиальные алюмосиликаты. Практически во всех изверженных кристаллических породах основная доля приходится на полевые шпаты.

Ниже рассмотрены главнейшие представители изверженных пород.



Р и с . 4.2. Типы структур горных пород:
а — зернисто-кристаллическая гранитная; *б* — порфировая; К — кварц; П.ш. — полевой шпат; *С* — слюда

Глубинные породы характеризуются кристаллической структурой, отсутствием пор, высокой прочностью, твердостью и морозостойкостью. В полированном виде глубинные породы очень декоративны. К ним относятся: граниты, сиениты, габбро и диориты.

Гранит — зернисто-кристаллическая порода (рис. 4.2, *а*), сложенная из трех минералов: кварца (20...40 %), полевых шпатов (40...70 %) и слюды (5...20 %); иногда слюду заменяет роговая обманка.

Строительные свойства гранитов (в среднем) следующие: плотность — 2600...2700 кг/м^3; предел прочности при сжатии — 100...250 МПа, а при растяжении, как и у других каменных материалов, в 30...40 раз ниже; вследствие малой пористости и низкого водопоглощения (< 1 %) граниты очень морозостойки (F > 1000); химически стойкость их также высока; граниты — твердые породы (твердость более 6). Цвет гранитов определяется цветом полевого шпата и бывает чаще всего серым, розовым и темно-красным. Граниты хорошо полируются, приобретая декоративный вид.

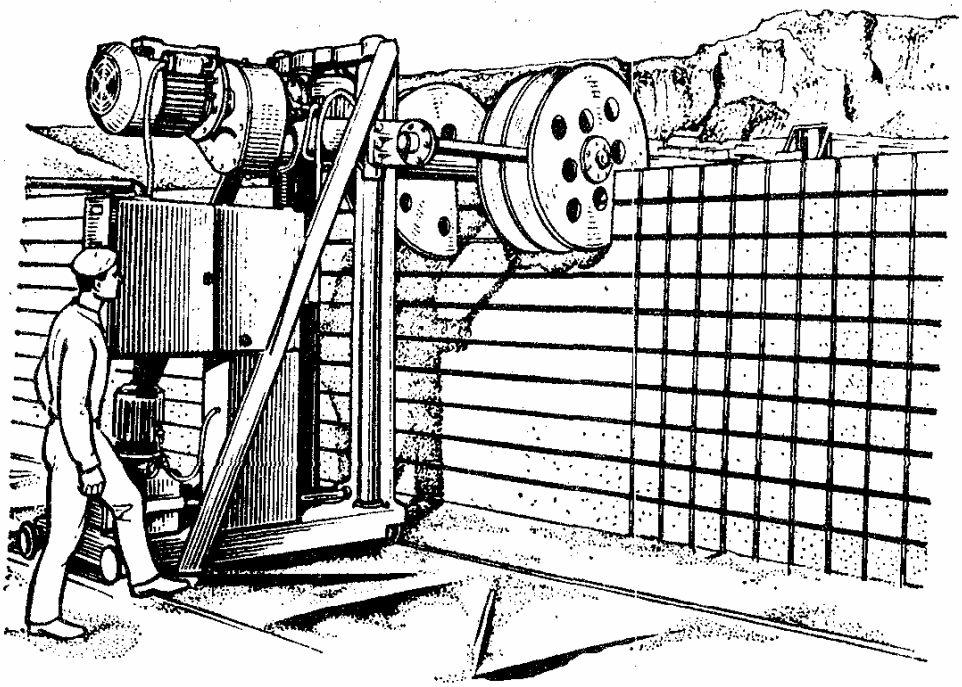
Граниты широко применяют для облицовки зданий и инженерных сооружений (набережные, мосты и т. п.), устройства полов общественных зданий и монументальной скульптуры.

Сиениты — аналоги гранита, но без кварца (образовались из средних магм); свойства и области применения такие же, как у гранита.

Диориты — темно-серая мелкокристаллическая порода, состоящая в основном из полевых шпатов (около 75 %) и темноокрашенных минералов. Плотность — 2800...3000 кг/м^3. Отличается повышенной ударной вязкостью. Применяют для облицовки и в дорожном строительстве (брусчатка и т. п.).

Габбро — крупнокристаллическая порода, образовавшаяся из основной магмы; состоит из полевых шпатов (около 50 %) и темноокрашенных минералов (авгита, роговой обманки и т. п.). Плотность — 2900...3300 кг/м^3; предел прочности при сжатии — 200...350 МПа. Как

нит, габбро характеризуется высокой морозостойкостью и стой-
ко против выветривания.
Цвет – темно-серый, темно-зеленый до черного. Габбро хорошо
рируется и имеет красивую текстуру. Одна из разновидностей габ-
лабрадорит — очень декоративна благодаря содержащемуся в
ртирующему полевому шпату (см. § 4.2).
Излившиеся плотные породы имеют слабозакристаллизованную или
нообразную структуру. Для ряда излившихся пород характерна
ровая структура (рис. 4.2, *б*), когда в общей аморфной массе
жены кристаллы какого-либо минерала. Так, излившийся аналог
нита – *кварцевый порфир*, имеет вкрапления кристаллов кварца,
ог диорита — *порфирит* — имеет вкрапления полевых шпатов. Не-
рые виды порфиров очень декоративны.
Базальт — аналог габбро — самая распространенная излившаяся
ка, в зависимости от условий образования имеет стекловатую или
нокристаллическую структуру. Цвет базальта — темно-серый до
ного. По физико-механическим показателям базальт аналогичен
ро, а по прочности даже превосходит его ($R_{сж}$ достигает 500 МПа).
льты очень твердые, но хрупкие породы, что затрудняет их обра-
ку.
Плотные излившиеся породы менее декоративны и менее стойки
ветриванию, чем их глубинные аналоги. Применяют их, главным
ом, как щебень для бетона, отсыпки железнодорожных путей и
Базальт также используют в качестве сырья для каменного литья
лучения высококачественной минеральной ваты.
Излившиеся пористые породы образовались непосредственно при
ржении вулканов. Первичными продуктами извержения являются
канические пеплы, пески и пемза; с течением времени они могли
ементироваться, образуя туфы.
Вулканические пепел и песок — порошкообразные частицы, имею-
стеклообразное строение, благодаря чему при добавлении извести
цемента, а иногда и самостоятельно они способны к твердению.
пользуются как активная добавка к вяжущим (впервые были ис-
ьзованы в Древнем Риме — пепел Везувия — для придания извести
достойкости).
Пемза — очень пористая легкая порода в виде кусков размером
100 мм. Плотность пемзы в куске — 500...1000 кг/м^3. Большая
истость (до 80 %) обусловливает низкую теплопроводность
4...0,23 Вт/(м · К)). Прочность при сжатии пемзы не велика —
МПа, но этого достаточно для получения на базе пемзы легких
тонов. Кроме того, пемза используется в молотом виде как добавка
цементам и в качестве абразивного порошка.
Вулканические туфы — порода, образовавшаяся из вулканических
лов, которые омонолитились в результате спекания массы, сохра-
нившей высокую температуру, или в результате природной цементации. Вулканические туфы — пористая порода (П = 30...60 %),



Р и с . 4.3. Поточная вырезка стеновых камней машинами с дисковыми пилами

имеющая низкую плотность, равную 800...1800 кг/м^3. Поры у туфа в большинстве своем замкнутые, что обусловливает его высокую морозостойкость. Прочность при сжатии зависит от пористости и составляет 2...20 МПа. Теплопроводность у туфа в 1,5...2 раза ниже, чем у кирпича. Цвет туфов разнообразный, но не яркий, а глухой; основные оттенки: красно-оранжевые и до коричневато-лиловых. Крупнейшие месторождения туфов имеются в Армении, возникшие в результате деятельности ныне потухшего вулкана Арарат.

Туфы используют как облицовочный материал, а в местах крупных месторождений — как эффективный материал для кладки стен. Благодаря низкой твердости туфа стеновые камни из него вырезают механизированным способом прямо в карьере (рис. 4.3). В тонкомолотом виде туф используют как добавку к цементам.

Туфовая лава — разновидность вулканических туфов, образовавшаяся при попадании пепла и пемзы в огненно-жидкую лаву. По структуре, свойствам и областям применения туфовая лава аналогична вулканическому туфу, но благодаря большей доле замкнутых пор более долговечна.

Осадочные породы

Осадочные породы в зависимости от происхождения принято делить на:

• *механические осадки*, при образовании которых главную роль играли физико-механические процессы (воздействие воды, мороза,

нагрева и охлаждения и т. п.); при этом, как правило, не менялся минеральный и химический состав исходных пород;

• *органогенные осадки*, которые образовались из остатков (скелетной части) живых организмов, как правило, морской фауны (ракушки, кораллы и т. п.);

• *хемогенные осадки*, образовавшиеся в результате растворения первичных пород и последующей кристаллизации из водных растворов.

Механические осадочные породы могут быть рыхлые (гравий, песок, глина) и сцементированные — те же рыхлые осадки, частицы которых склеены природным цементом (брекчии, конгломераты, песчаники). Рыхлые механические осадочные породы рассмотрены в последующих разделах книги: глины (§ 5.2; 8.2), песок (§ 10.2).

Необходимо подчеркнуть причины, по которым преобладающим минералом *песка* является кварц. При выветривании гранита кварц оказывается самым твердым (тв. 7) и химически стойким минералом, не подвергающимся разрушению, а разрушающим более слабые сопутствующие с ним минералы (полевой шпат, слюду и т. п.). Его зерна лишь слегка окатываются при перемещении ветром или водой.

Не менее распространенной, чем песок, рыхлой осадочной породой является глина, поскольку источником ее образования служат самые распространенные минералы изверженных пород — полевые шпаты (схему образования глин из полевых шпатов см. § 4.2).

Под действием минерализованных грунтовых вод и давления вышележащих горных пород рыхлые осадочные породы могут цементироваться, образуя так называемые сцементированные осадочные породы: песчаники, брекчии и конгломераты.

Песчаники состоят из зерен кварцевого песка, сцементированного природным цементом, например карбонатом кальция, водным кремнеземом, гипсом и т. п. Цементация происходит путем постепенного осаждения на зернах песка цементирующего вещества из воды (как накипь в чайнике). В зависимости от цементирующего вещества песчаники называют известковыми, кремнистыми и т. д. Цвет их зависит от цвета цементирующего вещества.

Наибольшее применение в строительстве получили достаточно водостойкие известковые и кремнистые песчаники. Известковые песчаники легче обрабатываются, кремнистые более прочные и стойкие.

Плотность песчаников — 2300...2500 кг/м^3, прочность — от 10 до 100 МПа. Песчаники использовались для возведения зданий с глубокой древности, так как добывать их значительно легче, чем магматические породы, а свойства их достаточно хорошие. Известно много памятников архитектуры: соборов и замков (например, Виндзорский замок — резиденция английских королей), построенных из песчаника. В настоящее время песчаники используют для фундаментов, подпорных сте-

нок, тротуаров, а особо стойкие — для облицовок; кроме того, из песчаников делают щебень для бетонов и дорожных покрытий.

Конломераты и брекчии — породы, состоящие из сцементированных крупных зерен гравия (*конгломераты*) или из остроугольных с шероховатой поверхностью зерен щебня (*брекчии*). Области их использования такие же, как у песчаников.

Органогенные осадочные породы в основном состоят из карбоната кальция $CaCO_3$ и реже из аморфного кремнезема SiO_2. Главнейшие породы в этой группе — известняки различного вида, используемые человеком для самых разных целей с глубокой древности.

Известняки плотные — широко распространенная на Земле горная порода, состоящая в основном из кальцита $CaCO_3$; кроме кальцита они содержат примеси магнезита, глины и кремнезема. Цвет известняков в зависимости от примесей: белый, светло-серый, серовато-кремовый или желтоватый.

Плотность известняков — 2000...2600 кг/м^3, прочность при сжатии у них сравнима с прочностью бетона и составляет 10...100 МПа. Твердость небольшая — 3...3,5, что позволяет легко добывать и обрабатывать известняк. Морозостойкость известняков существенно зависит от пористости, степени цементации, наличия примесей и нуждается в постоянном контроле. Абсолютно не стойки они к воздействию кислых сред.

Известняки — одна из самых важных горных пород для строителей. Они издавна использовались для возведения зданий и их облицовки (достаточно вспомнить слова «Москва белокаменная»), из известняков делались фундаменты. Самый распространенный щебень для бетонов и дорожных покрытий — известняковый, и, наконец, известняк — сырье для получения извести и цемента.

Мраморовидные известняки — переходные породы от плотных известняков к мраморам. Они имеют большую плотность (до 2700 кг/м^3) и прочность (60...150 МПа), чем обычный известняк.

Известняк-ракушечник — пористая порода, состоящая из раковин и панцирей моллюсков, сцементированных известковым цементом. Плотность ракушечника — 900...2000 кг/м^3, прочность при сжатии — 0,5...15 МПа. Он имеет низкую теплопроводность и легко поддается распиловке. Используют в виде камней и блоков как местный стеновой материал. Декоративные разновидности ракушечника применяют как облицовочный материал.

Мел — землистая горная порода, состоящая из мельчайших обломков раковин и скелетов морских микроорганизмов, представляет собой почти чистый кальцит $CaCO_3$. Используют при производстве извести, цемента, стекла и благодаря высокой дисперсности для приготовления красок и шпатлевок.

Диатомиты и трепелы — рыхлые землистые породы белого, серого или желтоватого цвета, в основном состоящие из аморфного кремнезема

$SiO_2 \cdot nH_2O$; по внешнему виду и физическим свойствам похожи на мел. Они образовались из остатков мельчайших водорослей, а также кремневых скелетов морской микрофауны (диатомий, радиолярий и т. п.) с примесью глины и ила. Со временем под давлением вышележащих слоев горных пород диатомиты и трепелы уплотняются и превращаются в плотную, прочную и трудно размокающую в воде породу — *опоку*.

В диатомите и трепеле до 75...95 % активного кремнезема, поэтому их применяют как гидравлическую добавку к вяжущим. Их также используют при производстве теплоизоляционных материалов.

Хемогенные осадочные породы образовались, главным образом, при испарении вод, содержащих минеральные соли. Для строителей интерес представляют сульфаты и карбонаты кальция и магния: гипс, ангидрит, известковый туф, магнезит и доломит.

Известковый туф образовался в результате выпадения $CaCO_3$ из источников подземных углекислых вод. Туфы пористы и имеют ноздреватое строение. Они легко поддаются распиловке и используются для внутренней облицовки помещений, улучшая их акустические свойства. В этом отношении приобрела популярность разновидность туфа — *травертин*.

Магнезит — порода, состоящая в основном из минерала магнезита $MgCO_3$. Используют для получения огнеупорных материалов и магнезиальных вяжущих (см. § 8.4).

Доломит — порода, состоящая в основном из минерала доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, с примесью глины, оксидов железа и др. По структуре и физическим свойствам доломит близок к плотным известнякам: $\rho_m = 2200...2800$ кг/м^3; $R_{сж} = 50...200$ МПа. Поэтому его применяют в качестве строительного камня и щебня для бетона.

Гипс — горная порода обычно белого или серого цвета, состоящая из минерала того же названия $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. В строительстве используют как сырье для получения гипсовых вяжущих. Благодаря низкой твердости применяют для изготовления мелких поделок по камню.

Ангидрит — плотная горная порода, состоящая преимущественно из минерала ангидрита $CaSO_4$. Цвет породы белый с голубым или серым оттенком. Используют для получения вяжущих и для внутренней отделки и скульптурных работ. На открытом воздухе быстро выветривается, переходя в гипс.

Метаморфические породы

Горные породы, находящиеся в земной коре, со временем могут существенно изменить структуру и свойства, не меняя принципиально свой химический состав. Причина таких изменений — воздействие давления, повышенных температур и минерализованных вод. Метаморфизироваться могут как магматические, так и осадочные породы. Яркий пример метаморфизма — превращение массивной магматиче-

ской породы перидотита в слоистую породу серпентинит, имеющую в своем составе тонковолокнистый минерал — асбест. Среди метаморфических пород для строителя представляют интерес мрамор, кварцит, глинистый сланец и гнейс.

Мраморы — метаморфизированные известняки, состоящие из плотно сросшихся между собой кристаллов кальцита ($CaCO_3$), иногда с примесью доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$). Кристаллы в мраморе прочно связаны друг с другом без цементирующего вещества. Это произошло за счет огромного многостороннего давления на известняки в условиях повышенных температур. Мрамор имеет высокую плотность (2600...2800 кг/м^3) и прочность ($R_{сж}$ = 50...300 МПа); водопоглощение мрамора менее 1 %. При всем этом твердость мрамора не высока — 3...3,5, что облегчает его обработку.

Мраморы могут быть как чисто белого цвета, так и самых разнообразных цветов с характерным «мраморовидным» рисунком. Окраска мрамора объясняется проникновением в известняк в процессе метаморфизации минерализованных вод, из которых впоследствии кристаллизуются окрашивающие мрамор минералы — примеси: гематит, лимонит, хлорит и др. Отличает мрамор от известняков еще одно свойство: мраморы хорошо полируются.

Мраморы широко применяют для отделки зданий и общественных сооружений. Не рекомендуется использовать мрамор для полов с большой интенсивностью эксплуатации (он быстро изнашивается) и для наружной облицовки зданий. Последнее объясняется тем, что кальцит не стоек к действию влаги и кислотных оксидов (в том числе и CO_2), содержащихся в атмосфере городов. В этих условиях мрамор быстро теряет полировку и разрушается с поверхности.

Кварциты — метаморфизированные кремнистые песчаники, в которых кристаллы кварца непосредственно срослись между собой. Кварциты очень стойки к выветриванию, имеют высокую прочность ($R_{сж}$ до 400 МПа) и плотность (ρ_m = 2600...2700 кг/м^3). Из-за большой твердости (тв. 7) кварциты трудно обрабатываются.

Цвет кварцитов белый, красный, темно-вишневый. Применяют их в ответственных частях зданий и сооружений, для облицовки, а также в виде щебня для бетона и сырья для получения огнеупоров.

Гнейсы — слоистая порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации гранитов и других магматических пород при одноосном давлении. Поэтому гнейсы имеют слоистое (сланцеватое) строение, что облегчает их добычу и обработку, но снижает стойкость к выветриванию. Раскалываются гнейсы по слоям слюды.

Глинистый сланец образовался из глин в результате перекристаллизации в условиях одноосного давления и повышенных температур. Сланцы имеют темно-серый цвет и легко раскалываются на плоские плитки. Такие плитки, называемые шифером (от нем. *schiefer* — сланец), использовались в качестве долговечного кровельного материала.

4.4. ДОБЫЧА И ОБРАБОТКА ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Методы добычи и обработки природного камня зависят от вида конечной продукции (щебень, облицовочные плиты, стеновые камни и т. п.) и свойств разрабатываемой породы (в основном от ее твердости).

В камнеобрабатывающей промышленности принята следующая классификация горных пород:

- *твердые* — породы, в состав которых входят минералы с твердостью 6...7 (кварцит, гранит, габбро, лабрадорит и т. п.);
- *средние* — минералы этих пород имеют твердость не выше 5 (мрамор, плотные известняки, доломиты, некоторые виды туфа и т. п.);
- *мягкие* — сравнительно небольшая группа пород с твердостью 2...3 (гипс, ангидрит, известняк ракушечник, высокопористые туфы и т. п.).

Щебень и бутовый камень получают, разрабатывая горные породы взрывным методом. Образовавшиеся после взрыва обломки породы дробят до нужного размера и рассеивают по фракциям. Недопустимо производить разработку камня взрывным методом в карьере, где происходит добыча камня для последующего получения облицовочных изделий, так как в этом случае камень делается трещиноватым и непригодным для обработки.

Отделочные и стеновые изделия получают из камня, добываемого различными механизированными методами, не нарушающими структуру породы. Выбор метода добычи зависит, главным образом, от твердости разрабатываемой породы.

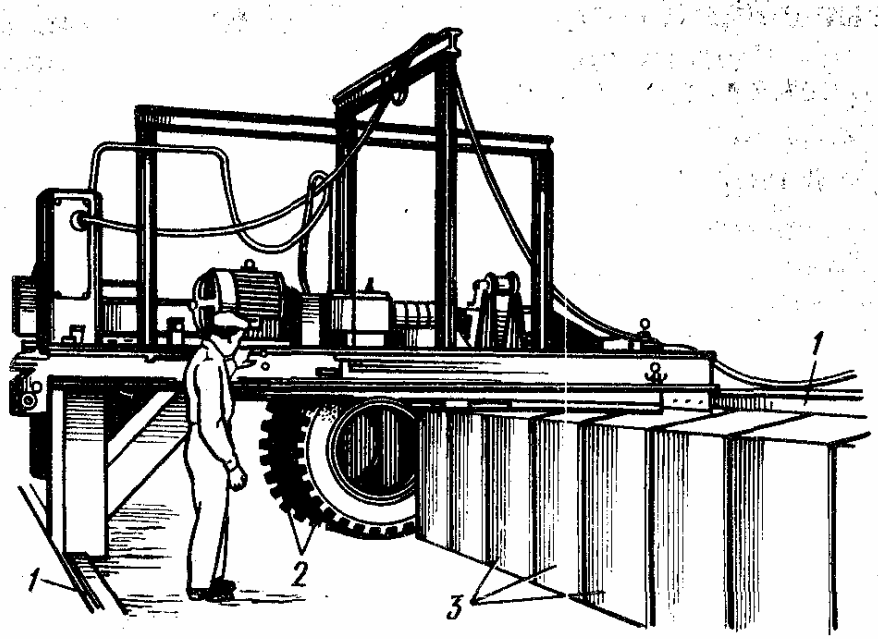
Средние и мягкие породы добывают в карьерах с помощью камнерезных машин, снабженных твердосплавными дисковыми, цепными или канатными пилами.

Вырезку мелкоштучных блоков из таких пород производят поточным методом. В этом случае по рельсовому пути, проложенному в карьере, движутся три дисковые камнерезные машины, производящие горизонтальные и вертикальные пропилы и пропилы, отделяющие камень от основного массива породы (см. рис. 4.3).

Дисковые пилы позволяют получить камни размером не более 35 % от диаметра диска, т. е. не более 50...70 см. Блоки большого размера целесообразно выпиливать машинами с рабочим органом в виде фрезы. Представленная на рис. 4.4 машина СМ-177 позволяет делать разрезы глубиной до 70 % от диаметра фрезы, что для стандартных фрез составляет около 1 м.

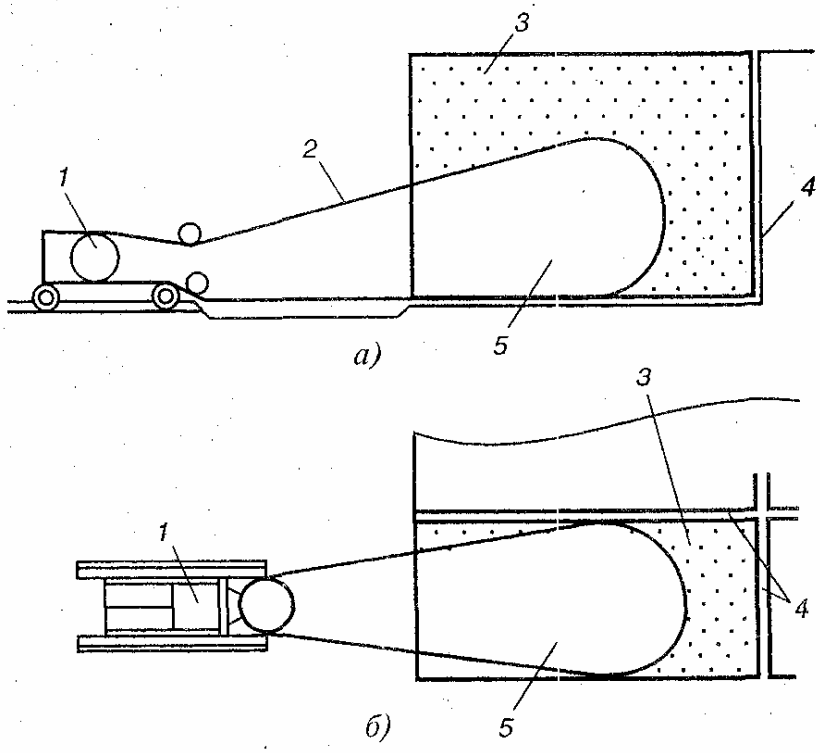
Кроме машин с дисковыми режущими органами применяют машины с цепными пилами, глубина пропила у которых достигает 1,5...2 м.

Для вырезки блоков из пород средней твердости могут применяться дисковые и цепные пилы, снабженные *алмазными* режущими насадками. Производительность таких машин в породах средней твердости в



Р и с . 4.4. Машина с кольцевыми фрезами для выпиливания крупных блоков из пород средней твердости:

1 — рельсовый путь; *2* — фреза; *3* — каменные блоки



Р и с . 4.5. Схема выпиливания монолитов (крупных блоков) из массива с помощью алмазно-канатной установки с предварительным бурением стыкующихся скважин:

а — выполнение вертикального пропила; *б* — то же, горизонтального; *1* — алмазно-канатная установка; *2* — канат, армированный алмазными втулками; *3* — пропиленная часть массива; *4* — скважины; *5* — непропиленная часть массива

4...5 раз выше (5...10 $м^2$/ч), чем на твердосплавном инструменте (1...2 $м^2$/ч). Для мягких пород применение алмазного инструмента не эффективно.

В случае, если необходимо добыть блок камня большого размера (2...10 м), используют установки с *канатными пилами* (рис. 4.5). Режущим инструментом в таком случае служит стальной канат диаметром 4...6 мм. Канат соединен в виде кольца и приводится в движение двигательной установкой. Для установки каната в рабочее положение необходимо предварительно пробуривать в массиве камня отверстия.

Установка канатного пиления работает на «свободном» абразиве (кварцевом песке, карборунде) фракции 0,3...0,6 мм, подаваемым в пропил вместе с водой. Скорость движения каната — 7...10 м/с; производительность установки — 1...2 $м^2$ пропила в час.

В последние годы получили распространение канатные пилы с армированным режущим органом: на многожильный канат насажены «алмазные» втулки диаметром 10...14 мм. Схемы работы алмазной канатно-пильной установки показана на рис. 4.5. Благодаря большой скорости движения каната (35...45 м/с) такая установка имеет высокую производительность — 10...15 $м^2$/ч.

Твердые породы обычно разрабатывают, отделяя сначала крупный монолит. Затем его делят на блоки, из которых на камнеобрабатывающем заводе получают требуемые изделия. Отделение монолита может осуществляться несколькими способами: буроклиновым, строчечным бурением и канатными пилами с алмазными насадками.

Буроклиновой способ, применяемый чаще других, заключается в том, что отделяемый объем камня обуривается по контуру перфораторами. В полученные отверстия (шпуры) вводятся гидравлические или механические клинья или расширяющиеся составы на основе минеральных вяжущих веществ — так называемый «тихий взрыв». С их помощью монолит породы раскалывают по требуемой плоскости. В старину для этой цели применяли силу замерзающей воды или набухающей древесины. Этот метод базируется на крайне низкой прочности камня при растяжении (для гранита R_p = 5...8 МПа при $R_{сж}$ > 100 МПа).

Добытые в карьере блоки перевозят на камнеобрабатывающий завод, где производится их распиловка на плиты или изготовление из них фасонных изделий.

Распиловка — трудоемкая операция. Для этого применяют чаще всего рамные пилы с гладкими полотнами, под которые подсыпается абразивный порошок (для твердых пород — чугунная дробь, для средних — кварцевый песок). Для пород средней твердости применяют полотна с твердосплавными режущими элементами или дисковые твердосплавные пилы. Толщина получаемых плит 20...60 мм.

В последние годы в камнерезных машинах в качестве абразивного материала все шире применяют алмазы. Их высокая твердость обеспечивает высокую износостойкость режущего инструмента и позволяет

в 5...10 раз увеличить скорость резания и производительность при снижении расхода электроэнергии в 2...2,5 раза.

Кроме того, применение алмазных пил позволяет сократить ширину пропила в 3...4 раза, а толщину плит довести до 5...10 мм. В результате из 1 $м^3$ блока можно получить до 40...45 $м^2$ тонких плит, что в 2...3 раза выше, чем при обычных методах распиловки. Еще одна положительная сторона алмазной распиловки — высокая чистота поверхности резания, что позволяет на дальнейших этапах обработки плиты исключить процесс шлифования.

Кроме резания для получения облицовочных плит применяют метод раскалывания, использующий крайне низкую прочность камня при скалывании. Раскалывание производится на специальных станках. Таким образом изготовляют брусчатку.

При получении плит методом раскалывания затраты труда составляют 10...15 % от затрат труда при пилении. Однако применение этого метода ограничивается большой толщиной получаемых плит (60...120 мм) и грубой фактурой (фактура скалы) получаемой поверхности.

После распиловки поверхность плит обрабатывают для получения требуемой фактуры, при этом используют механические и ручные скалывающие инструменты. В последнее время применяют термогазоструйный метод. Однако обработке этим методом хорошо поддаются лишь кварцесодержащие породы.

Для получения гладких шлифованных и полированных поверхностей используют специальные станки.

Для точной обрезки кромок плит, а также для получения профилированных изделий (поясов, карнизов, ступеней и т. п.) применяют фрезерные и профилирующие машины. Режущими элементами в этих машинах являются диски и профилирующие фрезы, изготовленные из особо твердых абразивов.

4.5. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Области применения природного камня очень широки. Здесь мы коснемся использования камня в непосредственном виде, т. е. подвергнутого только механической обработке. Горные породы, как сырье для получения других строительных материалов, рассматриваются в соответствующих разделах.

Технические требования к каменным материалам. Как и всякий строительный материал, природные каменные материалы должны удовлетворять ряду требований. Основными показателями качества природных каменных материалов являются предел прочности при сжатии (марка материала), средняя плотность, морозостойкость и коэффициент размягчения. Кроме того, в специальных случаях определяют истираемость, износостойкость, сопротивление удару и другие показатели.

В соответствии с требованиями СНиПа природные каменные материалы и изделия классифицируют по следующим признакам:

• по *средней плотности*: тяжелые ($\rho_m > 1800$ кг/м^3) и легкие ($\rho_m \leq 1800$ кг/м^3);

• по *прочности на сжатие* (кгс/см^2) на марки: 4; 7; 10; 15; 25; 35; 50; 75; 100; 125; 150; 200; 300; 400; 500; 600; 800 и 1000 (соответственно в МПа от 0,4 до 100); причем легкие каменные материалы имеют марки до 200, а тяжелые — от 100 и выше;

• по *морозостойкости* (количество циклов замораживания и оттаивания) на марки: 10; 15; 25; 50; 100; 200; 300 и 500;

• по *коэффициенту размягчения:* 0,6; 0,75; 0,8; 0,9 и 1,0.

Свежедобытые пористые породы (известняки, доломиты, песчаники, туфы и т. п.) могут очень быстро разрушаться при замораживании вследствие того, что их поры заполнены «горной влагой» так, что коэффициент насыщения пор $K_{нас}$ близок к 1. После просушки на воздухе эти породы становятся достаточно морозостойкими.

Коэффициент размягчения $K_{разм}$ камня, применяемого для фундаментов, дорожных и гидротехнических конструкций, должен быть не ниже 0,8, а для наружных стен зданий — не ниже 0,6.

Виды материалов и изделий. В зависимости от степени обработки различают грубообработанные каменные материалы и штучные изделия и профилированные детали.

К грубообработанным материалам относят:

• *песок* — минеральные зерна размером от 5 до 0,16 мм, получаемые при просеивании мелких рыхлых пород или дроблением и рассевом отходов камнеобработки;

• *гравий* — окатанные (округлые) зерна размером от 5 до 150 мм, получаемые из рыхлых залежей рассевом;

• *щебень* — куски камня неправильной формы размером от 5 до 150 мм, получаемые, главным образом, дроблением крупных кусков горных пород с последующим рассевом (встречается и природный щебень — «дресва»);

• *бутовый камень* — крупные куски камня неправильной формы, получаемые взрывным методом (рваный бут), или плиты неправильной формы (постелистый бут или плитняк), получаемые выламыванием из слоистых пород.

К изделиям из природного камня относят колотые и пиленые изделия для облицовки и кладки стен, устройства полов, дорожных покрытий, гидротехнических сооружений и др.

Стеновые камни получают выпиливанием из мягких горных пород («пильных» пористых известняков, опок и вулканических туфов), имеющих следующие физико-механические показатели:

Средняя плотность, кг/м^3, не более	2100
Водопоглощение по массе, %, не более:	
для известковых туфов и опок	50
для известняков и вулканических туфов	30
Морозостойкость, циклы, не менее	15
Коэффициент размягчения, не менее	0,6

Размер основных типов камней 390 х 190 х 188 мм; 390 х 190 х 288 мм и 490 х 240 х 188 мм. Каждый такой камень заменяет 8...16 кирпичей. Это очень эффективные в экономическом и экологическом аспекте местные стеновые материалы. Например, в Армении очень много построек как старинных, так и современных, выполнено из вулканического туфа; в Крыму для этих целей широко используют известняк-ракушечник.

Наружную облицовку зданий выполняют из плит и фасонных деталей из плотных и атмосферостойких пород, в основном из глубинных изверженных (граниты, сиениты, габбро и др.) или плотных известняков. Именно использование известняка для облицовки московских зданий дало Москве эпитет «белокаменная»; в Армении основной облицовочный материал — вулканический туф.

Внутреннюю облицовку зданий производят плитами из пород средней твердости: мраморов, пористых известняков (травертина, ракушечника) и др. Пористые породы, кроме декоративного эффекта, обеспечивают хорошую акустику помещений и поэтому рекомендуются для театров и кинотеатров.

Устройство покрытий пола производят полированными (реже шлифованными) плитами из твердых пород (гранит, сиенит и др.). Примером устройства полов из таких плит могут служить станции и переходы Московского метро. В помещениях с малой интенсивностью движения и высокими требованиями к декоративности возможно использование плит из мрамора. Толщина плит пола — не менее 20 мм. Лестницы, как и полы, облицовывают твердыми износостойкими породами.

Примером неправильного инженерного решения было устройство мраморных полов или сочетание гранитных и мраморных плит на некоторых станциях метро, приводящее к нарушению ровности пола.

В зависимости от способа получения облицовочные плиты делят на *колотые* и *тесаные*, получаемые обработкой ударными инструментами, и *пиленые*, получаемые распиловкой каменных блоков.

Колотые и тесаные плиты применяют для наружной облицовки уникальных зданий и сооружений. Чаще используют облицовку пиленными плитами, толщина которых для наружной облицовки составляет 20...60 мм, а для внутренней — 5...20 мм (тонкие плиты получают

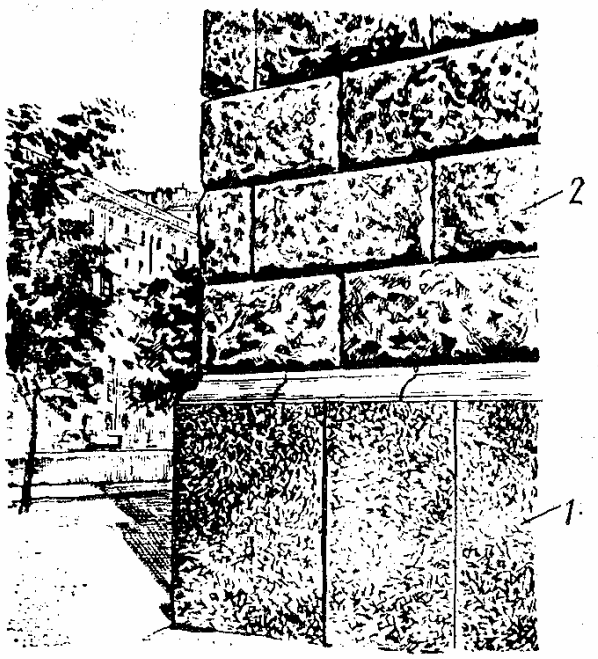
алмазной распиловкой; их стоимость в несколько раз ниже, чем обычных плит, что значительно расширяет сферу использования каменной облицовки).

Поверхность облицовочных плит может иметь различную фактуру (рис. 4.6), выбираемую в зависимости от желаемого декоративного эффекта. Ударной обработкой можно получить следующие фактуры:

• *фактуру «скалы»* с крупными буграми и впадинами;

• *рифленую* и *бороздчатую* с правильным чередованием гребней и впадин глубиной от 0,5 до 2 мм;

• *точечную* — равномерно шероховатую с углублениями не более 2 мм.



Р и с . 4.6. Облицовка здания гранитными плитами:

1 — с полированной фактурой; *2* — с фактурой «скалы»

Абразивной обработкой получают более гладкие фактуры:

• *пиленую* с глубиной бороздок не более 1 мм;

• *шлифованную* — равномерно шероховатую с глубиной рельефа < 0,5 мм;

• *лощеную* — гладкую бархатисто-матовую с выявленным рисунком и цветом камня, но не имеющую блеска;

• *полированную* — гладкую с зеркальным блеском, полностью выявляющую цвет и структуру камня.

Дорожные каменные материалы изготовляют из плотных прочных и износостойких пород, так как условия работы дорожных материалов крайне суровы. К дорожным материалам относятся: бортовые камни, брусчатка и булыжный камень.

Бортовые камни, служащие для отделения проезжей части от тротуаров, изготовляют главным образом из сиенита и гранита. Они представляют собой прямоугольные параллелепипеды длиной 1000...2000 мм, высотой 300...400 мм и шириной 100...200 мм.

Брусчатка — колотые или тесаные камни из изверженных или плотных осадочных пород, имеющие форму, близкую к кубу. Брусчатка — очень долговечное и декоративное покрытие улиц и площадей; в частности, брусчаткой вымощена Красная площадь в Москве.

Булыжный и колотый камень используют для устройства верхних покрытий дорог IV и V категорий, оснований под дороги, укрепления откосов земляных сооружений и для берегоукрепительных работ. В

наше время булыжный камень применяют редко, так как это требует больших затрат ручного труда.

Каменные материалы для гидротехнических сооружений — главным образом, защитные облицовки мостовых конструкций, шлюзов и плотин, устройство набережных и т. п. Основное требование к горным породам, используемым для этих целей,— высокая морозостойкость (не менее F300) и износостойкость. Этим требованиям удовлетворяют плотные изверженные породы (граниты, сиениты, диабазы и др.).

4.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ

В процессе добычи и обработки горных пород для получения природных каменных материалов (отделочных и стеновых) в карьерах и камнеобрабатывающих заводах образуется много отходов. Количество их достигает до 80 % от объема разрабатываемой породы. Эти отходы можно использовать в самых разнообразных целях.

Мелкие фракции (5...20 мм) отходов декоративных пород (в особенности мрамора) используют при получении декоративных бетонов для отделки лицевых поверхностей стеновых панелей и мозаичных бетонов для покрытий полов, лестниц, подоконников.

Из более крупных отходов совместно с мелкими фракциями на цементных и полимерных вяжущих получают декоративные плиты для настилки полов.

Используют два метода изготовления плит:

- формование отдельных плит с последующим шлифованием их поверхности;
- формование крупных блоков из отходов и связующего и последующая распиловка этих блоков на плиты.

При производстве таких плит очень важно, чтобы износостойкость связующего и декоративного камня были возможно близкими; в противном случае возможна быстрая потеря эксплуатационных качеств плиты вследствие неравномерного износа. Для достижения равномерности износа наполняют полимерное связующее тонким порошком из той же породы, а цементное вяжущее модифицируют полимерными добавками.

Для повышения выхода кондиционных блоков и плит из трещиноватых пород используют пропитку таких пород полимерным связующим и склейка распадающихся плит с использованием полимерных или стеклянных армирующих сеток.

4.7. КОРРОЗИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ И МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ

Непременным условием длительной службы каменных материалов в сооружениях является правильный их выбор с учетом эксплуатационной среды, химико-минералогического состава и структуры матери-

ала. Однако даже самые прочные породы, из которых выполнен материал, под механическими и химическими воздействиями атмосферных факторов и различных микроорганизмов разрушаются. Этот процесс по аналогии с разрушением металлов называют коррозией.

Основной причиной коррозии каменных материалов в строительных конструкциях является физико-химическое воздействие воды. Это воздействие проявляется в растворяющей способности воды, особенно если она содержит растворенные газы (CO_2, SO_2 и др.); в замерзании воды в порах и трещинах, сопровождающемся появлением в материале больших внутренних напряжений. Кроме того, резкое изменение температуры приводит к появлению на поверхности камня, особенно из полиминеральных пород, микротрещин, которые становятся очагами разрушения. 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.

Следовательно, стойкость каменных материалов против коррозии тем выше, чем они плотнее (меньше пористость) и чем меньше их растворимость. Поэтому все мероприятия по защите каменных материалов от коррозии направлены на предохранение их от воздействия воды и на повышение поверхностной плотности. Эти меры могут быть конструктивными и физико-химическими.

Конструктивная защита от увлажнения осуществляется путем устройства надлежащих стоков воды, придания каменным материалам гладкой полированной поверхности и такой формы, при которых вода, попадающая на них, не задерживается и не проникает внутрь материала.

Физико-химические мероприятии заключаются в создании на лицевой поверхности камня плотного водонепроницаемого слоя или ее гидрофобизации. Одним из способов повышения поверхностной плотности является *флюатирование*, при котором карбонатные породы пропитывают солями кремнефтористоводородной кислоты (флюатами), например флюатами магния. В результате происходящей реакции:

$$2CaCO_3 + MgSiF_6 = 2CaF_2 + SiO_2 + 2CO_2 \uparrow$$

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

Уплотнить поверхность камня можно также последовательной пропиткой растворимым стеклом и хлористым кальцием, в результате взаимодействия которых образуются нерастворимые силикат кальция

и кремнекислота, закрывающие поры. Эта же цель достигается при последовательной пропитке поверхности камня спиртовым раствором калийного мыла и уксуснокислого алюминия. В этом случае на поверхности камня образуется нерастворимая пленка соли жирной кислоты.

Гидрофобизация, т. е. пропитка пористого каменного материала гиброфобными (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.).

Контрольные вопросы

1. Расскажите об использовании природных каменных материалов в строительстве. 2. Как классифицируют горные породы? 3. Чем различаются между собой горная порода и минерал? 4. Что вы знаете о магматических породах? 5. Как образовались осадочные породы? Расскажите об осадочных породах механического происхождения. 6. Какая органогенная осадочная порода является одной из главных пород, применяемых в строительстве? Расскажите об ее составе и свойствах. 7. Чем отличается мрамор от известняка? 8. Как получают строительные изделия (например, стеновые камни) из мягких пород (туфа, ракушечника и т. п.)? 9. Расскажите о преимуществах алмазной распиловки камня. 10. Какие пути используются для получения изделий из отходов камнеобработки? 11. В чем заключается коррозия изделий из природного камня и как повышают стойкость горных пород?

РАЗДЕЛ 3. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ СПЕКАНИЕМ И ПЛАВЛЕНИЕМ

ГЛАВА 5. КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Керамика — собирательное название широкой группы искусственных каменных материалов, получаемых формованием из глиняных смесей с минеральными и органическими добавками с последующей сушкой и обжигом. На древнегреческом языке «керамос» означало гончарную глину, а также изделия из обожженной глины.

Керамика — древнейший строительный материал. Археологами обнаружены остатки зданий и сооружений из керамического кирпича в Древнем Египте и Ассирии, датируемые III—I тысячелетиями до нашей эры. Кирпич был известен в Древней Индии и Китае. В Древней Греции керамика применялась для кровель и украшения фасадов. Первый храм Геры в Олимпии (VII в. до н. э.) имел черепичную крышу и украшения из терракоты.

Простота технологии и неисчерпаемая сырьевая база для производства керамических изделий самых разнообразных видов предопределили их широкое и повсеместное распространение. Этому способствовали также высокая прочность, долговечность и декоративность керамики. И в настоящее время керамика остается одним из основных строительных материалов, применяемых практически во всех конструктивных элементах зданий и сооружений.

По назначению керамические изделия делят на следующие виды:

- стеновые (кирпич и керамические камни);
- кровельные (черепица);
- изделия для облицовки фасадов (лицевой кирпич, терракотовые плиты, мозаичные плитки и др.);
- изделия для внутренней облицовки стен;
- плитка для полов;
- санитарно-технические изделия (умывальники, унитазы и трубы);
- специальная керамика (кислотоупорная, огнеупорная, теплоизоляционная);
- заполнители для легких бетонов (керамзит и аглопорит).

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

В зависимости от структуры черепка керамические материалы разделяются на две основные группы: пористые и плотные.

Пористыми условно считают изделия, у которых водопоглощение черепка более 5 % по массе (в среднем 8...20 %). К ним относятся все виды кирпича и стеновых камней, черепица, облицовочные плитки.

Плотными считают изделия, водопоглощение черепка которых менее 5 % (обычно 2...4 %); эти изделия практически водонепроницаемы. К ним относятся плитки для полов, санитарный фарфор и т. п.

5.2. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИКИ

Сырьевая масса для изготовления керамических материалов состоит из пластичных материалов (глин) и непластичных (отощающих и выгорающих добавок, плавней и др.). Глины обеспечивают получение удобоформуемой связной массы и после обжига прочного и водостойкого черепка. Непластичные добавки улучшают технологические свойства сырьевой массы (облегчают сушку, уменьшают усадку и снижают температуру обжига) и придают материалу желаемые свойства (пористость, теплопроводность и т. п.).

Глины — основной сырьевой компонент керамики — осадочные горные породы, состоящие в основном из глинистых минералов — водных алюмосиликатов различного состава (каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ и др.). Размер частиц глинистых материалов не превышает 0,005 мм; преобладающая форма частиц — пластинчатая. Благодаря своей гидрофильности и огромной площади поверхности глинистые частицы активно поглощают и удерживают воду. Именно глинистые минералы придают глине ее характерные свойства: пластичность при увлажнении, прочность при высыхании и способность к спеканию при обжиге.

Кроме глинистых минералов в глине содержатся более крупные частицы: пыль (0,005...0,16 мм) и песок (0,16...5 мм). Они состоят из кварца, карбонатов кальция и магния и других минералов. Эти компоненты глин также влияют на ее технологические свойства и качество готовых изделий.

Глины, как сырье для керамики, оценивают комплексом свойств: пластичностью, связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

Пластичность — способность глиняного теста деформироваться под действием внешних механических нагрузок без нарушения сплошности и сохранять полученную форму после прекращения воздействий. Пластичность глин объясняется тем, что при увлажнении глины на поверхности глиняных частиц появляются тончайшие слои адсорбированной воды. Эти слои, с одной стороны, обеспечивают возможность

скольжения частиц друг относительно друга, а с другой, связывают эти частицы силами поверхностного натяжения, что обеспечивает сохранение формы изделий после формования. Превалирование того или другого эффекта зависит от количества адсорбированной глиной воды.

Пластичность оценивается количеством воды, необходимой для получения из глины удобоформуемой массы. Высокопластичные глины имеют высокую водопотребность и, как следствие, большую усадку при сушке:

Типы глины	Водопотребность, %	Усадка при сушке, %
Высокопластичная	> 28	10...15
Средней пластичности	20...28	7...10
Малопластичная	< 20	5...7

Скорость сушки увлажненной глины определяется не скоростью испарения влаги с поверхности отформованного изделия, а скоростью миграции воды внутри глиняной массы от центра к поверхности. Глина, будучи материалом «водонепроницаемым», тормозит продвижение влаги через свою толщу, чем замедляет сушку.

Чем больше в глине частиц глинистых минералов, тем она больше требует воды, больше набухает, но труднее сохнет и дает большую усадку. Такие глины называют «жирными». Глины, содержащие много песчаных частиц, характеризуются небольшой усадкой и набуханием, достаточно легко сушатся, но пластичность, т. е. формовочные свойства, у нее пониженная. Такие глины называют «тощими».

Таким образом, для получения требуемой сырьевой массы для керамики нужно выполнить два противоречивых друг другу условия: смесь должна хорошо формоваться и легко сушиться.

Смеси с оптимальным соотношением глинистых и песчаных частиц получают, добавляя в жирную глину отощающие добавки. Кроме песка для этих целей используют золы ТЭС, шлаки и другие материалы.

Спекаемость — способность глины при обжиге переходить в камневидное состояние, в котором она совершенно не размокает в воде, объясняется следующим. При нагреве до 900...1200° С в глине последовательно начинают протекать химические и физико-химические процессы, приводящие к полному и необратимому изменению ее структуры:

- удаление химически связанной воды (500...600° С);
- разложение обезвоженной глины на оксиды Al_2O_3 и SiO_2 (800...900° С);
- образование новых водостойких и тугоплавких минералов (силлиманита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (1000...1200° С);

• образование некоторого количества расплава из легкоплавких материалов глины (900...1200° С).

Образование прочного черепка происходит за счет эффекта склеивания твердых частиц глины образовавшимся расплавом. При этом за счет сил поверхностного натяжения этого расплава происходит уменьшение объема материала, называемое *огневой усадкой.* В зависимости от вида глин огневая усадка составляет 2...6 %.

Полной усадкой называют сумму воздушной и огневой усадки; она обычно находится в пределах 6...18 %. Полную усадку необходимо учитывать при формовании сырцовых заготовок для получения изделий с заданными размерами.

Огнеупорность — свойство материалов, в том числе и глин, выдерживать действие высоких температур без деформаций.

Различные глины требуют определенных температур обжига и соответственно изделия из них имеют различную огнеупорность. По этому признаку глины делят на легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные.

Легкоплавкие глины, содержащие большое количество примесей, плавятся при температуре ниже 1350° С. Из таких глин, называемых кирпичными, изготовляют кирпич, стеновые камни и черепицу.

Тугоплавкие глины, содержащие незначительное количество примесей, плавятся при температуре 1350...1580° С. Применяют их для изготовления облицовочных керамических изделий, лицевого кирпича, канализационных труб.

Огнеупорные глины, почти не содержащие примесей, плавятся при температуре выше 1580° С. Их применяют для производства огнеупорных материалов.

Отощающие материалы вводят в состав керамической массы для снижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. Они улучшают сушильные свойства глин. В качестве отощающих добавок используют песок, шамот, дегидратированную глину, золы ТЭС, гранулированные шлаки.

Шамот — зернистый (0,14...2 мм) материал, получаемый измельчением предварительно обожженной до температуры спекания глины. Его можно заменить измельченным браком керамических изделий. Шамот из огнеупорных глин используют для изготовления огнеупоров.

Дегидратированную глину получают нагревом до 650...750° С. При удалении кристаллизационной химически связанной воды глина необратимо теряет свойство пластичности.

Гранулированный доменный шлак и золы ТЭС — отощители глин, используемые при производстве кирпича и другой грубой керамики. Это эффективный путь утилизации промышленных отходов.

Порообразующие добавки вводят в смесь для снижения плотности и, соответственно, теплопроводности керамических изделий. Для этого используют вещества, которые при обжиге:

• диссоциируют с выделением газа, например, CO_2 (молотый мел, доломит и т. п.);

• выгорают (древесные опилки, угольный порошок и т. п.).

Такие добавки одновременно являются и отощающими.

Пластифицирующие добавки — высокопластичные глины, а также поверхностно-активные вещества — пластификаторы СДБ, ЛСТ и др.

Плавни добавляют в глины в тех случаях, когда желательно понизить температуру ее спекания. В этом качестве используют полевые шпаты, железную руду, тальк и т. п.

Глазури и ангобы — отделочные слои на облицовочных керамических изделиях.

Глазури — стеклообразные лицевые покрытия различного цвета, прозрачные или глухие. Их получают нанесением на поверхность готовых изделий порошка из стекольной шихты и закреплением обжигом до плавления.

Ангобы — лицевые покрытия, выполненные из цветных глин, нанесенных на поверхность сырцовых изделий. В отличие от глазури ангоб не дает при обжиге расплава, а образует матовое керамическое покрытие.

Одна из главных проблем при глазуровании и ангобировании — обеспечение максимальной близости свойств (главным образом КЛТР) изделия и отделочного слоя во избежание растрескивания и отслоения отделочного слоя. Характерным видом брака подобного рода является *цек* — частая сетка трещин на поверхности глазури.

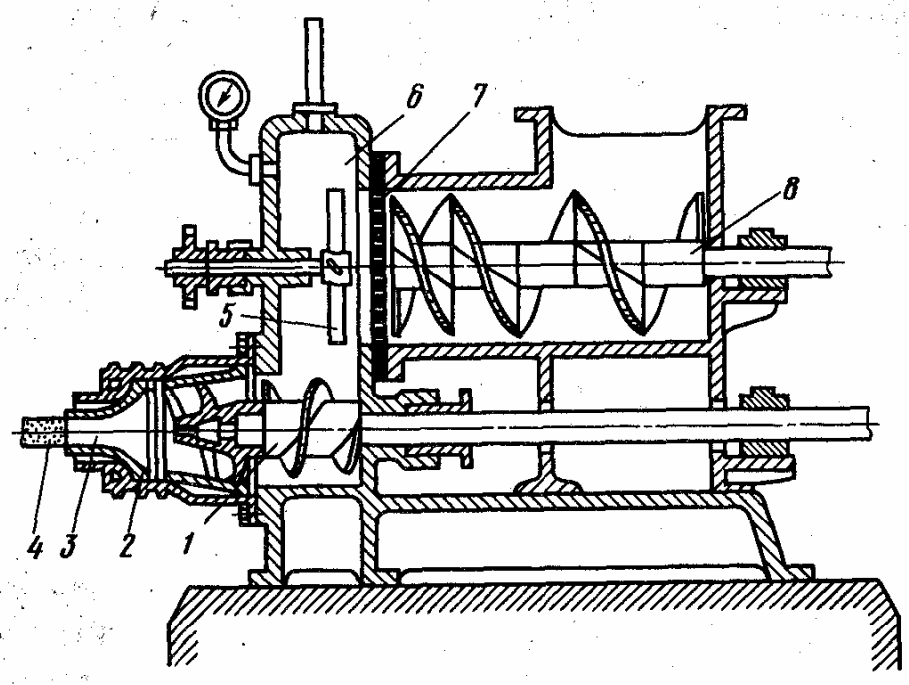
5.3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИКИ

Все разнообразие керамических материалов производится в принципе по однотипной схеме, включающей в себя следующие переделы: добычу сырьевых материалов, подготовку сырьевой массы, формование изделий, сушку и обжиг.

Однако для получения изделий с различной структурой черепка и различной конфигурации применяют разные методы формования: литье, пластическое формование, полусухое и сухое прессование. В зависимости от метода формования производят подготовку сырьевой массы.

Основные изделия строительной керамики — кирпич и керамические камни, а также некоторые виды керамических плиток, черепицы и труб производят методом пластического формования. Этот метод формования наиболее прост и получил наибольшее распространение. Ниже рассмотрена схема производства керамики с использованием метода пластического формования на примере производства кирпича.

Производство кирпича методом пластического формования ведется на хорошо проработанной пластичной массе с влажностью 15...25 % из легкоплавких глин средней пластичности, содержащих 40...50 % песка.



Р и с . 5.1. Ленточный вакуумный пресс:
1 — винтовой вал; *2* — конусная головка; *3* — мундштук; *4* — глиняный брус; *5* — нож; *6* — вакуумная камера; *7* — решетка; *8* — винтовой конвейер

Подготовка сырья в старину велась «естественным» образом: глина, добытая в карьере, в течение 1...2 лет выдерживалась в буртах под открытым небом. Периодическое намокание, замораживание и оттаивание разрушало природную структуру глины, вымывало из нее соли (вспомните белые высолы на современном кирпиче). После этого глину обрабатывали на глинорыхлителях и камнеотделительных валках и доводили до требуемой пластичности добавлением воды.

В настоящее время глину увлажняют паром и интенсивно обрабатывают на бегунах, дезинтеграторах и валках (это в какой-то мере заменяет вылеживание) до получения пластичной удобоформуемой массы без крупных каменистых включений (кусочки $CaCO_3$ должны быть удалены или измельчены в порошок).

Качество массы и будущих изделий зависит от тщательности проработки сырьевых компонентов.

Формование кирпича-сырца производят на ленточном прессе (рис. 5.1). Увлажненная и тщательно размятая глиняная масса продавливается винтовым конвейером *8* через решетку *7* в вакуумную камеру *6*, где жгуты глины разбиваются вращающимся ножом *5* для удаления воздуха из глиняной массы. Далее масса винтовым валом *1* подается в конусную головку *2* пресса, где окончательно уплотняется и продавливается сквозь формующую часть пресса — мундштук *3*. Мундштук придает глиняной ленте, выходящей из пресса, определенную высоту и ширину. В мундштуке могут быть установлены керны, образующие

каналы в выдавливаемой ленте; так получают пустотелый кирпич и трубы.

Глиняная лента нарезается автоматическим устройством на кирпич-сырец. Размер таких кирпичей несколько больше требуемого, так как в процессе последующей обработки глина дважды (при сушке и при обжиге) претерпевает усадку, достигающую 10...15 %.

Сушка — важный и сложный этап производства кирпича. Главная трудность сушки массивного кирпича-сырца в том, что в глине перенос влаги затруднен (глина — водонепроницаемый материал), и поэтому быстрое высыхание глины с поверхности приводит не к ускорению сушки, а к растрескиванию кирпича-сырца. Это происходит из-за того, что поверхностный слой дает усадку при высыхании (до 7...10 %), а влажное ядро препятствует ей. Простейший способ предохранить кирпич от растрескивания — сушить его медленно, так, чтобы скорость испарения воды не превышала скорости ее миграции из внутренних слоев. Но этот путь снижает темпы производства.

Ускорить сушку можно, вводя в сырьевую смесь вещества, облегчающие миграцию влаги к поверхности (например, опилки), или путем формования в кирпиче сквозных отверстий. Улучшение условий сушки пустотелого кирпича — залог более высокого качества материала.

При влажности кирпича-сырца 6...8 % его можно подавать на обжиг.

Для *обжига* используют печи различной конструкции от самых старых кольцевых, в которые кирпич укладывают и вынимают вручную, и до современных туннельных и щелевых, где кирпич обжигается в процессе продвижения его по печи. Температура обжига зависит от состава сырьевой массы и обычно находится в пределах 950...1000° С. Необходимую температуру обжига следует строго выдерживать.

Полусухой способ производства кирпича отличается от пластического тем, что глина влажностью 6...7 % измельчается в порошок, из которого на специальных прессах поштучно формуется кирпич-сырец. Такой сырец не требует сушки — его сразу же после формования можно обжигать. Так как кирпичи полусухого прессования (рис. 5.2, *б*) получаются более плотными, в них делают несквозные пустоты (так называемый пятистенный кирпич). Кирпич полусухого прессования имеет гладкие грани и значительно меньше дефектов, чем кирпич пластического формования, но в то же время он менее морозостоек.

Относительно небольшой выпуск кирпича полусухого прессования объясняется сложностью прессов для формования сырца и невысокой их производительностью.

Производственные дефекты. Из-за слишком быстрой сушки и нагрева при обжиге кирпич деформируется и на его поверхности появляются трещины.

При недостаточной температуре обжига получается *недожженный кирпич* (недожог) алого цвета, который не применяют из-за низкой прочности, водо- и морозостойкости.

При слишком высокой температуре обжига получается *пережженный* фиолетово-бурый кирпич (пережог — «железняк») повышенной плотности, с оплавленной поверхностью и искаженной формой.

У керамических изделий встречается скрытый дефект, называемый «*дутик*», который может проявиться не сразу, а после того, как кирпич (камень) достаточное время находился во влажном состоянии. В этом случае происходят выколы и разрушение поверхности. В месте откола хорошо виден белый порошок или белая тестообразная масса.

Причина таких дефектов — небрежность подготовки сырьевой массы. Если в исходном сырье встречаются куски известняка или другой карбонатной породы состава $CaCO_3$, то в случае, когда сырьевая масса не измельчается достаточно тонко, в свежеотформованном изделии могут оказаться кусочки известняка размером 1...5 мм. При обжиге они превращаются в оксид кальция (негашеную известь):

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

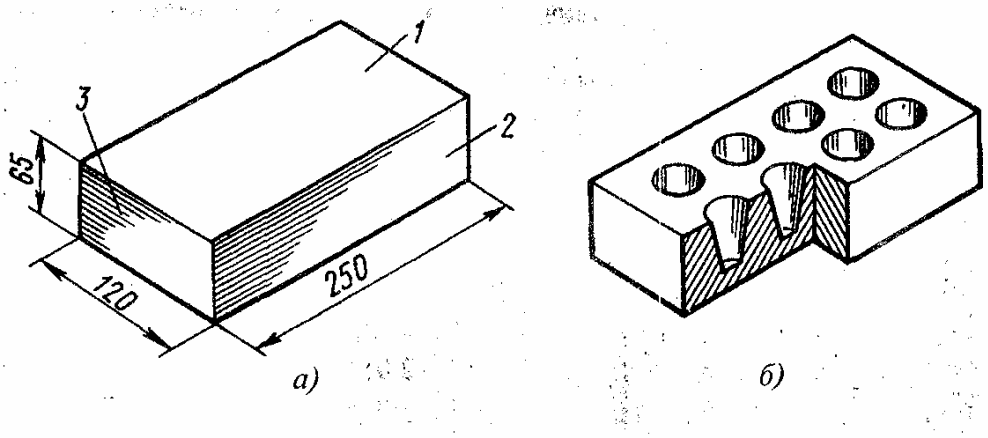
Негашеная известь при контакте с водой превращается в гидроксид кальция («гасится») с увеличением в объеме. Это приводит к выколам и разрушению изделий.

5.4. СТЕНОВЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Основная область применения керамики в строительстве — материалы для ограждающих конструкций: стеновые (кирпич и керамические камни) и кровельные (черепица). Этот вид керамики за много сотен лет применения хорошо зарекомендовал себя во всем мире.

Стеновые материалы — это кирпич и камни (последние отличаются от кирпича большими размерами). Самые первые постройки из кирпича обнаружены в Древнем Египте и Ассирии и относятся к III—I тысячелетию до н. э. Этот кирпич имел в плане форму, близкую к квадратной, со сторонами 300...650 мм и толщиной 30...80 мм. Подобный кирпич позже применялся в Древней Греции и Византии, где его называли «плинфа» (от гр. *plinthos* — кирпич). Плинфа использовалась и в древнерусском зодчестве. Так, при строительстве Софийского собора в Киеве использовалась плинфа размером около 400 х 400 см и толщиной 30...40 мм. Такая форма древнего кирпича объясняется, видимо, в основном технологическими причинами: проще формовать и легче сушить.

Только в XV в. плинфу сменил похожий на современный «Аристотелев кирпич» (289 х 189 х 67 мм). Первый российский кирпич, пре-



Р и с . 5.2. Кирпич керамический обыкновенный пластического (*а*) и полусухого (*б*) формования:

1 — постель; *2* — ложок; *3* — тычок

дусматривавший перевязку швов, был «Государев кирпич». В современных размерах кирпич был узаконен стандартом в 1927 г. Какого-либо общемирового стандарта на размеры кирпича не существует. Однако размеры и масса кирпича лимитируются размером и силой человеческой руки.

Кирпич керамический обыкновенный. В соответствии с действующими стандартами кирпич выпускают *обыкновенный* размером 250 х 120 х х 65 мм; реже производится *утолщенный* — 250 х 120 х 88 мм и *модульный* — 288 х 138 х 65 мм. Поскольку масса одного кирпича не должна превышать 4,3 кг, то утолщенный и модульный кирпичи обычно делают с пустотами; кирпич полусухого прессования также производится с пустотами (но пустоты в нем конические и несквозные) (рис. 5.2, *б*).

Приняты следующие названия граней кирпича (рис. 5.2, *а*): большая — *постель 1,* боковая длинная — *ложок 2,* торцовая — *тычок 3.*

Плотность обыкновенного полнотелого керамического кирпича — 1600...1800 кг/м^3; пористость — 28...35 %; водопоглощение не менее 8 %.

Основная характеристика качества кирпича — марка по прочности, определяемая по результатам испытания кирпича на сжатие и изгиб. Установлено 8 марок: от 75 до 300 (табл. 5.1).

Методика испытания кирпича для определения его марки дана в лабораторной работе № 5.

По морозостойкости для кирпича установлены четыре марки: F15, F25; F35 и F50. При оценке морозостойкости испытания на «замораживание — оттаивание» проводят до появления внешних повреждений (трещин, отколов, шелушения поверхности), не допускаемых стандартом.

Таблица 5.1. **Марки керамического кирпича по прочности**

Марка кирпича	Предел прочности, МПа, не менее					
	при сжатии		при изгибе			
	для всех видов кирпичей		для полнотелого кирпича пластического формования		для полнотелого кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича	
	средний из 5 образцов	min	средний из 5 образцов	min	средний из 5 образцов	min
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	1,2	1,6	0,8
75	7,5	5,0	1,8	0,9	1,4	0,7

Стандарт допускает довольно большие отклонения в размерах и форме кирпича, которые объясняются большой и неравномерной усадкой кирпича в процессе изготовления. Кирпич считается удовлетворяющим стандарту, если отклонения по размерам и форме не превышают:

по длине ± 5 мм, ширине ± 4 мм, толщине ± 3 мм;

непрямолинейность граней и ребер, не более: по постели — 3 мм, по ложку — 4 мм;

сквозные трещины на ложковой и тычковой гранях — не более одной при протяженности ее по постели не более 30 мм;

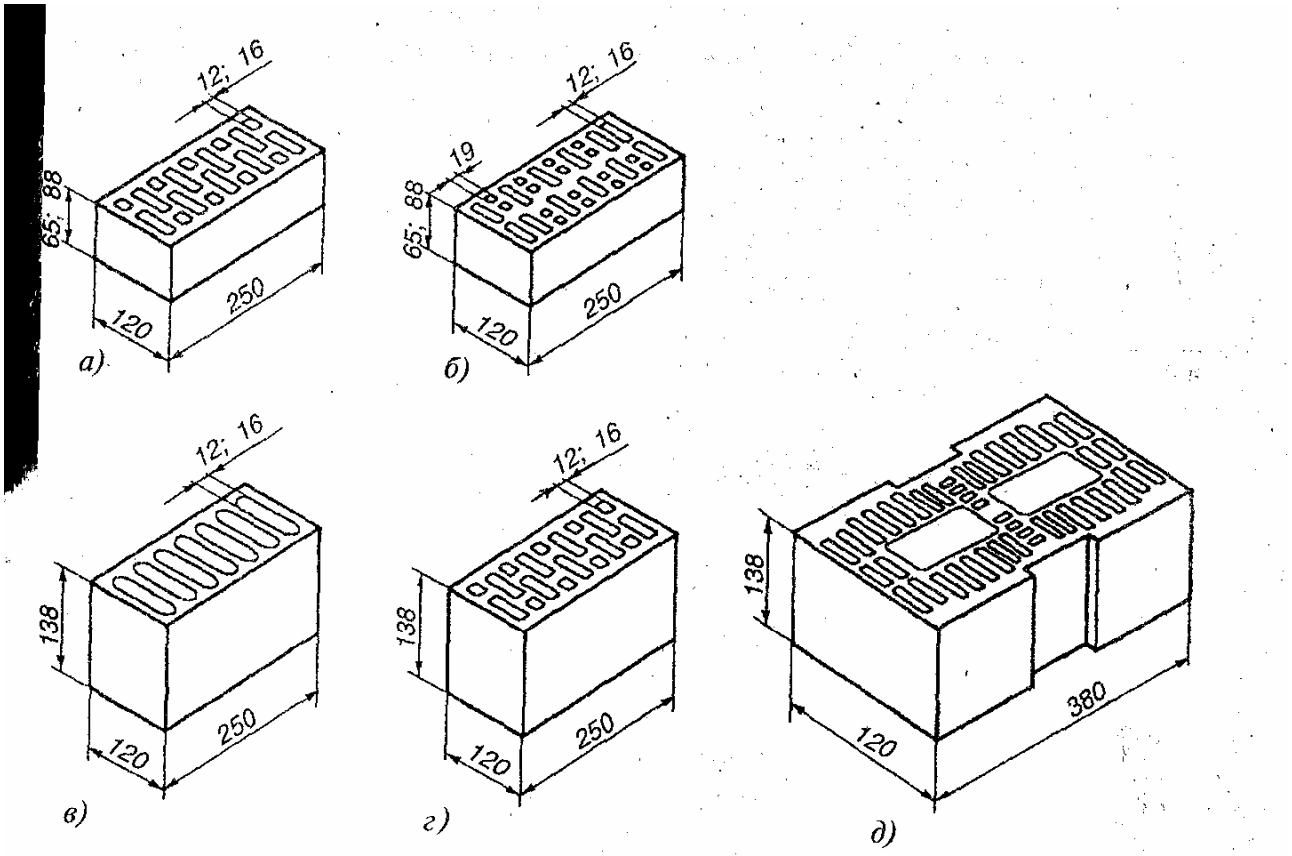
отбитости и притупленности ребер и углов — не более двух глубиной более 5 мм и длиной 10...15 мм.

Обыкновенный керамический кирпич благодаря достаточно высоким показателям физико-механических свойств и долговечности широко применяют в современном строительстве для кладки наружных и внутренних стен зданий, фундаментов, дымовых труб и других конструкций.

Кирпич полусухого прессования нельзя применять для кладки цоколей, фундаментов и наружных стен влажных помещений.

На складах кирпич хранят в штабелях высотой до 1,6 м, уложенным на ребро (ложковую грань).

При механизированной погрузке, разгрузке и транспортировании используют деревометаллические поддоны, на которые кирпич укладывают на ребро с перевязкой или «в елочку» (с наклоном в 45° к центру пакета). Чтобы уложить кирпич «елочкой», к торцам поддона прибивают треугольные бруски. Благодаря такой укладке пакеты с кирпичом можно перевозить на обычных автомобилях без дополнительных креп-



Р и с . 5.3. Кирпич керамический пустотелый и керамические камни:

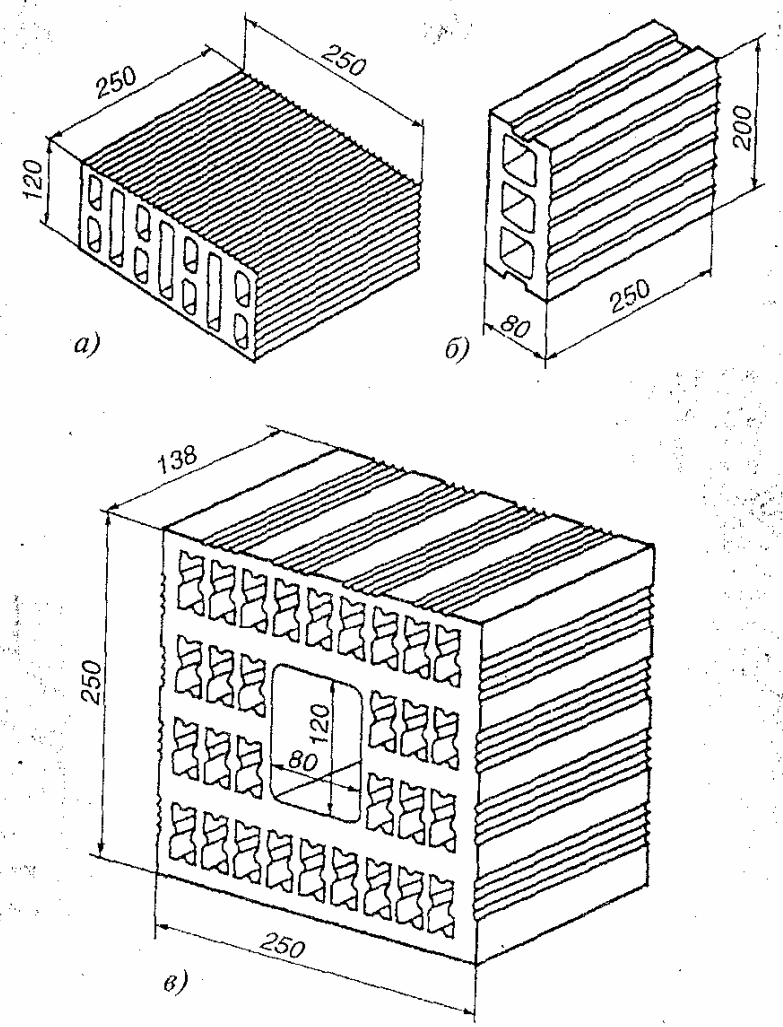
а — кирпич с 18 пустотами (пустотность 27 и 36 %); *б* — кирпич с 28 пустотами (пустотность 32 и 42 %); *в* — камень с 7 пустотами (пустотность 25 и 33 %); *г* — камень с 18 пустотами (пустотность 27 и 36 %); *д* — укрупненный камень для кладки стены в «один камень» (пустотность 45 %)

лений. Погрузку, разгрузку и подачу пакетов на рабочее место выполняют с применением специальных футляров. Без поддонов кирпич перевозят уложенным в штабель с перевязкой; транспортирование навалом запрещается, так как при этом много кирпича бьется.

Пустотелый кирпич и керамические камни. У обыкновенного керамического кирпича есть два существенных недостатка: относительно высокая плотность (1600...1800 кг/м^3) и небольшие размеры. Высокая плотность предопределяет и большую теплопроводность кирпича, и, как следствие, большую толщину стен (в средней полосе России традиционная толщина стен 51 и 64 см) и их большую массу.

Небольшой размер обыкновенного кирпича объясняется двумя причинами:

- масса кирпича, укладываемого вручную, не должна превышать 4,3 кг;
- получение крупного массивного керамического изделия затруднительно, так как сушка и обжиг таких изделий протекает долго и, как правило, сопровождается большими деформациями и растрескиванием изделий.



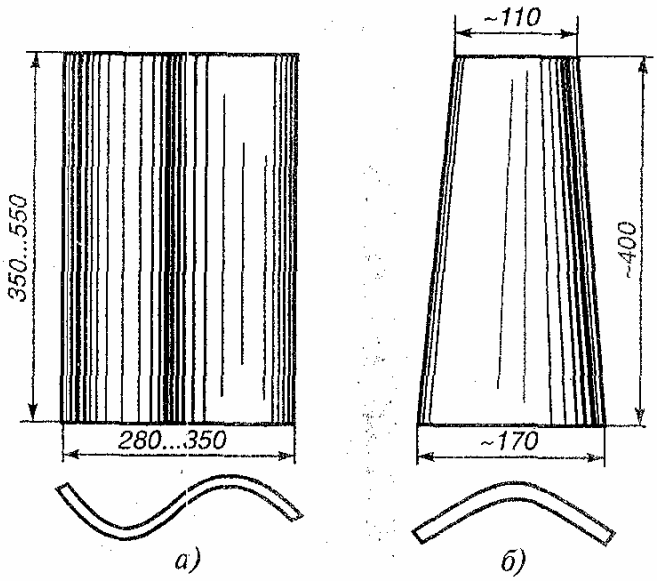
Р и с . 5.4. Некоторые виды экструзионных керамических камней с горизонтальными пустотами:

а — камень с 11 пустотами; *б* — камень с тремя пустотами; *в* — укрупненный камень с 30 пустотами и пустотой для захвата при кладке (общая пустотность 45 %)

Решение этих проблем возможно путем формования крупноразмерных керамических изделий со сквозными пустотами. Наличие пустот не только снижает массу и, соответственно, плотность изделий, но и ускоряет и облегчает процессы сушки и обжига, так как изделие прогревается быстрее и равномернее через наружные и внутренние поверхности. А именно неравномерность влажности и температуры по сечению изделия вызывают коробление и растрескивание. Поэтому пустотелые камни и кирпич имеют меньше дефектов и прочность их, несмотря на большой процент пустот (до 45 %), такая же, как у полнотелого кирпича.

Эти же пустоты снижают плотность кирпича и камней до 1400...1200 кг/м^3 и, соответственно, теплопроводность до 0,6...0,4 Вт/(м · К). За пустотелым кирпичом и камнями укрепилось название «эффективная керамика».

Пустотелыми считаются кирпич и камни, объем пустот которых более 13 %. Форма и размер пустот могут быть различными (рис. 5.3). Расположение пустот преимущественно вертикальное, но допустим выпуск кирпича и камней с горизонтально расположенными пустотами (рис. 5.4).



Р и с . 5.5. Традиционные виды черепицы:
а — голландская; *б* — татарская

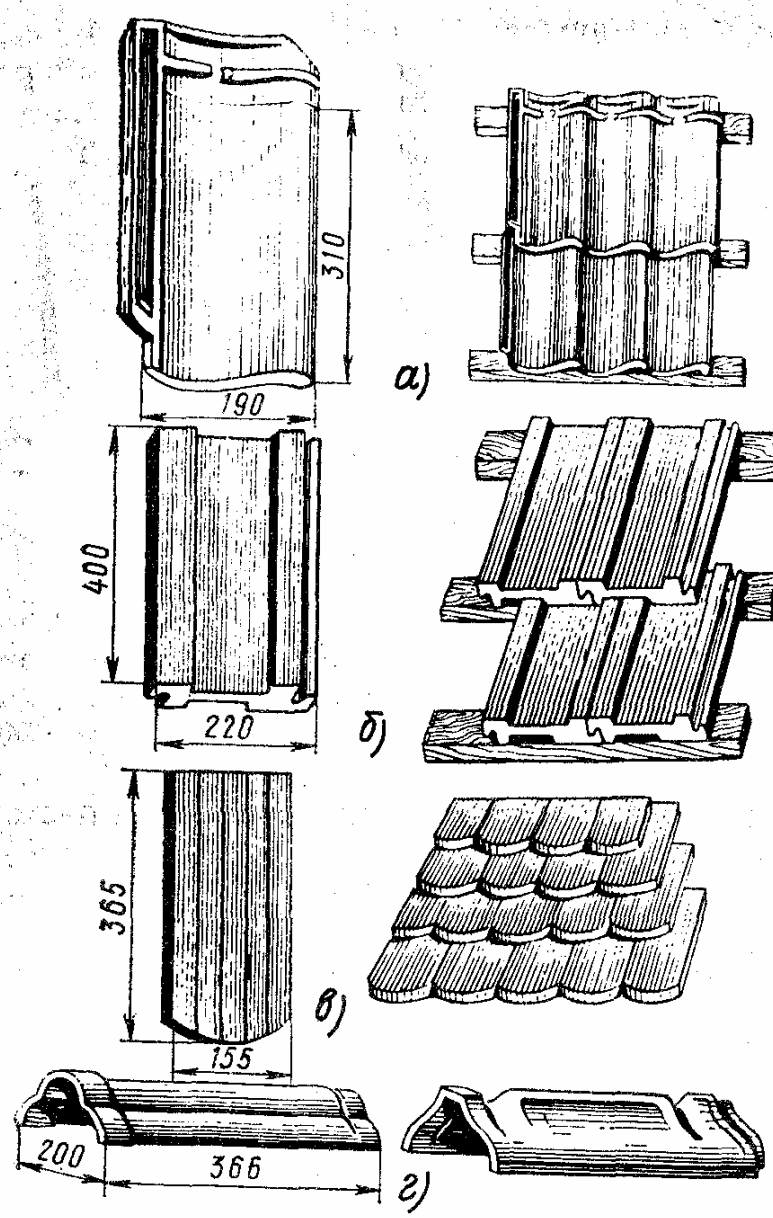
Керамическими камнями называют штучные стеновые изделия размером от 250 х 120 х х138 мм (сдвоенный по высоте кирпич) и до укрупненных камней 510 х 260 х 219 мм для кладки стен в «один камень». Применение керамических камней позволяет значительно ускорить кладочные работы.

Прочностные свойства (марки) и морозостойкость пустотелых кирпича и камней такие же, как у обыкновенного керамического кирпича.

Дополнительное снижение плотности и улучшение теплотехнических показателей керамического кирпича и камней можно достичь, включая в сырьевую массу выгорающие добавки (опилки, угольную мелочь и т. п.) или вспенивая глиняную массу. Используя технологию поризации керамического черепка, ЗАО «Победа-Кнауф» (Санкт-Петербург) организовало производство пустотелых керамических камней (250 х 120 х 142 мм) с плотностью 950 кг/м^3 и маркой по прочности 150 и 200 (кгс/см^2) при морозостойкости не ниже F35; а крупноформатные блоки того же предприятия размером 510 х 260 х 219 мм имеют пустотность 52 % и среднюю плотность 800 кг/м^3 (на 20 % легче воды); марка блоков по прочности 50...100 (кгс/см^2) и морозостойкость не ниже F35. Теплопроводность кладки из таких блоков 0,20 Вт/(м • К), что в 4 раза ниже, чем из полнотелого кирпича.

Пустотелый кирпич и камни нельзя использовать для кладки фундаментов, подвалов, цоколей и других частей зданий, где они могут контактировать с водой. Замерзание воды, попавшей в пустоты кирпича или камней, сразу приводит к их разрушению.

Кровельные материалы. ***Керамическая черепица*** — старейший искусственный кровельный материал, применявшийся с давних пор практически во всех странах мира. Особенное распространение получила черепица в европейских странах, Японии, Китае; при этом форма и цвет черепицы у разных народов были различными. До сих пор



Р и с . 5.6. Современные виды черепицы и схемы ее укладки на кровлю:
а — штампованная пазовая; *б* — ленточная пазовая; *в* — ленточная плоская; *г* — коньковая

используют старинные виды черепицы: желобчатую «татарскую», волнистую «голландскую» (рис. 5.5) и др.

Современная керамическая черепица в зависимости от способа производства и конфигурации бывает (рис. 5.6) штампованная пазовая, ленточная пазовая и ленточная плоская. Для коньков и перегибов крыши выпускают черепицу специальной формы.

Сырьем для черепицы служат кирпичные глины, только качество их подготовки должно быть выше. Ленточную черепицу формуют на таких же прессах, как кирпич. Штампованную прессуют поштучно. В остальном технология черепицы аналогична технологии кирпича.

Черепичная кровля декоративна и очень долговечна. Недостатки ее: большой вес и трудоемкость устройства. Черепица требует мощной стропильной системы; минимальный угол наклона кровли 30° (для желобчатой, укладываемой на растворе,— 15°).

5.5. ОТДЕЛОЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Керамика в роли отделочного материала применяется издавна и очень широко. Это объясняется как декоративностью керамики, так и ее стойкостью и долговечностью.

Облицовка керамикой не только придает декоративность, но и защищает конструкцию от внешних воздействий.

Различают отделочную керамику для наружной и внутренней облицовки, а также для покрытия полов. Для каждой области применения используют керамику с различным строением черепка (плотным или пористым) и соответственно с разными свойствами.

Материалы для наружной облицовки зданий и сооружений включают в себя лицевой кирпич, крупноразмерные облицовочные плиты и архитектурные детали (терракоту) и плитки различных размеров.

Лицевой кирпич отличается от обычного тем, что у него ложок и тычок (или 2 тычка) имеет повышенное качество поверхности: гладкая без дефектов поверхность, ровная окраска, возможна рельефная обработка поверхности или ее офактуривание (глазурование, ангобирование). Лицевой кирпич изготовляют как из беложгущихся, так и из красножгущихся глин. Придание требуемого цвета возможно окрашивающими добавками (оксиды железа, марганца и т. п.). Сырьевая масса для лицевого кирпича готовится более тщательно: недопустимо присутствие крупных каменистых включений, особенно известняковых.

Марки лицевого кирпича такие же, как и у обычного; морозостойкость несколько выше: не ниже F25. Как правило, лицевой кирпич — пустотелый.

Лицевым поверхностям кирпича можно придавать рельеф обработкой влажных сырцовых заготовок гребенками или рельефными валками.

Декорируют лицевой кирпич ангобированием и двухслойным формованием. Эти методы позволяют экономить дефицитные беложгущиеся глины.

Особенно декоративен *глазурованный кирпич*. Глазурь позволяет получать любые цветовые оттенки и сохранять их яркость в течение длительного времени; она почти не загрязняется и легко моется. Долговечность такой отделки — десятки и даже сотни лет.

Для зданий с кирпичными стенами отделка лицевым кирпичом — самый эффективный вид отделки, так как она одновременно является частью стены и выполняет все ее функции.

Керамические плиты для фасадной отделки выпускают в широком ассортименте размеров, цветов и фактуры поверхности.

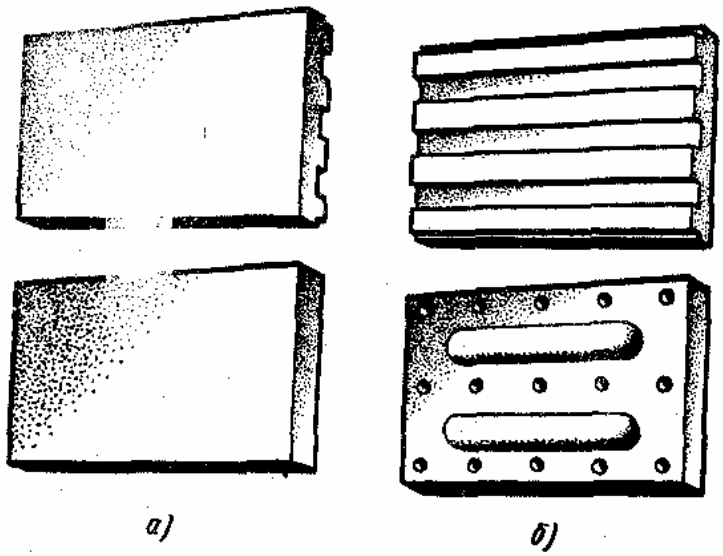
Ковролово-мозаичная плитка очень облегчает отделку стен путем простого втапливания ковра в раствор (или бетон) и последующего смывания бумаги после затвердевания раствора. Такая отделка может производиться как на заводе одновременно с формованием стеновых панелей, так и в построечных условиях по свежеуложенной штукатурке.

Плитки керамические фасадные применяют для облицовки наружных стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, подземных переходов и других элементов зданий и сооружений. Плитки выпускают различных размеров (от 120 х 65 до 300 х 200 мм), цветов и фактуры поверхности. Плитки изготовляют методом полусухого и пластического прессования. Морозостойкость плиток F35 и F50. Тыльная сторона плиток имеет рифление для обеспечения сцепления с раствором (бетоном) (рис. 5.7).

Крупноразмерные керамические плиты выпускают с плотным черепком (водопоглощение менее 1 %) размером от 500 х 500 до 1000 х 1000 мм и толщиной 6...10 мм. Эти плиты крепят на фасаде с помощью металлических раскладок. Один из вариантов таких плит называют керамическим гранитом.

Терракота (от лат. *terra cotta* — жженая земля) — крупноразмерные облицовочные изделия в виде плит, частей колонн, наличников и других архитектурных деталей.

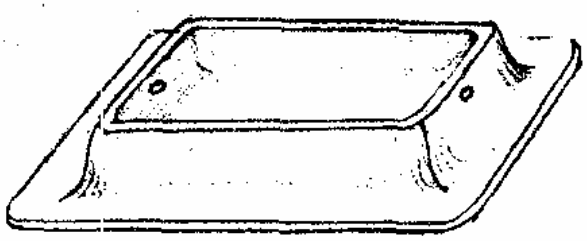
Терракота возникла в Древней Греции, как замена облицовки из натурального камня. Впоследствии в различные исторические периоды терракота многократно входила в моду и широко использовалась в строительстве. Последний период увлечения терракотовой облицовкой в нашей стране пришелся на 40—50-е годы. В этот период терракотовые плиты и архитектурные детали использовались для облицовки зданий Московского университета (МГУ), всех высотных домов в Москве и многих многоэтажных



Р и с . 5.7. Плитка керамическая фасадная:

а — лицевая сторона; *б* — тыльная сторона

жилых домов того периода в Москве, Киеве и других крупных городах.



Р и с . 5.8. Печной изразец (кафель) (вид с тыльной стороны)

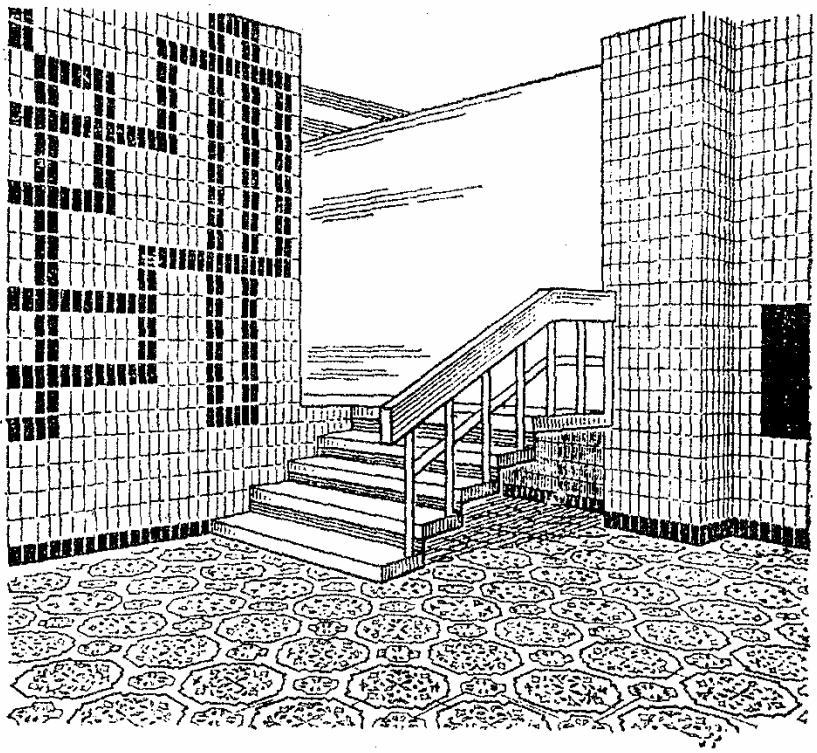
Терракота — очень долговечный и декоративный облицовочный материал, незначительно уступающий природному камню по свойствам, но значительно менее трудоемкий в производстве. Терракотовые изделия формуются из пластичных глиняных масс: плиты на ленточных прессах, а архитектурные детали с помощью форм (гипсовых, деревянных и металлических). Физико-механические показатели терракотовых изделий: марка по прочности — не ниже 100 (кгс/см^2), морозостойкость не менее F50.

Плитку для внутренней облицовки выпускают разнообразных типоразмеров. Чаще других используют плитку размером 150 х 150 мм и разнообразные элементы к ней — уголки, фризы и т. п. Такую плитку часто называют «кафельной». Это название пошло от фаянсовых изделий коробчатой формы с глазурованной поверхностью (от нем. *Kachel* — глиняная плошка), использовавшихся в XVII—XIX вв. для облицовки печей в жилых и общественных зданиях; по-русски их называли «изразцы» (от старослав. *образить* — украсить) (рис. 5.8).

Плитки для внутренней облицовки имеют пористый черепок и с лицевой стороны покрыты глазурью. Глазурь не только придает декоративный вид, но и делает плитки водостойкими и химически стойкими и гигиеничными. Такие плитки широко применяются для облицовки стен санитарно-технических узлов и кухонь в жилых и общественных зданиях, в больницах, на предприятиях пищевой и химической промышленности, вестибюлей и лестничных клеток (рис. 5.9). Нельзя использовать такие плитки для настилки полов (глазурь легко царапается) и для наружной облицовки (пористый черепок зимой быстро разрушится).

Плитку для полов изготовляют из тугоплавких глин методом сухого или полусухого прессования, обжигая их до полного спекания. Такие плитки почти не имеют пор и практически водонепроницаемы. В соответствии со стандартом их водопоглощение не должно быть выше 4 % (как правило, оно не более 1...2 %). Такие плитки часто называют «метлахские» (от названия немецкого города *Mettlach*, где было одно из первых производств подобных плиток).

Плитки могут быть окрашены в массе или иметь окрашенным только верхний слой. Поверхность плиток большей частью гладкая, но производят плитки и с фактурной поверхностью (например, имитирующие грубообработанный камень или древесину). Плитки отличаются



Р и с . 5.9. Отделка стен и пола керамическими плитками

высокой износостойкостью и прочностью, стойки к действию воды и химических реагентов, декоративны и легко моются. Размеры плиток от самых мелких (23 х 23 мм) мозаичных до плиток среднего размера (300 х 300 мм). Среди материалов для полов керамическая плитка отличается высоким теплоусвоением: такое покрытие пола называют «холодным».

В странах с теплым климатом (Южная Европа, Египет, Сирия и т. п.) полы из керамической плитки применяют во всех помещениях, включая гостиные и спальные комнаты. В России полы из плиток принято устраивать в помещениях с сырым режимом эксплуатации и повышенными гигиеническими требованиями (санитарно-технические узлы, лаборатории, больницы, пищеблоки и т. п.). В настоящее время в связи с появлением подогреваемых полов круг помещений, где целесообразно применять керамические плитки для полов, будет расширяться.

Облицовка керамикой — один из самых экономически эффективных видов отделки фасадов и интерьеров зданий. Хотя первоначальная стоимость такой облицовки выше многих других видов отделки, но с учетом очень *высокой долговечности* керамики, в конечном счете, керамическая облицовка оказывается выгоднее. К несомненным достоинствам такой облицовки необходимо отнести архитектурную выразительность. Расчеты экологичности керамической облицовки также указывают, что она и с этой точки зрения оказывается одной из лучших.

5.6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Санитарно-техническую керамику (раковины, унитазы, трубы, химическая посуда и т. п.) изготовляют из фаянса и фарфора.

Фаянс (от названия итальянского города Фаэнца) — разновидность тонкой керамики, получаемая из беложгущихся глин (60...65 %), кварца (30...35 %) и полевого шпата (3...5 %). Отформованное из пластичной массы и высушенное изделие подвергают первичному (так называемому «бисквитному») обжигу при температуре 1250...1280° С; после чего на его поверхность наносится глазурная масса и производится повторный обжиг (1050...1150° С) для глазурования. Глазурование фаянса необходимо, так как он имеет пористый черепок (П = 20...25 %) и высокое водопоглощение.

Фарфор (от перс. *фагефур*) — изделия тонкой керамики с плотным черепком — получают так же, как и фаянс из беложгущихся глин (около 50 %), но с бóльшим содержанием полевых шпатов (20...24 %) и меньшим содержанием кварца (20...25 %). Фарфор имеет плотный, полностью спекшийся черепок, просвечивающий в тонком слое. Фарфоровые изделия санитарно-технического назначения также покрывают глазурью для придания им гладкости и повышения санитарно-гигиенических свойств.

Физико-механические свойства фарфора и фаянса приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. **Физико-механические свойства фарфора и фаянса**

Свойства	Фаянс	Фарфор
Плотность, кг/м^3	1900...1950	2250...2300
Водопоглощение, %	10...12	0,2...0,5
Предел прочности при сжатии, МПа	до 100	400...500

Керамические санитарно-технические изделия отличаются декоративностью, универсальной химической стойкостью; благодаря твердой и гладкой поверхности они легко чистятся, длительное время сохраняя свои свойства. Недостаток таких изделий, как и керамики в целом,— хрупкость. Несмотря на это, керамика остается лучшим материалом для санитарно-технических изделий.

Канализационные трубы изготовляют из пластичных тугоплавких глин и покрывают глазурью снаружи и изнутри, что обеспечивает их полную водонепроницаемость, химическую стойкость и высокую пропускную способность. Такие трубы выдерживают гидростатическое давление более 0,2 МПа.

Керамические трубы имеют небольшую длину 800...1200 мм, но довольно большой диаметр 150...600 мм. Трубы соединяются друг с другом с помощью раструбов, отформованных на одном конце каждой трубы.

Дренажные трубы для мелиоративных работ изготовляют из кирпичных высокопластичных глин. Выпускают гладкие неглазурованные трубы, фильтрующие через свою толщу, и глазурованные с раструбами и перфорацией на стенках.

Клинкерный (дорожный) кирпич изготовляют из тугоплавких глин обжигом до полного спекания. Он имеет меньшие размеры (220 х 110 х 65 мм), чем обыкновенный стеновой кирпич, низкое водопоглощение (2...6 %), высокую прочность при сжатии (40...100 МПа) и морозостойкость не менее F100. Такой кирпич используют для мощения дорог и тротуаров, устройства полов промышленных зданий, кладки канализационных коллекторов.

Огнеупорные материалы получают по керамической технологии (формование, сушка, обжиг) из различных сырьевых компонентов. Их разделяют на *огнеупорные* (температура размягчения 1580...1770° С), *высокоогнеупорные* (1770...2000° С) и *высшей огнеупорности* (> 2000° С). В зависимости от химико-минерального состава огнеупоры могут быть кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные (на основе MgO), хромитовые, графитовые (углеродистые). Выбор огнеупора производят по двум показателям: температуре размягчения и стойкости в той среде, где он будет работать (расплавы стекла, шлаков или металла, химически активные газы и т. п.). Наибольшее применение в строительстве имеют кремнеземистые и алюмосиликатные огнеупоры.

Кремнеземистые огнеупоры (основной компонент SiO_2) по строению могут быть стеклообразные (кварцевое стекло) и кристаллические (динасовые огнеупоры).

Кварцевое стекло хорошо работает при температурах до 1000° С; при более высоких температурах оно расстекловывается (кристаллизуется) и крошится.

Динасовые огнеупоры получают обжигом при температуре около 900° С кварцевого сырья (молотый кварцевый песок с добавкой известковой или другой связки). Динасовые огнеупоры содержат не менее 93 % SiO_2 в виде устойчивых к высоким температурам модификаций тридимита или кристобаллита. Огнеупорность — 1600...1700° С. Их применяют для сводов стеклоплавильных и стекловаренных печей.

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

Полукислые огнеупоры изготовляют обжигом кварцевых пород на глиняной связке (содержание $SiO_2 > 65$ %; $Al_2O_3 < 28$ %). Огнеупорность —1580...1700° С.

Шамотные огнеупоры получают обжигом смеси шамота и огнеупорной глины. Они содержат 30...35 % Al_2O_3. Отличаются термостойкостью и шлакоустойчивостью. Огнеупорность таких материалов — до1500° С. Применяют в стекловаренной и цементной промышленности.

Высокоглиноземистые огнеупоры содержат более 45 % Al_2O_3; получают из бокситов. Их огнеупорность увеличивается с повышением со-

держания Al_2O_3 и при 60 % и более глинозема составляет 2000° С. Применяют для кладки доменных и стекловаренных печей.

Для обеспечения высокотемпературной тепловой изоляции выпускают *легковесные огнеупоры* с $\rho_m = 400...1300$ кг/м^3 и пористостью соответственно 85...45 %. Использование легковесных огнеупоров существенно снижает расход топлива (в 2—3 раза) и продолжительность разогрева печей (в 3—4 раза).

Лабораторная работа № 4
Кирпич и керамические камни

Цель: ознакомиться с различными видами кирпича и керамических стеновых камней, научиться определять их размеры, среднюю плотность, степень эффективности при использовании их для кладки стен.

Материалы: коллекция различных видов кирпича керамического (обыкновенного пластического прессования, полусухого формования, нескольких видов пустотелого кирпича, лицевой кирпич) и для сравнения силикатный кирпич, а также пустотелые керамические камни.

Приборы и приспособления: весы, линейки.

Ход работы

Для каждого вида кирпича и стенового камня определяют массу одного кирпича (камня), его размеры и объем. По этим данным определяют их среднюю плотность $\rho_т$ (кг/м^3). По формуле рассчитывают теплопроводность материалов:

$$\lambda = 1{,}16\sqrt{0{,}0196 + 0{,}22(\rho_м / \rho_{H_2O})^2} - 0{,}16, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

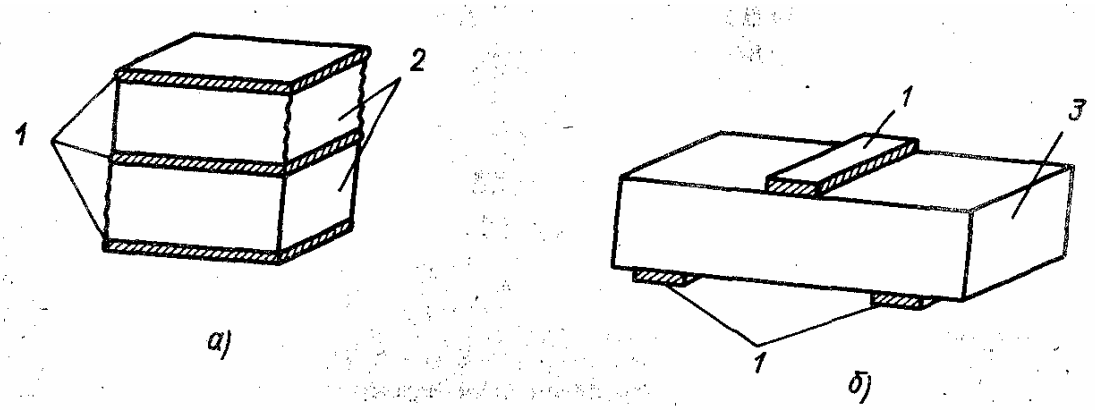
где $\rho_{H_2O} = 1000$ — плотность воды, кг/м^3. Все полученные данные заносят в табл. 5.3.

Таблица 5.3. **Свойства различных видов кирпича и стеновых камней**

Вид кирпича (камня)	Масса, г	Размеры, см			Объем, см^3	Средняя плотность, кг/м^3	Теплопроводность, Вт/(м · К)
		a	*b*	*h*			

Лабораторная работа № 5
Определение марки кирпича

Цель: ознакомиться с понятием «марка кирпича» и методом ее определения.



Р и с . 5.10. Схема испытания кирпича на сжатие (*а*) и изгиб (*б*) при определении его марки по прочности:

1 — выравнивающие слои; *2* — половинки кирпича; *3* — целый кирпич

Материалы: кирпич керамический обыкновенный, быстротвердеющее вяжущее, два листа стекла и тонкой бумаги (можно газетной) размером не менее 15 х 15 см.

Приборы и приспособления: пресс гидравлический с максимальным усилием 250...500 кН, разрывная машина или пресс с приспособлением для испытания на изгиб с максимальным усилием 10...50 кН, чаша и лопаточка для приготовления раствора.

Ход работы

Марку кирпича определяют по результатам испытания на сжатие и изгиб специальных образцов, заранее изготовляемых из кирпичей, отобранных из испытуемой партии. Таким образом, работа складывается из двух этапов: приготовления образцов и испытания образцов.

Для испытания на сжатие образец готовят следующим образом. Кирпич распиливают (или раскалывают) строго пополам, а затем из этих половинок на быстротвердеющем растворе (марки не ниже 100 кгс/см^2) изготовляют как бы модель стены (рис. 5.10). Для этого на ровном горизонтальном основании укладывают стеклянную пластинку со смоченным листом тонкой бумаги и на нее наносят слой раствора толщиной 3...5 мм. На раствор укладывают смоченную половинку кирпича, на кирпич снова наносят слой раствора и укладывают вторую половинку кирпича так, чтобы грани, образовавшиеся при распиливании кирпича, были обращены в противоположные стороны. Сверху на кирпич наносят слой раствора толщиной 3...5 мм, который накрывают стеклянной пластинкой со смоченным листом бумаги. Стеклянные пластины должны выровнять поверхность кирпича так, чтобы плиты пресса по всей плоскости плотно прилегали к образцу во

время испытаний, что, в свою очередь, обеспечит равномерную передачу нагрузки на образец. Смоченный лист бумаги предотвратит сцепление раствора со стеклом.

После затвердевания раствора образец вынимают из стеклянных пластин и испытывают на сжатие. Для этого образец устанавливают на нижнюю плиту пресса, развивающего усилие 250...500 кН. Подводят к образцу верхнюю плиту и включают пресс. Нагрузку на образец подают плавно. Разрушающую силу $F_{раз}$ (кН) фиксируют по остановке стрелки силоизмерительного устройства и появлению трещин на образце.

Предел прочности образца при сжатии $R_{сж}$ (МПа) определяют по формуле

$$R_{сж} = 10F_{разр}/A,$$

где A — площадь поперечного сечения образца, принимаемая для стандартного кирпича (250 х 120 х 65 мм) 150 см^2 (для кирпичей других размеров площадь образца следует определять на самом образце перед его испытаниями как среднее арифметическое площадей верхней и нижней граней образца).

Прочность при сжатии кирпича вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний пяти (трех) образцов.

Для испытания на изгиб на широкие грани (постели) кирпича наносят выравнивающие полоски из быстротвердеющего раствора шириной 20...30 мм и толщиной 3...5 мм по схеме, указанной на рис. 5.10, *б*. Плоскость полосок выравнивают стеклом.

После затвердевания раствора образец устанавливают в испытательную машину (пресс) с максимальной нагрузкой 10...50 кН на опоры по стандартной схеме. Опоры — цилиндрические катки диаметром 20...30 мм или треугольные призмы с закругленным ребром располагают по центрам выравнивающих полосок раствора. Нагрузка также передается через каток или призму.

Предел прочности образца (МПа) при изгибе вычисляют по формуле

$$R_{и} = 30F_{разр}l/2bh^2,$$

где $F_{разр}$ — разрушающая нагрузка, кН; l — длина пролета между опорами, равная 20 см; b — ширина кирпича, см; h — высота (толщина) кирпича, см.

Предел прочности кирпича при изгибе определяется как среднее арифметическое результатов испытаний пяти (трех) образцов.

Марку кирпича устанавливают путем сравнения полученных данный по пределу прочности кирпича при сжатии и изгибе с требованиями ГОСТа к прочности кирпича той или иной марки (см. табл. 5.1).

ГЛАВА 6. СТЕКЛО, СИТАЛЛЫ И КАМЕННОЕ ЛИТЬЕ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Стеклами называют переохлажденные жидкости, не успевшие при остывании перейти в кристаллическое состояние. Иными словами, стекла — это жидкости, имеющие бесконечно большую вязкость. Последнее и придает им многие свойства твердого тела. В отличие от истинно твердых тел стекла при нагревании не плавятся, а размягчаются, постепенно переходя в пластичное, а затем и в жидкое состояние. При охлаждении процесс идет в обратной последовательности. Еще одна отличительная черта стекол — *изотропность* — одинаковость свойств во всех направлениях.

Способность к образованию стекол характерна для многих минеральных и органических веществ. Наиболее ярко эта способность выражена у диоксида кремния (SiO_2) и соединений на его основе — силикатов, к которым относится большинство природных минералов. В стеклообразном состоянии могут находиться и многие другие материалы, например, полимеры (всем известен термин «плексиглас» — органическое стекло). В последние годы даже металлы удалось получить в стеклообразном состоянии.

Стекла по сравнению с кристаллическими веществами обладают повышенной внутренней энергией (скрытой энергией кристаллизации), поэтому вещество в стеклообразном состоянии *метастабильно* (термодинамически не устойчиво). Из-за этого обычное стекло при некоторых условиях, а иногда и самопроизвольно начинает кристаллизоваться (этот процесс в стеклоделии называют «заруханием» или расстекловывание). Расстекловывание является браком стеклоизделий.

Этот же процесс, но проводимый направленно с целью частичной или полной кристаллизации расплава, используется для получения стеклокристаллических материалов — ***ситаллов*** и ***каменного литья.***

В строительстве, за малым исключением, применяют ***силикатное стекло,*** получаемое в промышленных масштабах из простейшего минерального сырья: кварцевого песка, мела, соды и других компонентов (далее вместо термина «силикатное стекло» будет использоваться термин «стекло»).

Прозрачность и возможность окраски стекла в любые цвета, высокая химическая стойкость, достаточно высокая прочность и твердость, электроизоляционные и многие другие ценные свойства делают стекло незаменимым строительным материалом. Его используют не только для сооружения светопрозрачных конструкций (окон, витражей, фонарей), но и как конструкционный и отделочный материал. В современном строительстве высотные здания часто имеют фасады, полностью выполненные из стекла с улучшенными декоративными, светоотражающими и теплозащитными свойствами. Кроме того, из стекла

получают различные стеклоизделия (блоки, трубы, стеклопрофилит), эффективные теплоизоляционные материалы (пеностекло и стеклянную вату), а также стекловолокно и стеклоткани.

Стекла встречаются в природе в виде бесформенных непрозрачных кусков — например, вулканическое стекло обсидиан. Первые сведения о получении стекла человеком относятся к третьему-четвертому тысячелетию до н. э. Те стекла были непрозрачными (глухими) наподобие керамической глазури. Они варились в небольших тиглях и использовались как украшения.

Коренное изменение в производстве стекла произошло на рубеже нашей эры, когда были решены две важнейшие проблемы стеклоделия — варка прозрачного бесцветного стекла и формование изделий с помощью стеклодувной трубки. Первые листовые стекла получали, разрезая и распрямляя стеклянные цилиндры, формуемые выдуванием (их называли «халявы»). В XVII в. началось производство листового зеркального стекла отливкой на медные плиты. Массовое производство листового стекла большого размера стало возможным в конце XIX — начале XX в., когда появились большие ванные печи и новые методы выработки стекла.

Необходимо отметить, что на процесс стекловарения расходуется очень много энергии, и при этом в атмосферу поступает много вредных выбросов. Поэтому и экологически, и экономически целесообразно вырабатывать стеклоизделия из вторичного сырья (стеклобоя, стеклянной посуды и т. п.). Это оценили в большинстве стран Западной Европы, где до 80 % стекла получают именно таким образом.

6.2. ПОЛУЧЕНИЕ СТЕКЛА

Современное стекольное производство включает в себя три этапа: подготовка сырья, стекловарение и формование стеклоизделий.

Подготовка сырья. Химический состав обыкновенного оконного стекла по основным оксидам следующий: SiO_2 — 71...72 %; Na_2O — 15...16 %; CaO — 5...7 %; MgO — 3...4 %; Al_2O_3 — 2...3 %; содержание Fe_2O_3 не более 0,1 %, так как оксиды железа придают стеклу зеленовато-коричневый («бутылочный») цвет и снижают светопропускание. Основные оксиды вводятся в сырьевую шихту в виде следующих веществ.

Кремнезем (SiO_2) вводят в виде кварцевого песка, молотых кварцитов или песчаников. Основное требование к кремнеземистому сырью — минимальное количество примесей, особенно оксидов железа. Это основной стеклообразующий оксид, повышающий тугоплавкость и химическую стойкость стекла.

Глинозем (Al_2O_3) поступает в сырьевую шихту в виде полевых шпатов и каолина. Его влияние на свойства стекла аналогично действию SiO_2.

Оксид натрия (Na_2O) вводят в стекло в виде соды и сульфата натрия. Na_2O понижает температуру плавления стекла, повышает коэффициент термического расширения и уменьшает химическую стойкость.

Оксид кальция (CaO) и *магния* (MgO) вводят в стекольную шихту в виде мела, мрамора, известняка, доломита и магнезита. Эти оксиды повышают химическую стойкость стекла.

В специальные стекла вводят оксиды бора, свинца, бария и др.

Вспомогательные сырьевые материалы делят по своему назначению на следующие группы: осветлители — вещества, способствующие удалению из стекломассы газовых пузырей; обесцвечиватели — вещества, обецвечивающие стекольную массу; глушители — вещества, делающие стекло непрозрачным.

Красители для стекла могут быть молекулярными, полностью растворяющимися в стекломассе, и коллоидными, равномерно распределяющимися в стекломассе в виде мельчайших (коллоидных) частиц. К первым относятся соединения кобальта (синий цвет), хрома (зеленый), марганца (фиолетовый), железа (коричневый и сине-зеленые тона), а ко вторым — металлическое золото (рубиновый), серебро (желтый), селен (розовый).

Перед варкой стекла сырьевые материалы измельчают, тщательно смешивают в требуемых соотношениях, брикетируют и подают в стекловаренную печь.

Стекловарение. Обычное стекло получают в непрерывно действующих ванных печах с полезным объемом до 600 $м^3$ и суточной производительностью более 300 т. Для варки специальных (оптических, цветных и др.) стекол применяют периодически действующие ванные, а также горшковые печи.

Стекловарение — главнейшая операция стекольного производства. На первой стадии этого процесса — *силикатообразовании* — щелочные компоненты образуют с частью кремнезема силикаты, плавящиеся уже при 1000...1200° С. В этом расплаве при дальнейшем нагревании растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO_2 и Al_2O_3. Образующаяся при этом масса неоднородная по составу и насыщена газовыми пузырьками.

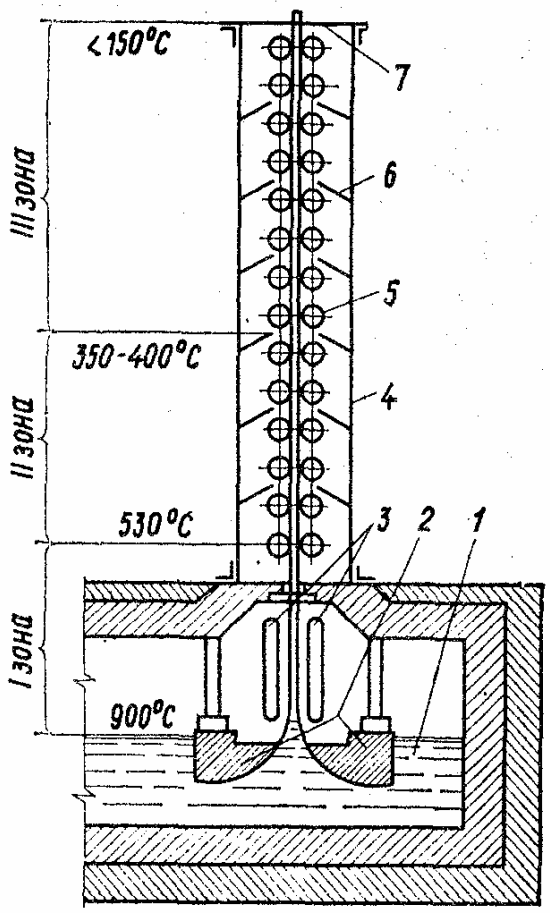
Удаление пузырьков и полная гомогенизация расплава осуществляется на второй наиболее длительной стадии стекловарения — *стеклообразовании* — при температуре 1400...1600° С. Третья заключительная стадия — *студка* — охлаждение стекломассы до температуры, при которой она приобретает оптимальную для данного метода формования стеклоизделий вязкость.

Формование. Метод выработки (формования) зависит от вида изделия. Для получения строительного стекла используют вытяжку, прокат, прессование.

При охлаждении стекла вследствие низкой его теплопроводности в нем возникают большие градиенты температур, вызывающие внут-

ренние напряжения. Наиболее опасным моментом с этой точки зрения является переход стекла от вязкопластического состояния к хрупкому, поэтому для снятия внутренних напряжений после формования производят отжиг — охлаждение по специальному режиму: быстрое до начала затвердевания стекломассы, очень медленное в опасном интервале температур (600..300° С) и вновь быстрое до нормальной температуры.

Основной вид строительного стекла — листовое. С начала XX в. большая часть листового стекла стала производиться (а в России производится и до сих пор) *методом вертикального вытягивания* на машинах ВВС (рис. 6.1). Так получают стекла толщиной до 6 мм. Суть метода сводится к следующему.



Р и с . 6.1. Машина вертикального вытягивания стекла:

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

Лента стекла формуется из стекломассы лодочкой (шамотным брусом с прорезью), удерживаемой на надлежащем уровне штангами. Стекломасса выдавливается в щель лодочки и оттягивается вверх валками машины в виде ленты шириной до 4,5 м. Скорость вытягивания достигает 2 м/мин. Проходя между холодильниками *3* от лодочки до первой пары валков, стекломасса охлаждается настолько, что становится твердой и валки не оставляют на ней отпечатков (I зона). Далее стекло валками *5* подается в шахту высотой 5–7 м. В нижней части шахты производится отжиг стекла (II зона). В верхней части стекло охлаждается окончательно и, выходя на отломочную площадку *7*, нарезается на требуемые размеры.

В 1959 г. появился новый способ получения высококачественного стекла — *флоат-метод* (от англ. *float* — плавать), при котором горячая стекломасса выливается на поверхность расплавленного металла (обычно олова) и формуется на нем. Производительность таких установок до 3...4 тыс. м^2/ч. Размер листов: ширина до 3 м; толщина от 2 до 25 мм. Преимущества флоат-метода — стабильная толщина листа и высокое качество поверхности, не требующее дальнейшей полировки. В Европе большая часть стекла вырабатывается именно этим методом.

6.3. СВОЙСТВА СТЕКЛА

Силикатные стекла отличаются необычным сочетанием свойств, высокой прочностью и ярко выраженной хрупкостью, свето- и радиопрозрачностью, абсолютной водонепроницаемостью и универсальной химической стойкостью. Все это объясняется спецификой состава и строения стекла.

Плотность стекла зависит от химического состава и для обычных строительных стекол составляет 2400...2600 кг/м^3. Плотность оконного стекла — 2550 кг/м^3. Высокой плотностью отличаются стекла, содержащие оксид свинца («богемский хрусталь») — более 3000 кг/м^3. Пористость и водопоглощение стекла практически равны 0 %.

Механические свойства. Стекло в строительных конструкциях чаще подвергается изгибу, растяжению и удару и реже сжатию, поэтому главными показателями, определяющими его механические свойства, следует считать прочность при растяжении и хрупкость.

Теоретическая *прочность стекла при растяжении* — (10...12) · 10^3 МПа. Практически же эта величина ниже в 200...300 раз и составляет от 30 до 60 МПа. Это объясняется тем, что в стекле имеются ослабленные участки (микронеоднородности, дефекты поверхности, внутренние напряжения). Чем больше размер стеклоизделий, тем вероятнее наличие таких участков. Примером зависимости прочности стекла от размера испытуемого изделия служит стеклянное волокно. У стекловолокна диаметром 1...10 мкм прочность при растяжении 300...500 МПа, т. е. почти в 10 раз выше, чем у листового стекла. Сильно снижают прочность стекла на растяжение царапины; на этом основана резка стекла алмазом.

Прочность стекла при сжатии высока — 900...1000 МПа, т. е. почти как у стали и чугуна. В диапазоне температур от — 50 до + 70° С прочность стекла практически не изменяется.

Стекло при нормальных температурах отличается тем, что у него отсутствуют пластические деформации. При нагружении оно подчиняется закону Гука вплоть до хрупкого разрушения. *Модуль упругости стекла* $E = (7...7{,}5) \cdot 10^4$ МПа.

Хрупкость — главный недостаток стекла. Основной показатель хрупкости — отношение модуля упругости к прочности при растяжении $E/R_р$. У стекла оно составляет 1300...1500 (у стали 400...460, каучука 0,4...0,6). Кроме того, однородность строения (гомогенность) стекла способствует беспрепятственному развитию трещин, что является необходимым условием для проявления хрупкости.

Твердость стекла, представляющего собой по химическому составу вещество, близкое к полевым шпатам, такая же, как у этих минералов, и в зависимости от химического состава находится в пределах 5...7 по шкале Мооса.

Оптические свойства стекла характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением, рассеиванием и др. Обычные силикатные стекла, кроме специальных (см. ниже), пропускают всю видимую часть спектра (до 88...92 %) и практически не пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Показатель преломления строительного стекла ($n = 1{,}50...1{,}52$) определяет силу отраженного света и светопропускание стекла при разных углах падения света. При изменении угла падения света с 0 до 75° светопропускание стекла уменьшается с 90 до 50 %.

Теплопроводность различных видов стекла мало зависит от их состава и составляет 0,6...0,8 Вт/(м · К), что почти в 10 раз ниже, чем у аналогичных кристаллических минералов. Например, теплопроводность кристалла кварца — 7,2 Вт/(м · К).

Коэффициент линейного температурного расширения (КЛТР) стекла относительно невелик (для обычного стекла $9 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}). Но из-за низкой теплопроводности и высокого модуля упругости напряжения, развивающиеся в стекле при резком одностороннем нагреве (или охлаждении), могут достигать значений, приводящих к разрушению стекла. Это объясняет относительно малую *термостойкость* (способность выдерживать резкие перепады температур) обычного стекла. Она составляет 70...90° С.

Звукоизолирующая способность стекла довольно высока. Стекло толщиной 1 см по звукоизоляции приблизительно соответствует кирпичной стене в полкирпича — 12 см.

Химическая стойкость силикатного стекла — одно из самых уникальных его свойств. Стекло хорошо противостоит действию воды, щелочей и кислот (за исключением плавиковой и фосфорной). Объясняется это тем, что при действии воды и водных растворов из наружного слоя стекла вымываются ионы Na^+ и Ca^{++} и образуется химически стойкая пленка, обогащенная SiO_2. Эта пленка защищает стекло от дальнейшего разрушения.

6.4. ЛИСТОВОЕ СТЕКЛО

Основной вид стекла, применяемый в строительстве,— листовое стекло, используемое для остекления оконных и дверных проемов, витрин и т. п. Наряду с этим все шире развивается выпуск листового стекла со специальными свойствами, например, теплопоглощающего, светоотражающего, увиолевого, защитного, декоративного и др.

Листовое оконное стекло вырабатывается шести марок толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм. Ширина листов — 250...1600 мм, длина — до 2200 мм. Масса 1 $м^2$ — 2...5 кг. Светопропускание — не менее 87 %. К дефектам оконного стекла относятся газовые включения (пузырьки), свиль и «полосность» (неровность поверхности).

Витринное стекло — листовое стекло толщиной 6...10 мм и размером до 3500 х 6000 мм. Витринное стекло, как правило, делают полированным.

Светорассеивающее стекло пропускает свет, но не дает сквозной видимости. Оно может быть матовое или узорчатое. Матовое получают пескоструйной обработкой или обработкой в парах плавиковой кислоты (HF). Узорчатое получают методом горизонтального проката на фигурных вальцах. Оригинальный метод используется для получения стекла под названием «мороз»: узор получается при помощи столярного клея, наносимого на поверхность стекла.

Увиолевое стекло — стекло, пропускающее большую долю ультрафиолетовых лучей (45...75 %), получают из сырья с минимальными примесями оксидов железа, хрома и титана. Такие стекла применяют в лечебных учреждениях, для остекления оранжерей и т. п.

Специальное листовое стекло или **функциональное стекло** не только пропускает свет, но и выполняет другие важные функции:

- теплоизоляция зимой и теплозащита летом;
- звукоизоляция и защита от утечки информации;
- защита от механического разрушения;
- создание декоративного эффекта.

Теплоизоляционные стекла отличаются от обычных тем, что благодаря специальному тонкому покрытию на внутренней стороне стекла они снижают долю теряемого через стекло тепла путем отражения инфракрасной части спектра («тепловых лучей») обратно вовнутрь помещения. Светопропускание таких стекол немного ниже, чем у обычных,— 72...79 %.

Теплозащитные (солнцезащитные) стекла выполняют обратную функцию: они отражают часть падающей на них лучистой энергии, не пропуская ее в помещение. Это достигается двумя методами:

- на поверхность стекла наносится тончайший металлический слой, работающий, как зеркало;
- на поверхности стекла создается слой из оксидов металла, задерживающий часть солнечных лучей и придающий стеклу серый, зеленоватый или бронзовый оттенок.

Защитные стекла — стекла с повышенными прочностными свойствами, не раскалывающиеся на опасные остроугольные осколки. Для получения стекол, более прочных и безопасных по сравнению с обычным листовым стеклом, существует несколько способов.

Закаленное стекло получают специальной термической обработкой стекла. При этом в нем создаются сжимающие напряжения, за счет чего повышается прочность на изгиб в 5...8 раз и прочность на удар в 4...6 раз. При разрушении такое стекло распадается на мелкие (5...10 мм) кусочки кубической формы, безопасные для человека. В строительстве

такие стекла применяют для устройства прозрачных дверей, перегородок и т. п.

Армированное стекло получают путем запрессовки в расплавленную стекломассу во время ее проката чистой сетки из хромированной стальной проволоки. Эта сетка удерживает осколки стекла при его повреждении (рис. 6.2).

Ламинированное стекло (от лат. *lamina* — слой) реализует парадоксальную идею упрочнения стекла с помощью эластичной полимерной пленки, запрессованной между слоями стекла. При ударе по стеклу в нем возникает трещина, идущая в глубь стекла. Когда трещина встречает на своем пути полимерную пленку, последняя, деформируясь, поглощает энергию развития трещины и останавливает ее. При этом внутренняя часть стекла остается целой. Такие стекла получили название «триплекс».

Подобный композиционный листовой материал из трех слоев стекла и двух слоев полимерной пленки делает стекло пуленепробиваемым.

Самые современные варианты специальных стекол изготовляют таким образом, что функциональные слои (светоотражающие, теплозащитные и т. п.) наносятся на полимерную пленку, и они оказываются внутри слоистой конструкции, защищающей их от повреждения. Такой метод и более технологичен, так как напыление слоев металла или оксидов проще производить на полимерную пленку, чем на лист стекла.

6.5. ОТДЕЛОЧНОЕ СТЕКЛО

Стекло обладает исключительно высокой стойкостью к действию химически агрессивных сред, высокой твердостью, нулевым водопоглощением (т. е. абсолютной морозостойкостью) и при этом способно окрашиваться в различные цвета красками, не теряющими яркости от атмосферных воздействий. Благодаря гладкости поверхности загрязнения практически не задерживаются на стекле и легко смываются водой. Такая совокупность свойств позволяет получать из стекла высококачественные отделочные материалы.

Листовое декоративное стекло в последние годы широко применяется при возведении общественных зданий. Особенной популярностью пользуются металлизированные зеркальные стекла различных оттенков (золотистые, голубые, серые и т. п.). Они позволяют решить одновременно и архитектурно-декоративную задачу и обеспечить освещение помещений здания (светопропускание таких стекол 0,15...0,2). Здания, облицованные такими стеклами, благодаря их высокой отражающей способности, зрительно становятся «легче»; при этом пространство как бы расширяется. Этот прием многократно использован при постройке небоскребов в США, Канаде и других странах. В Москве комплекс подобных зданий построен у станции метро «Юго-Западная».

Стемалит — листы витринного стекла, покрытые с внутренней стороны керамической краской, закрепленной термообработкой. Стемалит имеет богатую гамму оттенков (более 25 цветов). Размер листов 400 х 900 и 1100 х 1500 мм. Примером отделки стемалитом может служить здание Московской мэрии (бывшее здание СЭВ) и гостиницы «Аэрофлот».

Марблит — листы, отформованные из цветного глушеного стекла толщиной 6...12 мм. Лицевая поверхность марблита — полированная, тыльная — рифленая. Стекло может быть однотонным или имитировать природный мрамор. Кроме облицовки фасадов, марблит можно применять для внутренней отделки, устройства подоконников, прилавков и т. п.

Стеклянная плитка может быть получена по различным технологиям и различных размеров.

Стеклянная эмалированная плитка получается нанесением на прямоугольные плитки из стекла размером от 100 х 100 до 200 х 200 мм глазури (эмали) с последующей термообработкой для ее закрепления.

Плитки стеклянные ковровo-мозаичные (размером 20 х 20 и 25 х 25 мм) изготовляют прокатом из цветной глушеной стекломассы рифленым валком. Полученную ленту разламывают на плитки, которые лицевой стороной наклеивают на крафтбумагу. Получившиеся ковры используют при устройстве облицовки (см. § 5.4).

Смальта — кусочки цветного глушеного стекла неправильной формы размером около 20 мм; получают разламыванием более крупных плиток. Смальту используют для изготовления художественных мозаичных панно.

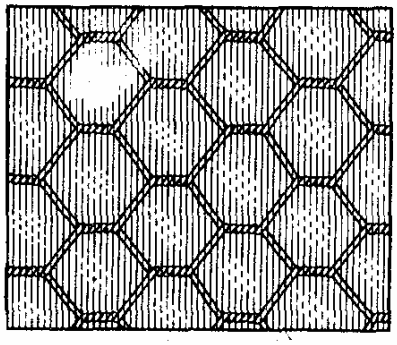
Стеклокристаллит, стеклокремнезит и другие виды отделочных плиток. Их получают спеканием до полной монолитизации смеси гранул стекла, горных пород и т. п. на стекольной или керамической связке. Эти материалы имеют свойства, характерные для стекломатериалов, хотя технология их получения ближе к керамической.

Декоративная крошка из цветного стекла «эрклёз» используется для получения декоративных бетонов методом втапливания крошки в поверхность свежеотформованного бетона.

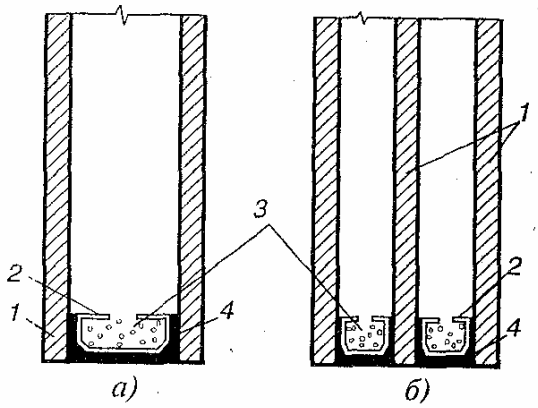
6.6. ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛА

Из стекла изготовляют широкую номенклатуру изделий: стеклопакеты, стеклоблоки, стеклопрофилит, кровельные волнистые листы, дверные полотна и др.

Стеклопакеты — наиболее распространенный вид изделий из стекла. Получают стеклопакеты из двух (одинарный стеклопакет) или трех (двойной стеклопакет) листов стекла, герметично соединенных между собой по контуру. Между листами стекла находится прослойка из



Р и с . 6.2. Стекло, армированное проволочной сеткой



Р и с . 6.3. Конструкция «склеенного» стеклопакета:

а — одинарного; *б* — двойного; *1* — стекло; *2* — дистанционная рамка; *3* — осушитель; *4* — склеивающий герметик

сухого воздуха или инертного газа (рис. 6.3). Соединение листов в стеклопакет может осуществляться склейкой, пайкой или сваркой.

Стеклопакеты применяют для остекления окон и других световых проемов. Использование стеклопакетов имеет существенные преимущества перед обычным остеклением листовым стеклом, так как они не запотевают, не замерзают и не нуждаются в протирке внутренних поверхностей. Стеклопакеты имеют низкую теплопроводность, а звукопроницаемость окон со стекопакетом в 2...3 раза ниже обычных.

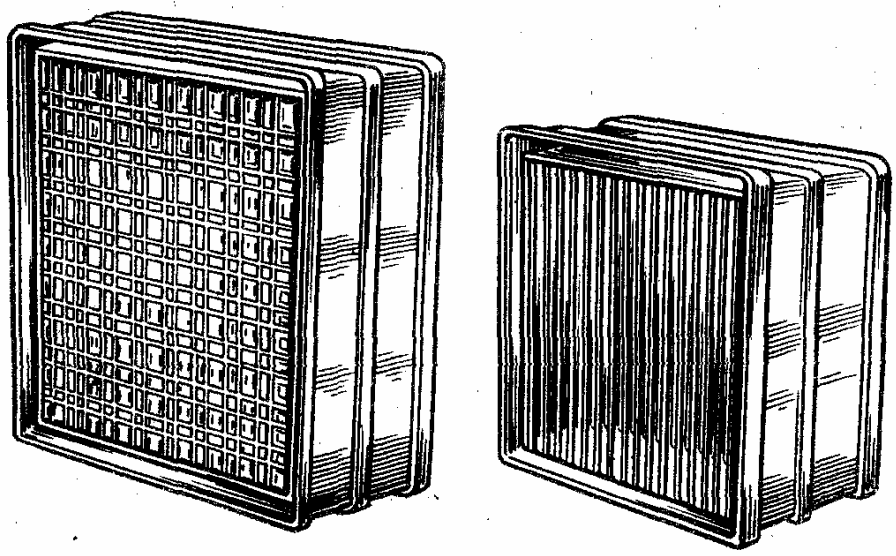
Эффективное применение стеклопакетов возможно в комплексе с решением проблемы качества рам и оконных коробок. Так, использование алюминиевых и пластиковых рам и коробок исключает потери тепла через неплотности окна.

Стеклянные блоки целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо получить светопрозрачную ограждающую конструкцию с хорошими тепло- и звукоизоляционными характеристиками.

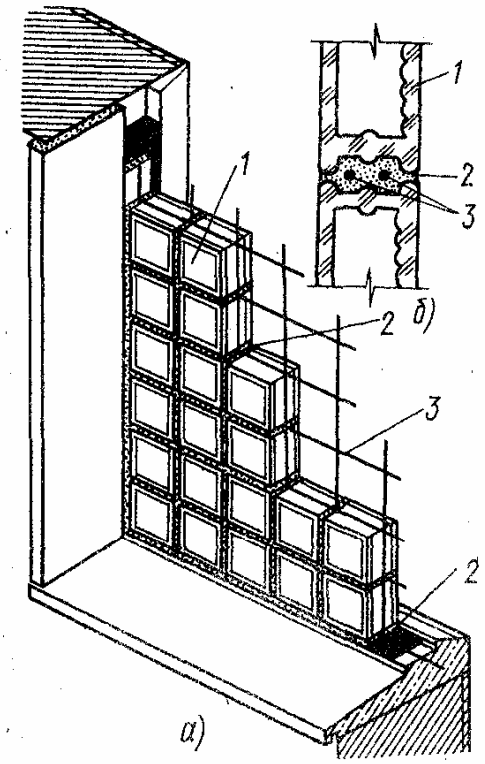
Стеклоблоки (рис. 6.4) вырабатываются из горячей стекломассы на пресс-автоматах, формующих половинки блоков, а затем сваривающие их. При остывании в блоках образуется разряжение, обеспечивающее хорошие изоляционные свойства. Внутренняя поверхность блоков имеет рифление, сообщающее блоку светорассеивающие свойства.

Размеры стеклоблоков от 200 х 200 до 400 х 400 мм при толщине до 100 мм. Блоки могут быть бесцветными и цветными. Светопропускание блоков — 50...60 %. Коэффициент теплопроводности — 0,4...0,45 Вт/(м · К), т. е. почти в 2 раза ниже, чем у кирпича. Кроме обычных блоков изготовляют *двухкамерные* (с перегородкой, уменьшающей теплопроводность блока почти в 1,5 раза) и *светонаправленные* (со специальным рифлением, дающим направленный поток света).

Стеклянные блоки применяют в стеклобетонных самонесущих конструкциях, схема устройства которых дана на рис. 6.5.



Р и с . 6.4. Пустотелые стеклянные блоки

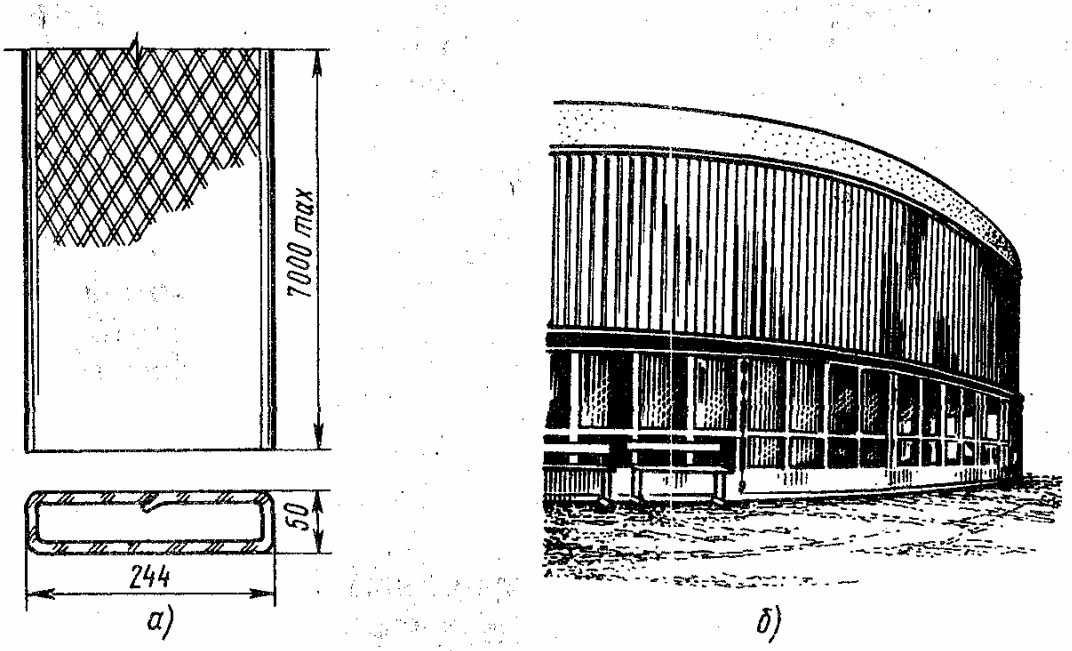


Р и с . 6.5. Световой проем из стеклоблоков (*а*) и узел соединения стеклоблоков (*б*):

1 — стеклоблоки; *2* — цементный раствор; *3* — арматурные стержни

Стеклопрофилит — длинноразмерные (до 5 м) профилированные элементы из стекла, изготовляемые методом горизонтального проката. Стеклопрофилит может быть коробчатого и таврового (П-образного) профиля. Его применяют так же, как и стеклянные блоки для устройства светопрозрачных ограждений (наружных стен и перегородок) в промышленных зданиях, выставочных и спортивных залах и т. п. (рис. 6.6). Устанавливают стеклопрофилит в металлических обоймах с пластиковыми или резиновыми уплотнителями.

Стеклянные трубы благодаря высокой химической стойкости, гладкости поверхности и прозрачности с успехом соперничают с металлическими. В ряде областей (например, химическая и пищевая промышленность) их применение предпочтительнее. Пропускная способность стеклянных труб на 5...10 % выше, чем стальных при одинаковом диаметре. Основной недостаток стеклянных труб — хрупкость и низкая термостойкость (допустимый перепад температур 50° С). Стеклянные трубы используют как в вакуумных, так и в напорных (до 0,7 МПа) сетях.



Р и с . 6.6. Стеклопрофилит (*а*) и здание с фасадом из стеклопрофилита (*б*)

Стекловолокно получают путем продавливания стекольного расплава через тончайшие фильеры (отверстия в твердых материалах) с последующей вытяжкой и намоткой на бобины. Диаметр волокна — 3...100 мкм, длина — до 20 км (для непрерывного волокна). Более короткие (1...50 см) штапельные волокна получают раздувом расплава паром. Из стекловолокна получают стеклянные ткани и стекловойлок, которые используют как армирующий компонент при производстве стеклопластиков или в качестве основы в рулонных кровельных и гидроизоляционных материалах (например, стеклоизол, стеклорубероид).

Пеностекло — блоки из вспученного в момент нахождения в расплавленном состоянии стекла. По структуре и свойствам пеностекло напоминает вулканическую пемзу и используется как теплоизоляционный материал (подробнее см. § 17.2).

6.7. СИТАЛЛЫ И ШЛАКОСИТАЛЛЫ

Ситаллы — стеклокристаллические материалы, получаемые путем направленной частичной кристаллизации стекол. Структура ситаллов напоминает микробетон, где наполнителем являются кристаллы, а вяжущим — прослойки стекла. Доля стеклофазы в ситаллах обычно 20...40 %. Кристаллическая фаза состоит из микрокристаллов размером около 1 мкм. Благодаря такому строению ситаллы сохраняют в себе многие положительные свойства стекла, в том числе и его технологичность, но лишены его недостатков: хрупкости, низкой термостойкости.

Сырье для производства ситаллов такое же, как и для стекла, но в расплав вводятся вещества-модификаторы, обеспечивающие направленную кристаллизацию.

Для строительных целей весьма перспективны *шлакоситаллы*, получаемые на основе металлургических шлаков и модификаторов — CaF_2, TiO_2 и др. У шлакоситаллов очень высокая прочность ($R_{сж}$ = =300...600 МПа; $R_{изг}$ = 90...120 МПа), износостойкость и химическая стойкость. По долговечности шлакоситалл может конкурировать с природными каменными материалами (гранит, габбро и т. п.).

Применение шлакоситаллов перспективно для химической промышленности (трубы, плитки, детали насосов), в гидротехнике (для облицовки турбинных камер, водосливов), в дорожном строительстве и т. п.

6.8. КАМЕННОЕ И ШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ

Из горных пород и металлургических шлаков методом *литья из расплавов* можно получить разнообразные строительные материалы с высокими эксплуатационными свойствами.

Сырье. В качестве исходного сырья для производства каменного литья применяют магматические (базальт, диабаз) и осадочные (доломит, известняк, песок) горные породы. Первые дают темноокрашенные изделия, а вторые — светлоокрашенные. Для получения каменного литья возможно использование металлургических шлаков; особенно эффективно их использование в огненно-жидком состоянии.

Производство литых каменных изделий начинается с подготовки и плавления (1400...1500° С) сырьевой шихты. Полученный расплав выливается в формы и подвергается *медленному* охлаждению для прохождения кристаллизации. С целью ускорения кристаллизации вводят добавки-минерализаторы, служащие центрами кристаллизации. Последняя операция — *отжиг* — второй этап медленного охлаждения, проводимый для снятия внутренних напряжений.

Свойства каменного литья. Изделия из каменного литья по своей однородности и техническим свойствам превосходят природные каменные материалы.

Плотность каменного литья 2700...3000 кг/м^3; пористость — не более 1...2 %; поры замкнутые, что обеспечивает нулевое водопоглощение и высочайшую морозостойкость.

Прочность при сжатии составляет 200...250 МПа, при изгибе — 30...50 МПа, твердость 6...7 (по шкале Мооса), износостойкость очень высокая. Для каменного литья характерна очень высокая и универсальная химическая стойкость.

Применение. Литые каменные изделия используют для облицовки конструкций, подвергающихся серьезным агрессивным воздействиям: многократному замораживанию-оттаиванию, интенсивному истиранию, воздействию химически агрессивных веществ и т. п. Поэтому основными видами литых каменных изделий являются облицовочные плитки, брусчатка для мощения дорог, мелющие тела и облицовка для

мельниц, трубы. Диэлектрические свойства каменного литья используются в производстве электроизоляционных изделий.

Каменное литье светлых тонов применяют как материал для облицовки уникальных зданий и сооружений, а также для изготовления архитектурных деталей и скульптуры.

Контрольные вопросы

1. Что называют стеклами? 2. Какие главнейшие оксиды входят в состав стекла? 3. Каковы главнейшие свойства стекла? 4. Как получают листовое стекло? 5. Назовите отделочные материалы из стекла. 6. Что такое ситаллы? 7. Каковы области применения изделий из каменного литья?

ГЛАВА 7. МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ

Металлы — кристаллические вещества, характеризующиеся высокими электро- и теплопроводностью, ковкостью, способностью хорошо отражать электромагнитные волны и другими специфическими свойствами. Свойства металлов обусловлены их строением: в их кристаллической решетке есть не связанные с атомами электроны, которые могут свободно перемещаться.

В технике обычно применяют не чистые металлы, а сплавы, что связано с трудностью получения чистых веществ, а также с необходимостью придания металлам требуемых свойств.

Сплавы — это системы, состоящие из нескольких металлов или металлов и неметаллов. Сплавы обладают всеми характерными свойствами металлов. В строительстве применяют сплавы железа с углеродом (сталь, чугун), меди и олова (бронза) и меди и цинка (латунь) и др. На практике термин «металлы» распространяют и на сплавы, поэтому далее он относится и к металлическим сплавам.

Применяемые в строительстве металлы делят на две группы: черные и цветные.

К черным металлам относятся железо и сплавы на его основе (чугун и сталь).

Сталь — сплав железа с углеродом (до 2,14 %) и другими элементами. По химическому составу различают стали углеродистые и легированные, а по назначению — конструкционные, инструментальные и специальные.

Чугун — сплав железа с углеродом (более 2,14 %), некоторым количеством марганца (до 2 %), кремния (до 5 %), а иногда и других элементов. В зависимости от строения и состава чугун бывает белый, серый и ковкий.

К цветным металлам относятся все металлы и сплавы на основе алюминия, меди, цинка, титана.

Широкое использование металлов в строительстве и других отраслях экономики объясняется сочетанием у них высоких физико-механических свойств с технологичностью.

Металлы обладают высокой прочностью, причем прочность на изгиб и растяжение у них практически такая же, как и на сжатие (у каменных материалов прочность на изгиб и растяжение в 10...15 раз ниже прочности на сжатие). Так, прочность стали более чем в 10 раз превышает прочность бетона на сжатие и в 100...200 раз прочность на изгиб и растяжение; поэтому, несмотря на то, что плотность стали (7850 кг/м^3) в 3 раза выше плотности бетона (2500 кг/м^3), металлические конструкции при той же несущей способности значительно легче и компактнее бетонных. Этому способствует также высокий модуль упругости стали (в 10 раз выше, чем у бетона и других каменных материалов). Еще более эффективны конструкции из легких сплавов (табл. 7.1).

Таблица 7.1. **Физико-механические свойства металлов и их сплавов**

Металл	Предел прочности при растяжении, МПа	Плотность, кг/м^3
Чугун	100...600	7850
Углеродистая сталь	200...600	7850
Легированная сталь	500...1600	7850
Алюминиевые сплавы	100...300	2500...3000
Титановые сплавы	до 1500	4500...5000

Металлы очень технологичны: во-первых, изделия из них можно получать различными индустриальными методами (прокатом, волочением, штамповкой и т. п.), во-вторых, металлические изделия и конструкции легко соединяются друг с другом с помощью болтов, заклепок и сварки.

Однако с точки зрения строителя металлы имеют и недостатки. Высокая теплопроводность металлов требует устройства тепловой изоляции металлоконструкций зданий. Хотя металлы негорючи, но металлические конструкции зданий необходимо специально защищать от действия огня. Это объясняется тем, что при нагревании прочность металлов резко снижается и металлоконструкции теряют устойчивость и деформируются. Большой ущерб экономике наносит коррозия металлов (см. § 7.10). Металлы широко применяют в других отраслях промышленности, поэтому их использование в строительстве должно быть обосновано экономически.

7.2. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Металлы, как и другие вещества, могут существовать в различных кристаллических формах (модификациях). Это явление называется *полиморфизмом.*

Полиморфные превращения в металлах происходят при изменении температуры. Так, при температуре свыше 723° С железо переходит из α-модификации в γ-модификацию, при этом изменяются физико-механические свойства металла. При резком охлаждении металла высокотемпературные модификации могут и не переходить в низкотемпературные. На этом, например, основана термообработка металлов (закалка, отпуск, нормализация).

Химически чистые металлы на практике используют редко. Это связано с трудностью получения чистых веществ, а также с возможностью получать металлы с определенными требуемыми свойствами путем создания различных сплавов.

В металловедении различают три типа сплавов: твердый раствор, механическую смесь, химическое соединение. Если атомы входящих в состав сплава элементов незначительно отличаются размером и строением электронной оболочки, то они могут образовывать общую кристаллическую решетку. Сплав с таким строением называют *твердым раствором.* Если элементы сплава не образуют твердого раствора, а каждый из них кристаллизуется самостоятельно, то такой сплав называют *механической смесью.* Если элементы сплава вступают в химическое взаимодействие, образуя новое вещество, такой сплав называют *химическим соединением.* Практически сплавы могут сочетать в себе все три типа строения.

Рассмотрим зависимость свойств сплава от его состава и строения на примере железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов).

Чистое железо — серебристо-белый мягкий пластичный металл, почти не окисляющийся на воздухе. Прочность его значительно ниже прочности стали и чугуна. При производстве в черные металлы в виде примесей к железу попадают углерод, кремний и некоторые другие вещества. Наибольшее влияние на их свойства оказывает углерод, содержащийся в количестве 0,5...5 %.

Способность железа растворять углерод и другие элементы служит основой для получения разнообразных сплавов.

Углерод, растворяясь в железе, образует твердые растворы. В низкотемпературной модификации железа (α-железе) растворяется мало углерода (до 0,02 %), такой раствор называют *ферритом.* Феррит обладает низкой твердостью и высокой пластичностью. Чем больше в сплаве содержится феррита, тем он мягче и пластичнее. Высокотемпературная модификация железа (γ-железо) лучше растворяет углерод (до 2 %), образуя твердый раствор *аустенит,* также характеризующийся высокой пластичностью.

Химическое соединение железа с углеродом — карбид железа, в котором содержится 6,67 % углерода, называют *цементитом*. Цементит хрупок и имеет высокую твердость. Чем больше цементита в сплаве, тем он более твердый и хрупкий. В некоторых случаях (например, в присутствии больших количеств кремния) цементит не образуется, а углерод выделяется в виде графита (в сером чугуне).

В сталях и чугунах феррит, аустенит и цементит существуют в виде механических смесей. Иными словами, сталь и чугун — поликристаллические материалы, свойства которых зависят как от химического состава (количества железа, углерода и других примесей), так и от структуры (типа и размера кристаллов). Например, при нагревании до температуры выше 723° С твердая и прочная углеродистая сталь, состоящая из смеси феррита и цементита, становится мягкой и прочность ее падает, так как смесь феррита и цементита переходит в аустенит — раствор углерода в γ-железе. На этом основана горячая обработка (прокат, ковка) углеродистых сталей. Этим же объясняется резкое падение прочности стальных конструкций при нагреве во время пожара.

7.3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Основной способ производства черных металлов — получение чугуна из руды и последующая его переработка в сталь. Для получения стали используют также металлолом. В последние годы начало развиваться непосредственное производство стали из железных руд.

Производство чугуна. Чугун получают в доменных печах высокотемпературной (до 1900° С) обработкой смеси железной руды, твердого топлива (кокса) и флюса. Флюс (обычно известняк $CaCO_3$) необходим для перевода пустой породы (состоящей в основном из SiO_2 и Al_2O_3), содержащейся в руде, и золы от сжигания топлива в расплавленное состояние. Эти компоненты, сплавляясь друг с другом, образуют доменный шлак, который представляет собой в основном смесь силикатов и алюминатов кальция.

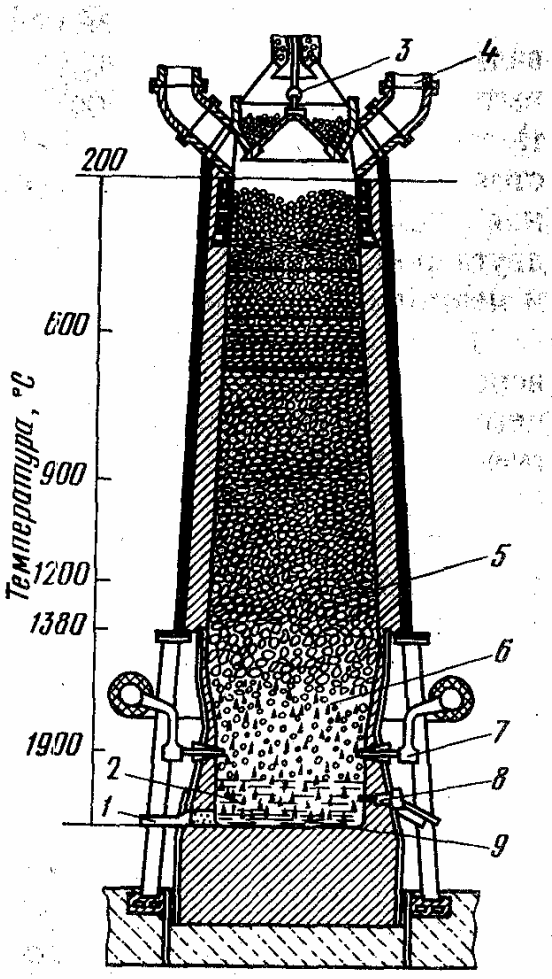
Доменная печь — очень большое инженерное сооружение. Полезный объем печи — 2000...3000 м^3, а суточная производительность — 5000...7000 т. В печь (рис. 7.1) сверху через устройство *3* загружают шихту, а снизу через фурмы *7* подают воздух. По мере продвижения шихты вниз ее температура поднимается. Кокс, сгорая в условиях ограниченного доступа кислорода, образует CO, который, взаимодействуя с оксидами железа, восстанавливает их до чистого железа, окисляясь до CO_2. Железо плавится и при этом растворяет в себе углерод (до 5 %), превращаясь в чугун. Расплавленный чугун *9* стекает в низ печи, а расплав шлака *2*, как более легкий, находится сверху чугуна. Чугун и шлак периодически выпускают через летки *1* и *8* в

ковш. На каждую тонну чугуна получается около 0,6 т огненно-жидкого шлака.

Доменный шлак — ценное сырье для получения строительных материалов: шлакопортландцемента, пористого заполнителя для бетонов — шлаковой пемзы, шлаковой ваты, шлакоситаллов и др.

Чугун главным образом (около 80 %) идет для производства стали, остальная часть чугуна используется для получения литых чугунных изделий.

В зависимости от состава различают белый и серый чугуны. *Белый* чугун твердый и прочный, содержит большое количество цементита; в *сером* из-за присутствия кремния цементит не образуется и углерод выделяется в виде графита.



Р и с . 7.1. Схема доменной печи:
1 — летка для выпуска жидкого чугуна; *2* — расплавленный шлак; *3* — загрузочное устройство; *4* — газоотводная труба; *5* — капли расплавленного чугуна; *6* — капли шлакового расплава; *7* — фурма для подачи воздуха; *8* — летка для выпуска расплавленного шлака; *9* — жидкий чугун

Производство стали. Сталь получают из чугуна и железного металлолома и специальных добавок, в том числе и легирующих элементов плавлением в мартеновских печах, конверторах или электрических печах. Выплавка стали — сложный процесс, складывающийся из целого ряда химических реакций между сырьевой шихтой, добавками и топочными газами. Выплавленную сталь разливают на слитки или перерабатывают в заготовки методом непрерывной разливки.

Изготовление стальных изделий. Стальные слитки — полуфабрикат, из которого различными методами получают необходимые изделия. В основном применяют обработку стали давлением: металл под действием приложенной силы деформируется, сохраняя приобретенную форму. При обработке металла давлением практически нет отходов. Для облегчения обработки сталь часто предварительно нагревают. Различают следующие виды обработки металла давлением: прокатка, прессование, волочение, ковка, штамповка. Наиболее распространенный метод обработки — прокатка; им обрабатывается более 70 % получаемой стали.

При *прокатке* стальной слиток пропускают между вращающимися валками прокатного стана, в результате чего заготовка обжимается, вытягивается и в зависимости от профиля прокатных валков приобретает заданную форму (профиль). Прокатывают сталь в холодном состоянии. Сортамент стали горячего проката — сталь круглая, квадратная, полосовая, уголковая равнобокая и неравнобокая, швеллеры, двутавровые балки, шпунтовые сваи, трубы, арматурная сталь гладкая и периодического профиля и др.

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

Ковка — обработка раскаленной стали повторяющимися ударами молота для придания заготовке заданной формы. Ковкой изготовляют разнообразные стальные детали (болты, анкеры, скобы и т. д.).

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

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

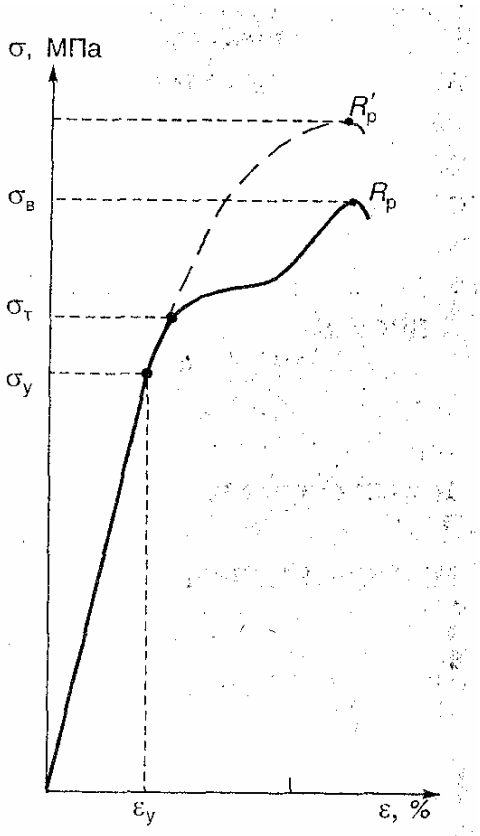
Холодное профилирование — процесс деформирования листовой или круглой стали на прокатных станах. Из листовой стали получают гнутые профили с различной конфигурацией в поперечнике, а из круглых стержней на станках холодного профилирования путем сплющивания — упрочненную холодносплющенную арматуру.

7.4. СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

Сталь наряду с бетонами — главнейший конструкционный материал. Широкому использованию в строительстве сталь обязана высоким физико-механическим показателям, технологичности (возможности получения из нее конструкций различными методами) и большими объемами производства. Ниже рассмотрены основные технические характеристики стали и приведены численные значения некоторых характеристик сталей различного состава и строения.

Плотность стали — 7850 кг/м^3, что приблизительно в 3 раза выше плотности каменных материалов (например, обычный тяжелый бетон имеет плотность — 2400 ± ± 50 кг/м^3).

Прочностные и деформативные свойства стали обычно определяются испытанием стали на растяжение. При этом строится диаграмма «напряжение — деформация». Сталь, как и другие металлы, ведет себя как упруго-пластичный материал (рис. 7.2). В начале испытаний деформации у стали пропорциональны напряжениям. Максимальное напряжение, при котором сохраняется эта зависимость, называется *предел пропорциональности* $\sigma_у$ (при этом напряжении остаточные деформации не должны превышать 0,05 %).



Р и с . 7.2. Диаграмма испытания стали на растяжение:
$\sigma_у$ — предел упругости; $\varepsilon_у$ — упругая деформация; $\sigma_в$ — временное сопротивление; $R_р$ — предел прочности

При дальнейшем повышении напряжения начинает проявляться текучесть стали — быстрый рост деформаций при небольшом подъеме напряжений. Напряжение, соответствующее началу течения, называют *предел текучести* $\sigma_т$.

Затем наступает некоторое замедление роста деформаций при подъеме напряжений («временное упрочнение»), после чего наступает разрушение образца, называется *временным сопротивлением* $\sigma_в$, что является фактическим *пределом прочности* стали ($R_р$).

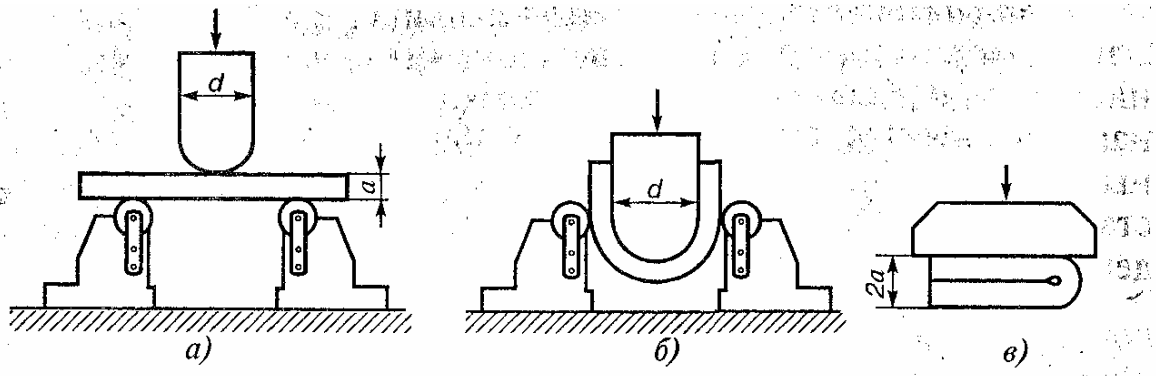
Относительное удлинение стали ε в момент разрыва характеризует ее *пластичность*. Оно рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = ((l_1 - l_0)/l_0) \cdot 100,$$

где l_0 — начальная длина расчетной части образца, мм; l_1 — длина этой части в момент разрыва образца, мм.

Испытание на растяжение является основным при оценке механических свойств сталей. *Модуль упругости* стали составляет 2,1 · 10^5 МПа.

Твердость сталей определяют на твердомерах Бринелля (НВ) или Роквелла (HR) по величине вдавливания индентера (закаленного шарика или алмазной пирамидки) в испытуемую сталь. Твердость вычисляют в МПа с указанием метода испытаний. Твердость поверхности стали можно повышать специальной обработкой (например, цементацией — насыщением поверхностного слоя стали углеродом или закалкой токами высокой частоты).



Р и с . 7.3. Схема испытаний на загиб:
а — исходное положение; *б* — загиб на 180° с оправкой; *в* — загиб на 180° без оправки

Ударная вязкость — свойство стали противостоять динамическим (ударным) нагрузкам. Ее значение определяют по величине работы, необходимой для разрушения образца на маятниковом копре. Ударная вязкость зависит от состава стали, наличия легирующих элементов и заметно меняется при изменении температуры. Так, у Ст3 ударная вязкость при + 20° С составляет 0,5...1 МДж/м^2, а при —20° С — 0,3...0,5 МДж/м^2.

Технологические свойства. Технологические испытания стали показывают ее способность принимать определенные деформации, аналогичные тем, которые стальное изделие будет иметь при дальнейшей обработке или в условиях эксплуатации. Для строительных сталей чаще всего производят пробу на холодный загиб.

При испытании на загиб (рис. 7.3) определяются не усилия для осуществления деформации, а условия (угол загиба, диаметр оправки), при которых возможно протекание деформации без нарушения сплошности образца (т. е. без появления трещин и расслоения). Чем пластичнее сталь, тем меньше диаметр оправки при испытаниях (см. табл. 7.2).

Для стальной проволоки подобные испытания проводятся на установке, позволяющей перегибать проволоку на заданный угол. Мерой пластичности служит число перегибов проволоки до разрушения.

Теплотехнические свойства сталей в малой степени зависят от ее состава.

Теплопроводность стали, как и всех металлов, очень высока и составляет около 70 Вт/(м · К).

Коэффициент линейного термического расширения стали составляет 10^{-5}К.

Температура плавления стали зависит от ее состава и для обычных углеродистых сталей находится в пределах 1500...1300° С (чугун с содержанием углерода 4,3 % плавится при 1150° С).

Температуроустойчивость стали связана с тем, что при нагревании в ней происходят полиморфные превращения, приводящие к снижению прочности. Небольшая потеря прочности наблюдается уже при нагреве выше 200° С; после достижения температуры 500...600° С обычные стали становятся мягкими и резко теряют прочность. Поэтому стальные конструкции не огнестойки и их необходимо защищать от действия огня, например, покрытием цементными растворами.

7.5. УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Металлические конструкции, арматуру для железобетона, трубы, крепежные детали и другие строительные изделия изготовляют, как правило, из конструкционных углеродистых сталей. Конструкционные легированные стали используют только для особо ответственных металлических конструкций и арматуры для предварительно напряженного бетона. Однако благодаря эффективности объем использования легированных сталей постоянно расширяется.

Углеродистые стали — это сплавы, содержащие железо, углерод, марганец и кремний, а также вредные примеси — серу и фосфор, снижающие механические свойства стали (их содержание не должно превышать 0,05...0,06 %). В зависимости от содержания углерода такие стали делятся на низко- (до 0,25 % углерода), средне- (0,25...0,6 %) и высокоуглеродистые (> 0,6 %). С увеличением содержания углерода уменьшается пластичность и повышается твердость стали; прочность ее также возрастает, но при содержании углерода более 1 % вновь снижается. Повышение прочности и твердости стали объясняется увеличением содержания в стали твердого компонента — цементита.

Углеродистые стали по назначению подразделяют на стали общего назначения и инструментальные.

Углеродистые стали общего назначения подразделяют на три группы: А, Б и В.

Стали *группы А* изготовляют марок Ст0, Ст1 и т. д. до Ст6 и поставляют потребителю с гарантированными механическими свойствами без уточнения химического состава. Чем больше номер стали, тем больше в ней содержится углерода: в стали Ст3 — 0,14...0,22 % углерода, в стали Ст5 — 0,28...0,37 %. Механические свойства стали группы А приведены в табл. 7.2.

Из стали марок Ст1 и Ст2, характеризующейся высокой пластичностью, изготовляют заклепки, трубы, резервуары и т. п.; из сталей Ст3 и Ст5 — горячекатаный листовой и фасонный прокат, из которого выполняют металлические конструкции и большинство видов арматуры для железобетона. Эти стали хорошо свариваются и обрабатываются.

Стали *группы Б* (БСт0, БСт1, БСт3 и т. д.) поставляют с гарантированным химическим составом; стали *группы В* — с гарантированным

химическим составом и механическими свойствами. Благодаря определенности химического состава стали групп Б и В можно подвергать термической обработке.

Таблица 7.2. **Показатели механических свойств углеродистой стали обыкновенного качества группы А**

Марка стали	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$, МПа	Относительное удлинение σ, %	Загиб на 180° (a — толщина образца, d — диаметр оправки)
Ст0	Не менее 310	—	20...33	—
Ст1	310...420	—	31...35	Без оправки
Ст2	320...440	200...230	29...33	То же
Ст3	370...500	210...250	23...27	$d = 0{,}5a$
Ст4	410...540	240...270	21...25	$d = 2a$
Ст5	500...600	260...290	17...20	$d = 2a$
Ст6	Не менее 600	300...320	12...15	$d = 3a$

Легированные стали помимо компонентов, входящих в углеродистые стали, содержат так называемые легирующие элементы, которые повышают качество стали и придают ей особые свойства. К легирующим элементам относятся: марганец (условное обозначение — Г), кремний — С, хром — Х, никель — Н, молибден — М, медь — Д и другие элементы. Каждый элемент оказывает свое влияние на сталь: *марганец* повышает прочность, износостойкость стали и сопротивление ударным нагрузкам без снижения ее пластичности, *кремний* повышает упругие свойства, *никель* и *хром* улучшают механические свойства, повышают жаростойкость и коррозионную стойкость; *молибден* улучшает механические свойства стали при нормальной и повышенной температурах.

Легированные стали по назначению делят на конструкционные, инструментальные и стали со специальными свойствами (нержавеющие, жаростойкие и др.). Для строительных целей применяют в основном конструкционные стали.

Конструкционные низколегированные стали содержат не более 0,6 % углерода. Основные легирующие элементы низколегированных сталей: кремний, марганец, хром, никель. Другие легирующие элементы вводят в небольших количествах, чтобы дополнительно улучшить свойства стали. Общее содержание легирующих элементов не превышает 5 %.

Низколегированные стали обладают наилучшими механическими свойствами после термической обработки.

При маркировке легированных сталей первые две цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента, следующие за ним буквы — условное обозначение легирующих элементов. Если количе-

ство легирующего элемента составляет 2 % и более, то после буквы ставят еще цифру, указывающую это количество. Например, марка стали 25ХГ2С показывает, что в ней содержится 0,25 % углерода, около 1 % хрома, 2 % марганца и около 1 % кремния. При маркировке высококачественных легированных сталей (с низким содержанием серы и фосфора) в конце ставится буква А.

В строительстве применяют легированные стали 10ХСНД, 15ХСНД для ответственных металлических конструкций (ферм, балок); 35ХС, 25Г2С, 25ХГ2СА, 30ХГСА и 35ХГСА — для арматуры предварительно напряженного бетона.

Прочность на растяжение таких сталей в 2...3 раза выше, чем обыкновенных углеродистых сталей Ст3 и Ст5. Так, у стали 30ХГСА предел прочности при растяжении не менее 1100 МПа, а у стали 35ХГСА — не менее 1600 МПа (у стали Ст5 — 500...600 МПа). Такие высокие прочностные показатели позволяют получать из легированных сталей более легкие конструкции при сохранении необходимой несущей способности. Это, в свою очередь, снижает расход металла и уменьшает массу здания.

7.6. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

Изменения физико-механических свойств стали можно добиться не только меняя ее состав, но и путем направленной термической обработки. При этом у стали меняется структура. В основе этого лежит то, что при одном и том же составе при разных температурах устойчивыми оказываются различные кристаллические модификации и, меняя режим нагрева, можно фиксировать ту или иную структуру стали.

Наиболее часто применяют закалку, отпуск и нормализацию сталей.

Закалка стали заключается в нагреве стали до 800...1000° С (температура зависит от состава стали) и быстром охлаждении в воде или в масле. При закалке в стали образуется мартенситовая структура, характеризующаяся высокой твердостью и прочностью, но при этом снижается пластичность и ударная вязкость.

Нормализация — нагрев стали с последующим охлаждением на воздухе. При этом образуется однородная мелкозернистая структура с повышенными механическими свойствами (особенно увеличиваются пластичность и ударная вязкость). Нормализация производится обычно на изделиях, полученных прокаткой, ковкой или отливкой.

Отпуск — медленный нагрев стали до 250...350° С, выдержка при этой температуре и медленное охлаждение на воздухе. Отпуск производится для снижения уровня внутренних напряжений и перевода стали в ферритно-цементитную структуру. Этот процесс как бы обратный закалке. Основная задача отпуска — повышение пластичности стали с сохранением высокой прочности.

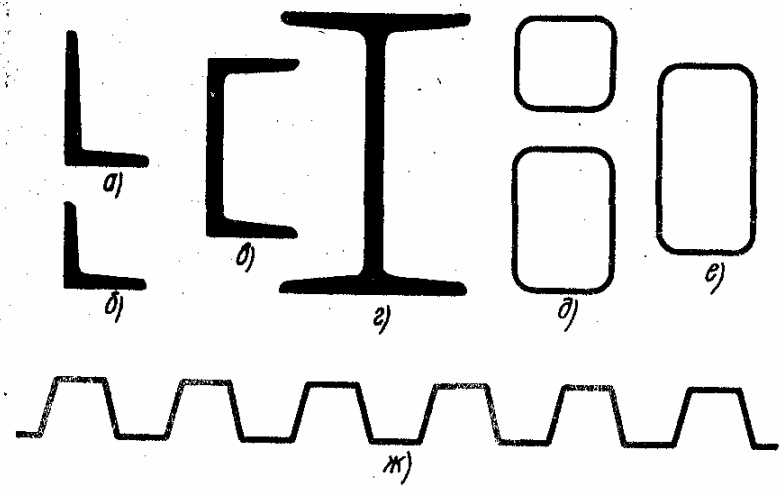
7.7. СТАЛЬНОЙ ПРОКАТ И СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Большое количество стали используют для изготовления строительных стальных конструкций — крупноразмерных элементов зданий и сооружений. Стальные конструкции изготовляют из стального проката, соединяемого сваркой, заклепками и болтами. Начало применения стальных конструкций в строительстве относится к концу XIX в., когда было освоено промышленное производство стали. Стальные конструкции надежны в эксплуатации, обладают небольшой массой и габаритами по сравнению с каменными и железобетонными конструкциями.

В современном строительстве стальные конструкции используют в качестве несущих конструкций для высотных жилых зданий, уникальных общественных зданий, промышленных предприятий, а также при строительстве мостов, телевизионных башен и т. п. Чаще всего стальные конструкции воспринимают изгибающие и растягивающие усилия, реже сжимающие. Наиболее рационально применять стальные конструкции для перекрытия больших пролетов в зданиях (цехи, зрительные залы, Дворцы спорта), для каркасов высотных зданий и промышленных цехов с тяжелым крановым хозяйством.

Стальные конструкции обычно выполняют из прокатных элементов различного профиля (выпускаемых по определенному перечню — сортаменту), трубчатых и гнутых профилей, полосовой и листовой стали. В строительстве чаще всего применяют следующие прокатные и гнутые профили: двутавровые балки, швеллеры, уголки равно- и неравнополочные, квадратные и прямоугольные трубы (рис. 7.4). Каждый профиль выпускают нескольких типоразмеров, регламентированных стандартами.

Балки двутавровые изготовляют 23 типоразмеров от № 10 до № 60 (номер указывает высоту балки в см), длиной от 4 до 13 м; *швеллеры*



Р и с . 7.4. Основные виды прокатных профилей:

а — неравнополочный уголок; *б* — равнополочный уголок; *в* — швеллер; *г* — двутавр; *д, е* — холодногнутые трубчатые профили; *ж* — стальной профильный настил

— 22 типоразмеров от № 5 до № 40 и длиной от 4 до 13 м. Помимо двутавровых балок и швеллеров указанных типоразмеров выпускают широкополочные двутавры и швеллеры, которые отличаются от обычных большей шириной полки и меньшей общей высотой профиля, при этом несущая способность элемента сохраняется. Широкополочные профили применяют, когда необходимо сократить высоту металлоконструкции.

Прокатную угловую равнополочную сталь выпускают 84 типоразмеров с шириной полок 20...250 мм и толщиной 3...30 мм, а *неравнополочную* — 50 типоразмеров с шириной большей полки 25...250 мм и толщиной полок 3...20 мм.

Гнутые профили — более рациональные металлические изделия, чем стальной прокат, так как они имеют более тонкие стенки и соответственно меньшие массу и расход металла при той же несущей способности. Гнутые профили выпускают в виде квадратных (размером от 40 х 40 до 180 х 180 мм) и прямоугольных (от 60 х 20 до 200 х 160 мм) труб, швеллеров (от 40 х 25 до 300 х 100 мм) и С-образных профилей.

Стальные прокатные и гнутые профили используют как самостоятельно, так и для получения составных металлических конструкций большой несущей способности: колонн, балок, ферм. Для изготовления стальных конструкций используют также листовую и широкополосную сталь толщиной 6...20 мм.

Для устройства перекрытий в промышленных зданиях выпускают *стальной профилированный настил* из листовой стали толщиной 0,8...1 мм. Ширина листов настила 680 и 782 мм, длина 6,9 и 12 м, высота гофра 60 и 72 мм.

Стальные конструкции изготовляют на специализированных заводах индустриальными методами и поставляют в виде отдельных крупных сборочных единиц или целиком. При монтаже их соединяют друг с другом болтами или сваркой.

По назначению стальные конструкции подразделяют на колонны, прогоны, фермы.

Колонны бывают сплошные, состоящие из одного или нескольких профилей, или решетчатые, которые состоят из двух или четырех ветвей, соединенных между собой решеткой. Верхняя часть колонны называется оголовком, нижняя — башмаком. Колонна воспринимает сжимающие нагрузки.

Прогоны (балки) обычно двутаврового сечения изготовляют или из двутавровых балок, или в случае перекрытия больших пролетов сварными из стального листа (высота балки при этом может достигать 2 м).

Фермы — плоские решетчатые конструкции, перекрывающие весь пролет здания (длина ферм 18; 24; 30; 36 м и более) — изготовляют

обычно из угловой стали с креплением сборочных единиц листовой сталью.

Перспективно применение *пространственных металлических конструкций* для перекрытия больших пролетов.

Все стальные конструкции, поступающие на стройки, должны быть огрунтованы. Места соединений и повреждения огрунтовки огрунтовывают после монтажа. Необходимо помнить, что стальные конструкции, имеющие большую несущую способность в рабочем положении, могут легко деформироваться от небольших усилий во время транспортирования и хранения. Поэтому транспортируют и хранят их в соответствии с требованиями к данной конструкции. Гибкие элементы при транспортировании раскрепляют.

7.8. СТАЛЬНАЯ АРМАТУРА

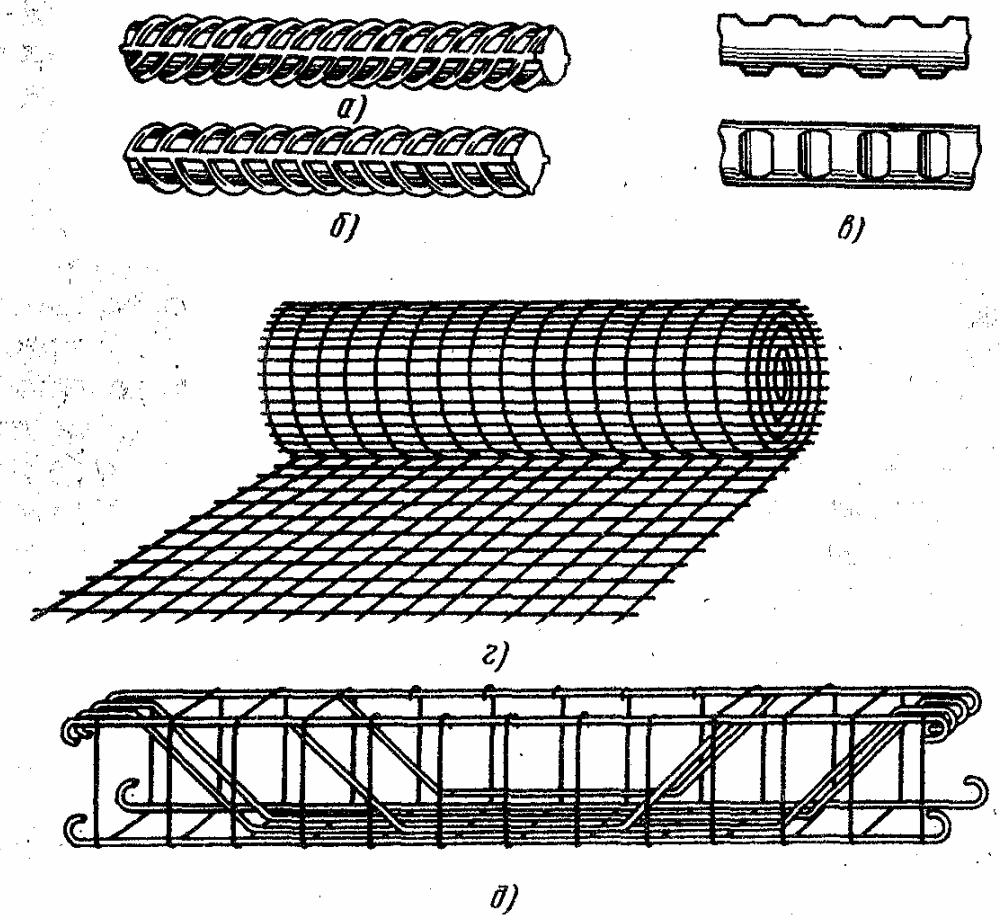
Большое количество стали используют в качестве арматуры в железобетоне. В среднем для получения 1 м^3 железобетона требуется 50...100 кг стали. Для армирования железобетона применяют стальные стержни и проволоку как непосредственно, так и в виде сеток и каркасов, изготовляемых в основном заводским методом.

В зависимости от условий применения арматуру подразделяют на ненапрягаемую — для обычного армирования и напрягаемую, используемую в предварительно напряженном железобетоне.

Стержневая арматурная сталь представляет собой горячекатаные стержни диаметром 6...80 мм. В зависимости от марки стали и соответственно физико-механических показателей стержневую арматуру делят на шесть классов (табл. 7.3). С повышением класса увеличивается предел прочности и снижается относительное удлинение при разрыве арматурной стали.

Таблица 7.3. **Свойства стержневой арматурной стали**

Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм	Предел, МПа, не менее		Относительное удлинение, %
			текучести	прочности	
A-I	Ст3	6...40	235	375	25
	28Г2С	40...80			
A-II	Ст5	10...40	294	490	19
	18Г2С	10...80			
A-III	25Г2С	6...40	392	590	14
	35ГС				
A-IV	20ХГ2Ц	10...22	590	883	6
	80С	10...18			
A-V	23Х2Г2Т	10...22	785	1030	7
A-VI	22Х2Г2АЮ	10...22	980	1230	7
	22Х2Г2Р				
	20Х2Г2СР				



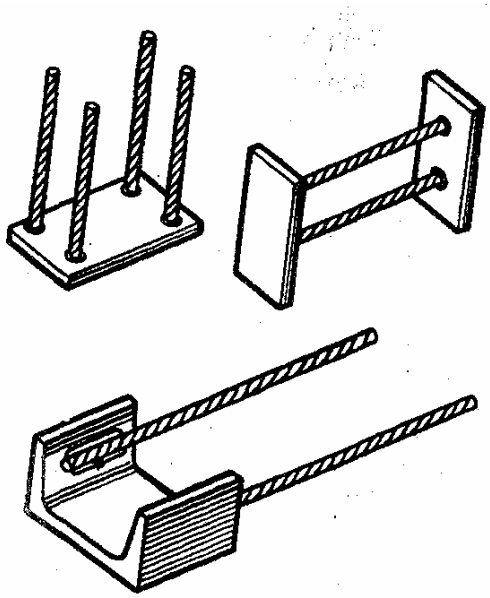
Р и с . 7.5. Стальная арматура для железобетона:

а, б — горячекатаные стержни периодического профиля; *в* — холоднотянутая профилированная проволока; *г* — арматурная сетка; *д* — арматурный каркас

Арматурные стержни класса А-I гладкие, А-II...А-VI — периодического профиля (рис. 7.5, *а, б*), что улучшает их сцепление с бетоном. Стержневую арматуру диаметром более 10 мм поставляют в виде прутков длиной от 6 до 18 м; диаметром 6...9 мм (называемую катанкой) — в бухтах и выпрямляют в стержни на месте применения.

Стальную арматурную проволоку изготовляют двух классов: В-I — из низкоуглеродистой стали (предел прочности 550...580 МПа) и В-II — из высокоуглеродистой или легированной стали (предел прочности 1300...1900 МПа). Проволоку получают из стальных прутьев путем вытяжки; при этом она упрочняется в результате изменения структуры металла (явление наклепа). Проволока класса В-I предназначена для армирования бетона без предварительного напряжения, а В-II — для предварительно напряженного армирования. Если на проволоке делают рифления для улучшения сцепления с бетоном (см. рис. 7.5, *в*), то в обозначение добавляют букву р (например, Вр-I или Вр-II).

Из стальной проволоки изготовляют также арматурные сетки и каркасы (см. рис. 7.5, *г, д*), нераскручивающиеся пряди (трех-, семи-



Р и с . 7.6. Закладные детали для сборных железобетонных конструкций

и двенадцатипроволочные) марок П-3, П-7 и П-12 и стальные канаты. Канаты и пряди используют для напряженной арматуры.

Закладные детали (рис. 7.6) предназначены для соединения железобетонных элементов между собой. Изготовляют их из стали Ст3 в виде пластин с приваренными к ним анкерами из стержневой стали Ст5 периодического профиля. Пластины располагаются на поверхности железобетонного элемента, а анкеры — в его теле. В некоторых случаях для более прочной связи анкеры соединяют с арматурой изделия.

Монтажные петли, закладываемые в железобетонные элементы, изготовляют из арматурной стали класса А-I. Диаметр стержня определяют расчетом петли на разрыв под действием силы тяжести бетонного элемента.

7.9. СОЕДИНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Соединения деталей и элементов металлических, железобетонных и других конструкций бывают неразъемными (сварные и заклепочные) и разъемными (болтовые). Все соединения конструкций, выполняемые на строительстве, называют монтажными.

Сварные соединения. На строительстве применяют, как правило, ручную дуговую сварку с помощью стальных электродов со специальным покрытием. Вещества, входящие в состав покрытий, способствуют горению электрической дуги и при плавлении образуют шлаки и газы, которые защищают расплавленный металл сварного шва от окисления. Электроды изготовляют диаметром 1,5...4,0 мм, длиной 250...450 мм. Каждому виду металла соответствует свой тип электрода с определенным покрытием.

Заклепочные соединения предназначены для конструкций, воспринимающих большие динамические нагрузки. Заклепка представляет собой круглый стержень с головкой. Стержень вводят в подготовленное отверстие в соединяемых деталях, головку прижимают поддержкой, а выступающую часть стержня ударами обжимки расплющивают, образуя замыкающую головку. При этом стержень утолщается, полностью заполняет высверленное отверстие и элементы конструкции соединяются наглухо. Заклепки обычно изготовляют из низкоуглеродистой пластичной стали Ст2 и Ст3.

Болтовые соединения нетрудоемки и достаточно надежны даже в особо нагруженных конструкциях. Болты для монтажных соединений изготовляют диаметром 6...24 мм с интервалом 2 мм. Завертывают их так, чтобы в теле болта создалось напряжение 150...200 МПа. При этом используются упругие свойства стали: благодаря напряжению в теле болта соединяемые элементы сжимаются очень плотно.

7.10. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Цветные металлы и сплавы на их основе производятся в значительно меньших количествах, чем черные, и применяют в специальных случаях, так как стоимость их по сравнению с черными металлами высока. В основном их используют, когда требуется высокая коррозионная стойкость, электро- и теплопроводность, повышенные декоративные качества, а для сплавов на основе алюминия — малый вес конструкций. Реально в строительстве находят применение сплавы меди и алюминия; большие перспективы имеют сплавы на основе титана.

Медь и сплавы на ее основе. Чистая медь — мягкий (НВ 350), пластичный металл красноватого цвета, плотностью 8960 кг/м^3, отличающийся высокой теплопроводностью [λ = 390 Вт/(м·К)] и электропроводностью. Прочность меди не велика — $R_р$ = 180...240 МПа; температура плавления — 1080° С. Медь и ее сплавы относятся к числу металлов, известных с глубокой древности. Этому способствовало то, что медь встречалась в природе в виде самородков, а также достаточно просто выплавлялась из медных руд. Свое название медь (лат. *cuprum*) получила по названию острова Кипр. Медь применяют в основном в виде сплавов: латуни и бронзы.

Латуни — сплавы меди с цинком (10...40 %); хорошо поддаются прокату, штамповке и вытягиванию. Прочность и твердость более высокая, чем у меди $R_р$ = 250...600 МПа; НВ (500...700). В строительстве латунь используют для декоративных элементов (поручни, накладки и т. п.) и для санитарно-технических устройств. В некоторых странах (например, Англии) латунные трубы, характеризующиеся теплопроводностью и коррозионной стойкостью применяют в отопительных и водопроводных системах; такие системы отличаются очень высокой долговечностью.

Бронзы — сплавы меди с оловом (до 10 %), алюминием, свинцом и др. Их прочность почти такая же, как у меди, твердость же существенно выше — НВ (600...1600). Бронзы обладают хорошими литейными свойствами и коррозионноустойчивы. Применяют для декоративных целей (арматура для дверей и окон и др.), в сантехнике и для специальных целей.

Алюминий и сплавы на его основе. Алюминий — легкий серебристый металл (плотность 2700 кг/м^3) с низкой прочностью ($R_р$ = 80...100 МПа)

и твердостью (НВ 200); характеризуется высокой электро- и теплопроводностью [λ = 340 Вт/(м · К)]. Несмотря на химическую активность, алюминий стоек к атмосферной коррозии благодаря защитным свойствам оксидной пленки, образующейся на его поверхности. Алюминий в промышленных масштабах начали производить лишь в XX в. из-за технологических трудностей производства. В чистом виде алюминий в строительстве практически не применяют. Для повышения прочности, твердости и технологических свойств в него вводят легирующие добавки (Mn, Cu, Mg, Si, Fe и др.). Основные виды алюминиевых сплавов — литейные и деформируемые.

Литейные алюминиевые сплавы (силумины) — сплавы алюминия с кремнием (до 23 %) и другими элементами, обладают высокими литейными качествами; повышенной по сравнению с алюминием прочностью ($R_р$ до 200 МПа) и твердостью [НВ = (500...700)] при достаточно высокой пластичности.

Деформируемые алюминиевые сплавы (дюралюмины) составляют около 80 % производства алюминиевых сплавов. Это большая группа разнообразных по составу сплавов с высокими механическими свойствами ($R_р$ = 200...500 МПа) (табл. 7.4), но пониженной коррозионной стойкостью.

Таблица 7.4. **Показатели механических свойств алюминиевых сплавов для строительных конструкций**

Сплав	Марка сплава	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %
Алюминиево-марганцевый	АМц-М	100...170	16...22
	АМг-М	160...230	10...18
Алюминиево-магниевый	АМг6-М	320	15
	АМг61-М	380...410	12
Дюралюминий (сплав алюминия с медью, магнием и марганцем)	ДТ-Т	360...410	10...15
	Д16-Т	400...490	6...14

Дюралюмины легко перерабатываются прокаткой, штамповкой, прессованием и сваркой в листы, трубы и профили самой сложной формы. В строительстве эти сплавы широко применяют для изготовления оконных и дверных переплетов и коробок, в качестве кровельного материала, для наружной облицовки зданий, для трехслойных панелей с пенопластовым или минераловатным утеплителем, алюминиевой фольги строительного назначения и для легких сборно-разборных конструкций, используемых для павильонов различного назначения.

Основное достоинство алюминиевых сплавов — малый вес (плотность алюминия почти в три раза ниже плотности стали) при достаточно высокой прочности в сочетании с коррозионной стойкостью.

Отрицательными свойствами алюминиевых сплавов являются почти в три раза более низкий, чем у стали, модуль упругости ($E = 0{,}7 \cdot 10^5$ МПа), низкая твердость и высокий коэффициент температурного расширения (почти в два раза выше, чем у стали).

Титан, точнее, титановые сплавы приобретают в последнее время все большую популярность; они сочетают в себе низкую плотность (4500 кг/м^3); высокую прочность (R_p = 700...1200 МПа) и твердость (НВ > 1000) и высокую коррозионную стойкость. Из-за очень высокой стоимости и дефицитности титан в строительстве применяют только для уникальных сооружений (например, памятник космонавтам у станции метро «ВДНХ» в Москве).

7.11. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ

Коррозия металлов — процесс разрушения металлов и сплавов вследствие химического или электрохимического взаимодействия с внешней средой, в результате которого металлы окисляются и теряют присущие им свойства. Ежегодно в мире в результате коррозии теряется 10...15 % выплавляемого металла или 1...1,5 % всего металла, накопленного и эксплуатируемого человеком. В наибольшей степени коррозии подвергаются черные металлы (сталь и чугун).

Химическая коррозия — разрушение металлов и сплавов в результате окисления при взаимодействии с сухими газами (O_2, SO_2 и др.) при высоких температурах или с органическими жидкостями — нефтепродуктами, спиртом и т. п.

Электрохимическая коррозия — разрушение металлов и сплавов в воде и водных растворах. Для развития коррозии достаточно, чтобы металл был просто покрыт тончайшим слоем адсорбированной воды (влажная поверхность). Из-за неоднородности строения металла при электрохимической коррозии в нем образуются гальванические пары (катод — анод), например между зернами (кристаллами) металла, отличающимися один от другого химическим составом. Атомы металла с анода переходят в раствор в виде катионов. Эти катионы, соединяясь с анионами, содержащимися в растворе, образуют на поверхности металла слой ржавчины. В основном металлы разрушаются от электрохимической коррозии.

Для повышения долговечности и сохранения декоративности металлоконструкции защищают от коррозии. Сущность большинства способов защиты от коррозии — предохранение поверхности металла от проникновения к ней влаги и газов путем создания на металле

защитного слоя. Существуют и другие методы, например электрохимическая защита, с помощью установки прожектора из более активного металла на защищаемую металлоконструкцию.

Наиболее простой, но не долговечный метод защиты металла — нанесение на его поверхность водонепроницаемых неметаллических покрытий (битумных, масляных и эмалевых красок). В последние годы все большее применение находит метод защиты от коррозии покрытием металла тонким слоем пластмассы.

Защитить металл от коррозии можно также, покрывая его слоем другого более коррозионно-стойкого металла: оловом, цинком, хромом, никелем и др. Защитный слой металла наносят путем никелирования, хромирования, лужения, цинкования и свинцевания. Покрытие цинком используют для защиты от коррозии закладных деталей железобетонных изделий, водопроводных труб, кровельной жести. Защитный слой наносят гальваническим (электролитическим осаждением из раствора солей) или термическим (окунанием в расплав металла или распылением расплава) методом.

Применяют химические способы образования покрытий (плотных оксидных пленок) на металле: фосфатирование (для черных металлов) и анодирование (для алюминиевых сплавов).

Для получения металлов, хорошо противостоящих коррозии, применяют легирование. Так, вводя в сталь хром и никель в количестве 12...20 %, получают нержавеющие стали, стойкие не только к воде, но и к минеральным кислотам.

Контрольные вопросы

1. Что такое металлы? 2. Расскажите о сплавах. 3. Какие металлы относятся к черным? 4. Какие металлы относятся к цветным? 5. Расскажите о строении и свойствах железоуглеродистых сплавов. 6. Каковы основы производства чугуна? 7. Что такое доменный шлак? 8. Что представляют собой углеродистые и легированные стали? Чем они различаются? 9. Что такое стальной прокат? Где его применяют в строительстве? 10. Расскажите о стержневой арматуре. 11. Какие вы знаете соединения стальных конструкций? 12. Что такое коррозия металлов? Какие способы защиты от нее вы знаете? 13. Назовите основные виды цветных металлов и сплавов.

РАЗДЕЛ 4. ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

ГЛАВА 8. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вяжущими веществами называют материалы, способные в определенных условиях (при смешивании с водой, нагревании и др.) *образовывать пластично-вязкое тесто,* которое самопроизвольно или под действием определенных факторов со временем *затвердевает.* Переходя из пластично-вязкого состояния в камневидное, вяжущие вещества могут скреплять между собой камни (например, кирпич) или зерна песка, гравия и щебня. Это свойство вяжущих используется для получения бетонов, строительных растворов различного назначения, силикатного кирпича, асбестоцемента и других безобжиговых искусственных каменных материалов.

Начало использования человеком вяжущих открыло новую эпоху в строительстве: вместо обтесывания камней строители с помощью вяжущих и камней произвольной формы могли делать любые конструкции, не беспокоясь о плотном прилегании одного камня к другому.

Следующим важным шагом в применении вяжущих стала идея непосредственного изготовления смеси вяжущих, песка и мелких камней и укладка ее в форму с целью получения искусственного камня заданной формы — так родился бетон. Аналогичная идея заложена в отделочных штукатурных растворах — смеси вяжущего и песка, используемых для выравнивания поверхностей и придания им вида монолитного камня. Вероятно, первым вяжущим была глина, потом появились известь и гипс. В наше время в руках строителей есть широкая гамма разнообразных вяжущих веществ.

Современные вяжущие вещества в зависимости от состава делят на:

- *неорганические* (известь, цемент, гипсовые вяжущие и др.), которые для перевода в рабочее состояние затворяют водой (реже водными растворами солей);
- *органические* (битумы, дегти, синтетические полимеры и олигомеры), которые переводят в рабочее состояние нагревом, с помощью органических растворителей или сами они представляют собой вязкопластичные жидкости.

В строительстве в основном используют неорганические (минеральные) вяжущие вещества, рассматриваемые в этой главе. Далее для

краткости неорганические вяжущие вещества будут называться просто вяжущим. Органические вяжущие подробно рассматриваются в гл. 9.

Подавляющее число неорганических вяжущих способно твердеть *самопроизвольно,* без создания каких-либо условий. Однако находят применение и вяжущие *автоклавного твердения,* способные твердеть только в среде насыщенного водяного пара при температуре 150...200° С и при повышенном давлении (в автоклаве). К последним относятся известково-кремнеземистые, известково-зольные, известково-шлаковые и другие вяжущие.

Главным качественным показателем вяжущих является отношение к воздействию воды. По этому признаку их делят на воздушные и гидравлические.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и длительно сохранять прочность только на воздухе. По химическому составу можно выделить четыре группы воздушных вяжущих: 1 — известковые, состоящие, в основном, из гидрооксида кальция $Ca(OH)_2$; 2 — гипсовые, состоящие из сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$ или $CaSO_4$); 3 — магнезиальные, главным компонентом которых служит оксид магния MgO; 4 — жидкое стекло — раствор силиката натрия или калия. Последнее из-за способности сохранять прочность в кислых средах называют *кислотоупорным вяжущим.*

Гидравлические вяжущие способны твердеть и длительное время сохранять прочность не только на воздухе, но и в воде. Причем, находясь в воде, они могут повышать свою прочность. По химическому составу гидравлические вяжущие представляют собой сложные системы, состоящие в основном из соединений четырех оксидов: CaO — SiO_2 — Al_2O_3 — Fe_2O_3. Эти соединения образуют основные типы гидравлических вяжущих (приводятся в исторической последовательности): 1 — *гидравлическая известь* и романцемент; 2 — *силикатные цементы,* состоящие преимущественно (> 75 %) из силикатов кальция; к ним относятся портландцемент и его разновидности; это главные вяжущие в современном строительстве; 3 — *алюминатные цементы,* состоящие в основном из алюминатов кальция; это — глиноземистый цемент и его разновидности; 4 — *вяжущие эттрингитового типа,* основными компонентами которых являются алюминаты кальция и сульфат кальция; к ним относятся расширяющиеся и безусадочные цементы.

Главнейшие показатели качества вяжущих как воздушных, так и гидравлических,— прочность и скорость твердения.

Прочность вяжущих изменяется во времени, поэтому ее оценивают по прочности (обычно на сжатие и изгиб) *стандартных образцов,* твердевших определенное время в условиях, установленных стандартом. По этим показателям устанавливают *марку* вяжущего. Например, марка гипсовых вяжущих определяется по прочности образцов из гипсового теста спустя 2 ч после их изготовления, а портландцемента

— по прочности образцов из цементно-песчаного раствора — через 28 суток твердения во влажных условиях при температуре (20 ± 2)° С.

Скорость твердения — другая не менее важная характеристика вяжущих. Очень высокой скоростью твердения обладают гипсовые вяжущие: они полностью затвердевают за несколько часов; очень медленно твердеет воздушная известь: процесс ее твердения длится сотни лет.

В процессе твердения строители различают две стадии: схватывание и набор прочности (собственно твердение). Такое членение процесса имеет весьма условный характер, но оно удобно для практических целей.

Схватывание — потеря тестом вяжущего пластично-вязких свойств. Момент, когда появляются признаки загустевания теста, т. е. оно начинает терять пластичность, говорит о *начале схватывания.* Момент, когда тесто превращается в твердое тело, окончательно теряя пластичность, но не приобретая еще практически значимой прочности, называют *концом схватывания.* Сроки схватывания гипса 4...30 мин, портландцемента — несколько часов. Схватывание — явление, характерное для вяжущих, твердеющих по физико-химическому механизму (гипс, цементы). У простейших вяжущих (глина, известь), твердеющих в результате испарения воды, этап схватывания отсутствует.

Сроки схватывания необходимо знать, так как все работы со смесями на основе вяжущих должны заканчиваться до начала их схватывания, пока они не потеряли пластичности. Повторное перемешивание после схватывания, особенно с добавлением воды, может привести к существенному снижению прочности материала на этом вяжущем.

8.2. ГЛИНА

Глина — осадочная горная порода, основные свойства которой определяются свойствами мельчайших частиц (менее 0,005 мм) глинистых минералов (см. § 4.2). Глинистые частицы обычно имеют пластинчатое строение и хорошо смачиваются водой (гидрофильны). Благодаря большой общей поверхности частиц глина способна поглощать и удерживать большое количество воды (до 20...30 % по массе). При этом она разбухает и переходит в вязкопластичное состояние.

При высыхании глиняное тесто уменьшается в объеме (10...20 %): частицы глины, сближаясь, начинают прочно удерживаться друг около друга силами поверхностного натяжения тончайших пленок воды, остающейся между ними. Происходит затвердевание глины. Прочность высохшей глины достаточно велика (до 10 МПа).

Глиняное тесто при высыхании из-за сближения частиц дает значительную *усадку.* Чтобы уменьшить усадку и предотвратить растре-

скивание, в глиняное тесто добавляют более крупнозернистые материалы (песок, опилки).

Известно, что при повторном увлажнении глина вновь размягчается, поэтому затвердевший глиняный материал необходимо предохранять от воздействия воды.

Глину в качестве вяжущего применяют как местный материал в сельском строительстве для штукатурных и кладочных растворов. Из глины с добавлением соломы получают также материал для кладки стен — саман.

Благодаря высокой пластичности и способности удерживать воду на поверхности своих тонкодисперсных частиц глину используют в качестве пластифицирующей добавки к цементу в строительных растворах.

8.3. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Гипсовые вяжущие — группа воздушных вяжущих веществ, в затвердевшем состоянии состоящих из двуводного сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), включает в себя собственно гипсовые вяжущие (далее для краткости — гипс) и ангидритовые вяжущие (ангидритовый цемент и эстрихгипс).

Гипс (в строительной практике иногда используют устаревший термин *алебастр* от гр. alebastros — белый) — быстротвердеющее воздушное вяжущее, состоящее из полуводного сульфата кальция $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, получаемого низкотемпературной (< 200° С) обработкой гипсового сырья.

Сырьем для гипса служит в основном природный гипсовый камень, состоящий из двуводного сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) и различных механических примесей (глины и др.). В качестве сырья могут использоваться также гипсосодержащие промышленные отходы, например, фосфогипс, а также сульфат кальция, образующийся при химической очистке дымовых газов от оксидов серы с помощью известняка. Все это указывает на то, что проблем с сырьем для гипсовых вяжущих нет.

Получение гипса включает две операции:

• термообработку гипсового камня на воздухе при 150...160° С; при этом он теряет часть химически связанной воды, превращаясь в полуводный сульфат кальция β-модификации

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O$$

• тонкий размол продукта, который можно производить как до, так и после термообработки; гипс — мягкий минерал (твердость по шкале Мооса — 2), поэтому размалывается он очень легко.

Таким способом производится основное количество гипса; обычно для этого используют гипсоварочные котлы. Гипс β-модификации далее для краткости будем называть просто «гипс».

Доступность сырья, простота технологии и низкая энергоемкость производства (в 4...5 раз меньше, чем для получения портландцемента) делают гипс дешевым и перспективным вяжущим.

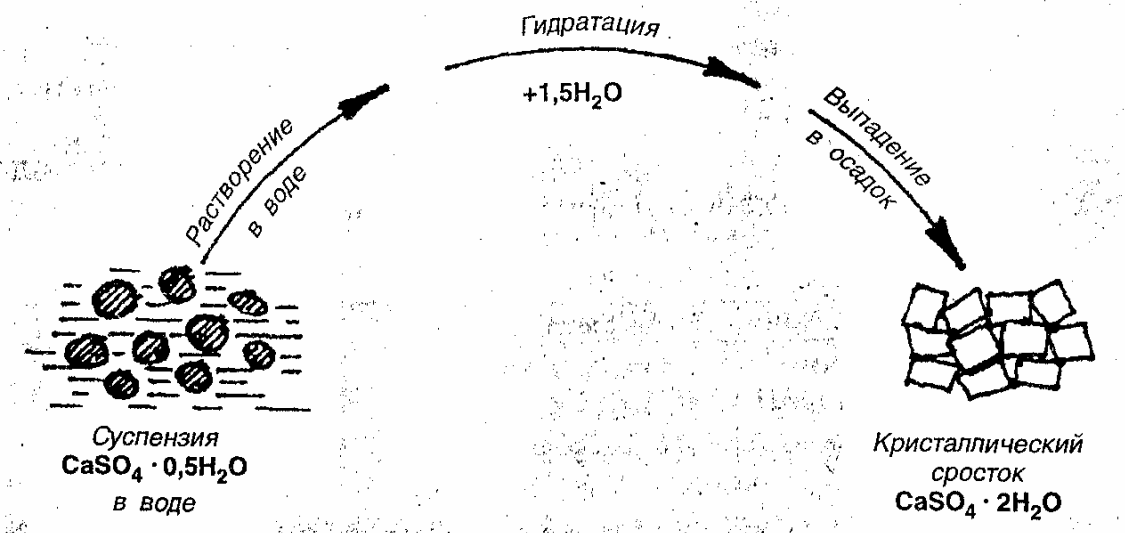
Химизм твердения гипса заключается в переходе полуводного сульфата кальция при затворении его водой в двуводный:

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

Внешне это выражается в превращении пластичного теста в твердую камнеподобную массу.

Причина такого поведения гипса заключается в том, что полуводный гипс растворяется в воде почти в 4 раза лучше, чем двуводный (растворимость соответственно 8 и 2 г/л в пересчете на $CaSO_4$). При смешивании с водой полуводный гипс растворяется до образования насыщенного раствора и тут же гидратируется, образуя двугидрат, по отношению к которому раствор оказывается пересыщенным. Кристаллы двуводного гипса выпадают в осадок, а полуводный вновь начинает растворяться и т. д. (рис. 8.1). В дальнейшем процесс может идти по пути непосредственной гидратации гипса в твердой фазе.

Конечной стадией твердения, заканчивающегося через 1...2 ч, является образование кристаллического сростка из достаточно крупных кристаллов двуводного гипса. Часть объема этого сростка занимает вода (точнее, насыщенный раствор $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в воде), не вступившая во взаимодействие с гипсом (о причинах присутствия этой воды чуть ниже). Если высушить затвердевший гипс, то прочность его заметно (в 1,5...2 раза) повысится за счет дополнительной кристалли-



Р и с . 8.1. Схема твердения гипса

зации гипса из указанного выше раствора по местам контактов уже сформированных кристаллов. При повторном увлажнении процесс протекает в обратном порядке, и гипс теряет часть прочности.

Причина наличия свободной воды в затвердевшем гипсе объясняется тем, что для гидратации гипса нужно около 20 % воды от его массы, а для образования пластичного гипсового теста — 50...60 % воды. (Последний показатель называют *водопотребностью*, методика определения которой для гипса описана в лабораторной работе № 6.) Очевидно, что после затвердевания такого теста (т. е. после завершения гидратации) в нем останется 30...40 % (от массы гипса) свободной воды, что составляет около половины объема материала. Этот объем воды образует поры, временно занятые водой, а пористость материала, как известно, определяет многие его свойства (плотность, прочность, теплопроводность и др.).

Разница между количеством воды, необходимым для твердения вяжущего и для получения из него удобоформуемого теста,— основная проблема технологии материалов на основе минеральных вяжущих.

Для гипса проблема снижения водопотребности и, соответственно, снижения пористости и повышения прочности была решена путем получения гипса термообработкой не на воздухе, а в среде насыщенного пара (в автоклаве при давлении 0,3...0,4 МПа) или в растворах солей ($CaCl_2 \cdot MgCl_2$ и др.). В этих условиях образуется другая кристаллическая модификация полуводного гипса — α-гипс, имеющая водопотребность 35...40 %.

Гипс α-модификации называют *высокопрочным гипсом,* так как благодаря пониженной водопотребности он образует при твердении менее пористый и более прочный камень, чем обычный гипс β-модификации. Из-за трудностей производства высокопрочный гипс не нашел широкого применения в строительстве.

Технические свойства гипса. Истинная плотность полуводного гипса — 2,65...2,75 г/см^3 (двуводного — 2,32 г/см^3); насыпная плотность полуводного гипса — 800...1100 кг/м^3.

По срокам схватывания, определяемым на приборе Вика (методика определения описана в лабораторной работе), гипс делят на три группы (А, Б, В):

Вид гипса	Начало схватывания	Конец схватывания
Быстротвердеющий (А)	Не ранее 2 мин	Не позднее 15 мин
Нормальнотвердеющий (Б)	Не ранее 6 мин	Не позднее 30 мин
Медленнотвердеющий (В)	Не ранее 20 мин	Не нормируется

Замедляют схватывание гипса добавкой столярного клея, сульфитноспиртовой барды (ССБ), технических лигносульфонатов (ЛСТ),

кератинового замедлителя, а также борной кислоты, буры и полимерных дисперсий (например, ПВА).

Марку гипса определяют испытанием на сжатие и изгиб стандартных образцов-балочек 4 х 4 х 16 см спустя 2 ч после их формования (о методике испытаний см. лабораторную работу). За это время гидратация и кристаллизация гипса заканчивается.

Установлено 12 марок гипса по прочности от Г-2 до Г-25 (цифра показывает нижний предел прочности при сжатии данной марки гипса):

Марка	Г-2	Г-3	Г-4	Г-5	Г-6	Г-7	Г-10	Г-13	Г-16	Г-19	Г-22	Г-25
Предел прочности, МПа, не менее:												
при сжатии	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25
при изгибе	1,2	1,8	2	2,5	3	3,5	4,5	5,5	6	6,5	7	8

В строительстве используется в основном гипс марок от Г-4 до Г-7.

По тонкости помола, определяемой максимальным остатком пробы гипса при просеивании на сите с отверстиями 0,2 мм, гипсовые вяжущие делят на три группы:

Группа	I	II	III
Помол	Грубый	Средний	Тонкий
Остаток на сите 0,2, %	23	14	2

Маркируют гипсовые вяжущие по всем трем показателям: скорости схватывания, тонкости помола и прочности. Например, гипсовое вяжущее Г-7АII — быстротвердеющее (А), среднего помола (II), прочность на сжатие не менее 7 МПа.

Плотность затвердевшего гипсового камня низкая (1200...1500 кг/м^3) из-за значительной пористости (60...30 % соответственно).

Гипсовое вяжущее — одно из немногих вяжущих, расширяющихся при твердении: увеличение в объеме достигает 0,2 %. Эта особенность гипсовых вяжущих позволяет применять их без заполнителей, не боясь растрескивания от усадки.

При увлажнении затвердевший гипс не только существенно (в 2...3 раза) снижает прочность, но и проявляет нежелательное свойство — *ползучесть* — медленное необратимое изменение размеров и формы под нагрузкой. Характер жидкой среды во влажном гипсе — нейтральный (pH = 6,5...7,5), и она содержит ионы Ca^{+2} и SO^{-2}_4, поэтому стальная арматура в гипсе корродирует. Увлажнению гипса способствует его *гигроскопичность* — способность поглощать влагу из воздуха.

Гипс хорошо сцепляется с древесиной и поэтому его целесообразно армировать деревянными рейками, картоном или целлюлозными волокнами и наполнять древесными стружками и опилками.

Гипсовые материалы не только являются *негорючими материалами,* но в силу своей пористости замедляют передачу теплоты, а при действии высоких температур в результате термической диссоциации выделяют воду, тем самым тормозя распространение огня.

В сухих условиях эксплуатации или при предохранении от действия воды (гидрофобизирующие покрытия, пропитки и т. п.) гипс очень перспективное с технической и экологической точек зрения вяжущее.

Области применения. Главнейшая область применения гипса — устройство перегородок. Они могут быть заводского изготовления в виде панелей «на комнату», из гипсовых камней или из гипсокартонных листов. Последние также широко применяют для отделки стен и потолков. Гипсоволокнистые материалы используют как выравнивающий слой под чистые полы. Из гипса делают акустические плиты. В различных вариантах его применяют для огнезащитных покрытий металлических конструкций. Небольшое по объему, но важное направление использования гипса: декоративные архитектурные детали (лепнина) и скульптура.

Гипс используют для изготовления форм (например, для керамики) — *формовочный гипс* и в медицине для фиксации при переломах — *медицинский гипс.* Два последних вида гипса отличаются от строительного несколько повышенными требованиями к тонкости помола и химическому составу.

Местные вяжущие материалы из гипсосодержащих пород. В районах Средней Азии и Закавказья применяют местные вяжущие — ганч и гажу. Их получают из пород, содержащих гипс (20...60 %) и глину (80...40 %). Ганч и гажа по свойствам напоминают обычный гипс, отличаясь от него более медленным схватыванием. Эти вяжущие используют для штукатурных и художественных работ.

Ангидритовое вяжущее и высокообжиговый гипс — медленносхватывающиеся и медленнотвердеющие вяжущие, состоящие из безводного сульфата кальция $CaSO_4$ и активизаторов твердения.

Безводный сульфат кальция существует в природе в виде минерала — *ангидрита,* однако даже в тонкоразмолотом состоянии он не обнаруживает вяжущих свойств.

Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) получают обжигом природного гипсового камня $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ до высоких температур (800...950° С). При этом происходит его частичная диссоциация с образованием CaO. Последний служит активизатором твердения ангидрита. Окончательным продуктом твердения такого вяжущего является двуводный гипс,

определяющий эксплуатационные свойства материала. Технологические же свойства эстрих-гипса существенно отличаются от свойств обычного гипса.

Сроки схватывания эстрих-гипса: начало не ранее 2 ч, конец — не нормируется.

Благодаря пониженной водопотребности (у эстрих-гипса она составляет 30...35 % против 50...60 % у обычного гипса) эстрих-гипс после затвердевания образует более плотный и прочный материал. Прочность образцов-кубов из раствора жесткой консистенции состава вяжущее: песок = 1 : 3 через 28 сут твердения во влажных условиях — 10...20 МПа. По этому показателю устанавливают марку эстрих-гипса: 100; 150 или 200 (кгс/см^2).

Ангидритовый цемент получают обжигом природного гипса при 600...700° С до полной дегидратации, т. е. до образования ангидрита; возможно также использование природного ангидрита, подвергаемого только сушке и размолу. Этот вид вяжущих был предложен П.П. Будниковым.

Подготовленный ангидрит размалывают с активизаторами твердения. Используют щелочные активизаторы: известь (3...5 %) или основные шлаки (10...15 %) и растворимые сульфаты: Na_2SO_4, $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ и др. (0,5...1 %). Состав затвердевшего материала, свойства и марки ангидритового цемента такие же, как у эстрих-гипса.

Эстрих-гипс и ангидритовый цемент применяли в конце XIX — начале XX вв. для кладочных и штукатурных растворов (в том числе и для получения искусственного мрамора), устройства бесшовных полов, оснований под чистые полы и т. п. В настоящее время эти вяжущие применяются ограниченно. Весьма вероятно появление интереса к этим вяжущим в недалеком будущем.

8.4. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ

Магнезиальные вяжущие вещества (каустический магнезит MgO и каустический доломит $MgO + CaCO_3$) — тонкодисперсные порошки, активной частью которых является оксид магния.

Получают магнезиальные вяжущие умеренным (до 700...800° С) обжигом магнезита (реже доломита). При этом карбонат магния диссоциирует с образованием оксида магния

$$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$$

а карбонат кальция $CaCO_3$ (в доломите) остается без изменения и является балластной частью вяжущего. Обожженный продукт размалывают.

При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно, проявляя слабые вяжущие свойства. Магнезиальные вяжущие принято

затворять раствором *хлорида* или *сульфата магния.* В этом случае гидратация протекает значительно быстрее

$$MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$$

Кроме того, возможно образование гидрата оксихлорида магния ($3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), уплотняющего образующийся материал.

Сроки схватывания каустического магнезита зависят от температуры обжига и тонкости помола и обычно находятся в пределах: начало — не ранее 20 мин; конец — не позднее 6 ч. Твердение начинается интенсивно, и через сутки вяжущее достигает прочности 10...15 МПа; через 28 суток воздушного твердения прочность составляет 30...50 МПа. В жестких смесях прочность может достигать 100 МПа.

У каустического доломита сроки схватывания больше, а прочностные показатели ниже (например, $R_{сж}$ через 28 сут составляет 10...30 МПа).

Магнезиальные вяжущие в XIX — начале XX в. применялись для устройства бесшовных монолитных, так называемых ксилолитовых полов. *Ксилолит* (от гр. *xelon* — древесина) — бетон на магнезиальном вяжущем с наполнителем из древесных опилок. Такие полы циклюются, их можно натирать мастиками, по теплоусвоению они близки к паркетным полам. Возможно изготовление ксилолитовых плиток для полов. Хотя серьезных перспектив у магнезиальных вяжущих из-за дефицитности сырья (магнезиты необходимы для получения огнеупоров) нет, но они вновь начали применяться в отечественном строительстве.

8.5. РАСТВОРИМОЕ СТЕКЛО И КИСЛОТОУПОРНЫЙ ЦЕМЕНТ

Растворимое стекло — силикаты натрия ($Na_2O \cdot mSiO_2$) или калия ($K_2O \cdot mSiO_2$), где m — модуль стекла, находящийся в пределах для натриевого стекла 2,0...3,5, а для калиевого 3,5...4,5. Растворимое стекло получают сплавлением смеси кварцевого песка соответственно с содой Na_2CO_3 (или сульфатом натрия Na_2SO_4) и поташем K_2CO_3 в стекловаренных печах при 1300...1400° С. Образовавшийся расплав быстро охлаждают. При этом он распадается на полупрозрачные желто-зеленые куски, называемые *силикат-глыбой.*

В строительстве обычно используют раствор силикат-глыбы в воде — *жидкое стекло* (в быту такой раствор называют *силикатный клей*). Растворение производится в автоклаве насыщенным паром. Плотность раствора 1,5...1,3 г/см^3, что соответствует концентрации раствора 70...50 %.

При растворении в воде силикаты натрия и калия гидролизуются с образованием коллоидного раствора кремневой кислоты $Si(OH)_4$ и

соответствующих щелочных гидроксидов. В этих условиях (pH = =12...13) раствор кремневой кислоты относительно стабилен. Жидкое стекло имеет повышенную вязкость из-за того, что кремнекислота в нем находится в полимеризованном виде. При обезвоживании (испарении или отсасывании воды) или при нейтрализации щелочей (например, углекислым газом воздуха) раствор теряет стабильность и переходит в гель, уплотняющийся со временем и приобретающий значительную прочность. Так, растворимое стекло проявляет вяжущие свойства. В обычных условиях этот процесс может идти очень долго, поэтому используют добавки — ускорители твердения.

Жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупорных замазок и бетонов, а также как связующее в силикатных красках (только калиевое стекло).

Кислотоупорный цемент изготовляют из тонко измельченной смеси кислотоупорного наполнителя (кварца, диабаза, андезита и т. п.) и ускорителя твердения — кремнефтористого натрия Na_2SiF_6. Название «цемент» для такого порошка имеет условный характер, так как сам он вяжущими свойствами не обладает и при смешивании с водой не твердеет. Вяжущим веществом в таких цементах является жидкое стекло, которым этот «цемент» и затворяют.

Процесс твердения кислотоупорного цемента протекает по схеме полного разложения силиката натрия и нейтрализации гидроксида натрия:

$$Na_2O \cdot mSiO_2 + Na_2SiF_6 + H_2O \rightarrow Si(OH)_4 + NaF$$

Образующийся гель кремневой кислоты является вяжущим компонентом, а плохо растворимый фторид натрия и порошок кислотоупорной породы (кварца и т. п.) служат микронаполнителями образующегося цементного камня. Ориентировочное количество Na_2SiF_6 от массы растворимого стекла (т. е. сухого вещества в составе жидкого стекла) в кислотоупорных растворах и бетонах должно быть в пределах 10...15 %.

Сроки схватывания кислотоупорного цемента: начало — не ранее 20 мин., конец — не позднее 8 ч. У этого цемента нормируется предел прочности при *растяжении* после 28 сут твердения — не менее 2,0 МПа. Прочность при сжатии бетонов на кислотоупорном цементе составляет 20...60 МПа.

Основным достоинством и отличием кислотоупорного цемента от других неорганических вяжущих является способность работать в условиях действия большинства кислот (за исключением плавиковой и фосфорной).

Более того, для уплотнения и упрочнения бетонов или растворов на кислотоупорном цементе их обрабатывают соляной или серной кислотами (*«кислуют»*). При этом нейтрализуются остатки щелочных гидроксидов и уплотняется гель кремнекислоты.

Кислотостойкость — сохранение массы при испытании в кислоте — не менее 93 %.

Однако при длительном воздействии воды, пара и растворов щелочей бетоны и растворы на жидком стекле теряют прочность.

8.6. ВОЗДУШНАЯ ИЗВЕСТЬ

Известь известна человечеству не одно тысячелетие и все это время активно используется им в строительстве и многих других отраслях. Это объясняется доступностью сырья, простотой технологии и достаточно хорошими свойствами извести.

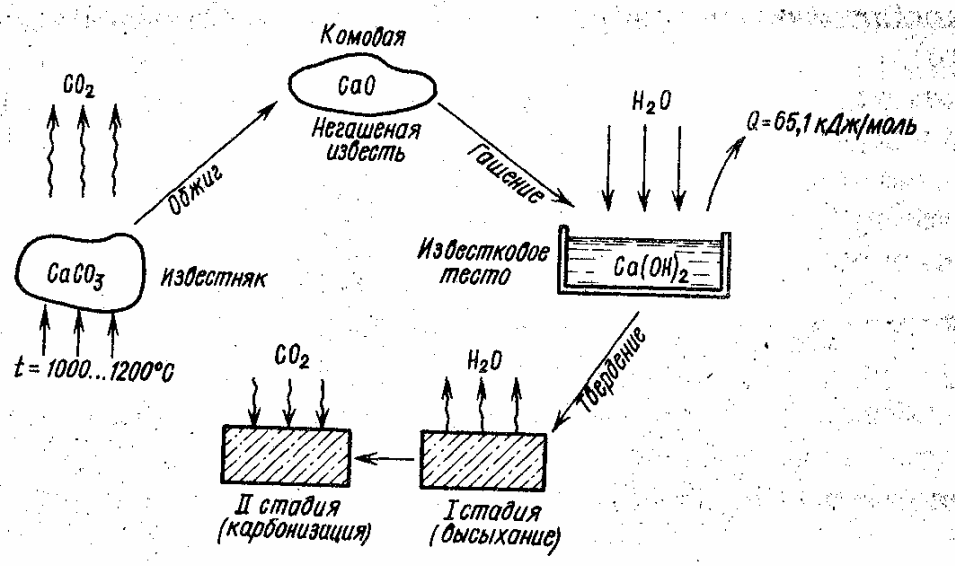
Сырьем для получения извести служат широко распространенные осадочные горные породы: известняки, мел, доломиты, состоящие преимущественно из карбоната кальция ($CaCO_3$). Если куски таких пород прокалить на огне (рис. 8.2), то карбонат кальция перейдет в оксид кальция:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2\uparrow$$

После прокаливания куски, теряя с углекислым газом 44 % своей массы, становятся легкими и пористыми. При смачивании водой они бурно реагируют с ней, превращаясь в тонкий порошок, а при избытке воды в пластичное тесто. Этот процесс, сопровождающийся сильным выделением теплоты и разогревом воды вплоть до кипения, называют *гашением извести*. Образующееся при избытке взятой воды пластичное тесто используют в качестве вяжущего. При испарении воды тесто загустевает и переходит в камневидное состояние (рис. 8.2). Недостаток извести — медленное твердение: процесс набора прочности твердеющей известью растягивается на годы и десятилетия. В реальные сроки строительства прочность затвердевшей извести, как правило, не превышает 0,5...2 МПа.

Производство. Сырье — карбонатные породы (известняки, мел, доломиты), содержащие не более 6...8 % глинистых примесей, обжигают в шахтных или вращающихся печах при температуре 1000...1200° С. В процессе обжига $CaCO_3$ и $MgCO_3$, содержащиеся в исходной породе, разлагаются на оксиды кальция CaO и магния MgO и углекислый газ. Неравномерность обжига может привести к образованию в извести недожога и пережога.

Недожог (неразложившийся $CaCO_3$), получающийся при слишком низкой температуре обжига, снижает качество извести, так как не обладает вяжущими свойствами.



Р и с . 8.2. Получение, гашение и твердение воздушной извести

Пережог образуется при слишком высокой температуре обжига в результате сплавления CaO с примесями кремнезема и глинозема. Зерна пережога медленно гасятся и могут вызвать растрескивание и разрушение уже затвердевшего материала.

Куски обожженной извести — *комовая известь* — обычно подвергают гашению водой:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 1160 \text{ кДж/кг}$$

Выделяющаяся при гашении теплота резко повышает температуру извести и воды, которая может даже закипеть (поэтому негашеную известь называют *кипелкой*)*.

При гашении куски комовой извести увеличиваются в объеме и распадаются на мельчайшие (до 0,001 мм) частицы.

В зависимости от количества взятой для гашения воды получают: *гидратную известь — пушонку* (50...70 % воды от массы извести, т. е. в количестве, необходимом для протекания реакции гидратации — процесса гашения); известковое тесто (воды в 3...4 раза больше, чем извести), известковое молоко (количество воды превышает теоретически необходимое в 8...10 раз).

Виды воздушной извести. По содержанию оксидов кальция и магния воздушная известь бывает:

- *кальциевая* — MgO не более 5 %;
- *магнезиальная* — MgO 5...20 %;
- *доломитовая* — MgO 20...40 %.

По виду поставляемого на строительство продукта воздушную известь подразделяют на негашеную комовую (кипелку), негашеную

---

* Теплоты, выделяющейся при гашении 1 кг извести (1160 кДж), достаточно, чтобы нагреть до кипения 3,5...4 л воды.

порошкообразную (молотую кипелку) и гидратную (гашеную, или пушонку).

Негашеная комовая известь представляет собой мелкопористые куски размером 5...10 см, получаемые обжигом известняка. В зависимости от содержания активных CaO + MgO и количества негасящихся зерен комовую известь разделяют на три сорта.

По скорости гашения комовая известь бывает:

Вид извести	Время достижения максимальной температуры, мин
Быстрогасящаяся	< 8
Среднегасящаяся	8...25
Медленногасящаяся	> 25

Негашеную порошкообразную известь получают помолом комовой в шаровых мельницах в тонкий порошок. Часто в известь во время помола вводят активные добавки (гранулированные доменные шлаки, золы ТЭС и т. п.) в количестве 10...20 % от массы извести. Порошкообразная известь, как и комовая, делится на три сорта.

Преимущество порошкообразной извести перед комовой состоит в том, что при затворении водой она ведет себя подобно гипсовым вяжущим: сначала образует пластичное тесто, а через 20...40 мин схватывается. Это объясняется тем, что вода затворения, образующая тесто, частично расходуется на гашение извести. При этом известковое тесто густеет и теряет пластичность. Благодаря меньшему количеству свободной воды материалы на основе порошкообразной извести менее пористые и более прочные. Кроме того, известь при гашении разогревается, что облегчает работу с ней в холодное время.

При использовании порошкообразной извести воды берут 100...150 % от массы извести в зависимости от качества извести и количества активных добавок в ней. Определяют количество воды опытным путем.

Гидратная известь (пушонка) — тончайший белый порошок, получаемый гашением извести, обычно в заводских условиях, небольшим количеством воды (несколько выше теоретически необходимого). При гашении в пушонку известь увеличивается в объеме в 2...2,5 раза. Насыпная плотность пушонки — 400...450 кг/м^3; влажность — не более 5 %.

Гашение извести можно производить как на строительстве объекта, так и централизованно. В последнем случае гашение совмещается с мокрым помолом непогасившихся частиц, что увеличивает выход извести и улучшает ее качество.

На строительстве известь гасят в гасильных ящиках (творилах). В ящик загружают комовую известь не более чем на 1/3 его высоты (толщина слоя обычно около 100 мм), поскольку при гашении известь увеличивается в объеме в 2,5...3,5 раза. Быстрогасящуюся известь заливают сразу большим количеством воды, чтобы не допустить перегрева и кипения воды, медленногасящуюся — небольшими порциями,

следя за тем, чтобы известь не охладилась. Из 1 кг извести в зависимости от ее качества получается 2...2,5 л известкового теста. Этот показатель называют «выход теста».

Воздушная известь — единственное вяжущее, которое превращается в тонкий порошок не только размолом, но и путем гашения водой.

Колоссальная удельная поверхность частиц $Ca(OH)_2$ и их гидрофильность обусловливает большую водоудерживающую способность и пластичность известкового теста. После отстаивания известковое тесто содержит около 50 % твердых частиц и 50 % воды. Каждая частица окружена тонким слоем адсорбированной воды, играющей роль своеобразной смазки, что обеспечивает высокую пластичность известкового теста и смесей с использованием извести.

По окончании гашения жидкое известковое тесто через сетку сливают в известехранилище, где его выдерживают до тех пор, пока полностью не завершится процесс гашения (обычно не менее двух недель). Известковое тесто с размером непогасившихся зерен менее 0,6 мм можно применять сразу. Крупные непогасившиеся зерна опасны тем, что среди них могут быть пережженные зерна (пережог).

Содержание воды в известковом тесте не нормируется. Обычно в хорошо выдержанном тесте соотношение воды и извести около 1 : 1.

Твердение. Известковое тесто состоит из насыщенного водного раствора $Ca(OH)_2$ и мельчайших нерастворившихся частиц извести. По мере испарения из него воды образуется пересыщенный раствор $Ca(OH)_2$, из которого выпадают кристаллы, скрепляющие отдельные частицы в единый монолит. При этом происходит усадка твердеющей системы, которая в определенных условиях (например, при твердении известковой смеси на жестком основании — штукатурный слой) может вызвать растрескивание материала. Поэтому известь всегда применяют с заполнителями (например, известково-песчаные растворы) или в смеси с другими вяжущими для придания материалу пластичности.

Известковое тесто, защищенное от высыхания, неограниченно долго сохраняет пластичность, т. е. у извести отсутствует процесс схватывания. Затвердевшее известковое тесто при увлажнении вновь переходит в пластичное состояние (известь — неводостойкий материал).

Однако при длительном твердении (десятилетия) известь приобретает довольно высокую прочность и относительную водостойкость (например, в кладке старых зданий). Это объясняется тем, что на

воздухе известь реагирует с углекислым газом, образуя нерастворимый в воде и довольно прочный карбонат кальция, т. е. как бы обратно переходит в известняк:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

Процесс этот очень длительный, и полной карбонизации извести практически не происходит.

Существует мнение, что при длительном контакте извести с кварцевым песком в присутствии влаги между этими компонентами происходит взаимодействие с образованием контактного слоя из гидросиликатов. Это так же повышает прочность и водостойкость бетонов и кирпичной кладки на извести, имеющих возраст более 200...300 лет.

Применение, транспортирование, хранение. Воздушную известь применяют для приготовления кладочных и штукатурных растворов как самостоятельное вяжущее, так и в смеси с цементом; при производстве силикатного кирпича и силикатобетонных изделий; для получения смешанных вяжущих (известково-шлаковых, известково-зольных и др.) и для красок.

Негашеную известь, особенно порошкообразную, при транспортировании и хранении предохраняют от увлажнения. Порошкообразная известь-кипелка гасится даже влагой, содержащейся в воздухе. Максимальный срок хранения молотой извести в бумажных мешках 25 сут, в герметичной таре (металлические барабаны) — не ограничен.

Комовую известь транспортируют навалом в закрытых вагонах и автомашинах, порошкообразную — в бумажных мешках, а также в специальных автоцистернах. В таких же цистернах перевозят пушонку и известковое тесто.

Хранят комовую известь в сараях с деревянным полом, поднятым над землей на 30 см. Недопустимо попадание на известь воды, так как это может вызвать ее разогрев и пожар. На складах извести тушение пожара водой запрещается.

Техника безопасности. Воздушная известь всех видов — довольно сильная щелочь. Поэтому при работе с ней необходимо принимать меры, предотвращающие контакт извести с открытыми участками кожи и особенно дыхательных путей и глаз. Особенно опасна негашеная известь. Концентрация известковой пыли в воздухе не должна превышать 2 мг/м^3.

Молотую известь необходимо предохранять от попадания воды, так как в этом случае из-за бурного выделения теплоты и вскипания воды возможен выброс порошка извести.

Во время погрузочно-разгрузочных работ, а также во время гашения извести рабочие должны быть в резиновой обуви, защитной одежде, рукавицах, плотно прилагающем головном уборе, защитных очках и респираторах.

8.7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИЗВЕСТЬСОДЕРЖАЩИЕ ВЯЖУЩИЕ

Низкая водостойкость извести всегда побуждала людей искать пути ликвидации этого недостатка. Еще в Древнем Риме был найден способ получения водостойкого вяжущего на основе извести. Помогло римлянам в этом наличие вулкана Везувия. Они обнаружили, что при добавлении вулканического пепла к извести образующаяся смесь после твердения на воздухе в течение 7...14 дн далее могла твердеть в воде (более того, именно влажные условия были обязательны для набора прочности!). Это было первое гидравлическое вяжущее. Добавки из вулканических пород (пепла, туфа и т. п.) впоследствии получили название *гидравлические* или *пуццолановые* (по названию местечка у подножия Везувия, где они добывались). Римские постройки (мосты, акведуки, бани-термы и т. п.) на таких смешанных вяжущих сохранились до сих пор.

В Древней Руси проблема придания извести водостойкости была решена несколько иным путем. Там в роли гидравлической добавки использовали молотый бой кирпича; такую смесь на Руси называли *цемянкой.*

Механизм твердения этих вяжущих заключается в образовании из смеси извести, активных кремнезема и глинозема (пепла, молотого кирпича и т. п.) и воды водонерастворимых гидросиликатов и гидроалюминатов:

$$n\mathrm{Ca(OH)_2} + \mathrm{SiO_2} + m\mathrm{H_2O} \rightarrow n\mathrm{CaO} \cdot \mathrm{SiO_2} \cdot m\mathrm{H_2O}$$

Другой путь получения водостойких вяжущих на основе извести также был найден очень давно. Он базировался на обжиге известняков, имеющих примесь глины от 6 до 20 %. В этом случае в обожженном продукте помимо CaO появлялись низкоосновные силикаты и алюминаты (например, $2\mathrm{CaO} \cdot \mathrm{SiO_2}$), способные к твердению в воде. Естественно, механизм твердения этих вяжущих был расшифрован только в XX в. Все эти вяжущие в несколько измененном виде применяют до сих пор.

Современные известьсодержащие вяжущие гидравлического твердения — группа низкомарочных (малопрочных) так называемых местных вяжущих. В эту группу входят смешанные вяжущие (известково-пуццолановые и известково-шлаковые), а также гидравлическая известь.

Смешанные вяжущие получают совместным измельчением негашеной извести (10...30 %), гидравлической добавки (85...70 %) и гипса (до 5 %). В качестве добавки используют горные породы, содержащие активный кремнезем: вулканический пепел, пемзу, туф, диатомит, трепел и др. Такие вяжущие называют *известково-пуццолановыми*. Если в качестве добавки взят доменный гранулированный шлак, такие вяжущие называют *известково-шлаковыми*.

Известьсодержащие гидравлические вяжущие на начальной стадии (около 7 дн) должны твердеть в сухих условиях, а затем во влажных. По пределу прочности при сжатии стандартных образцов через 28 сут твердения известьсодержащие вяжущие делятся на марки 50; 100; 150 и 200 (кг/см^2).

Известьсодержащие гидравлические вяжущие применяют для приготовления растворов для кладки подземных частей зданий и бетонов. Срок хранения таких вяжущих из-за наличия в них негашеной извести не должен превышать 30 сут, причем во время хранения их тщательно предохраняют от увлажнения.

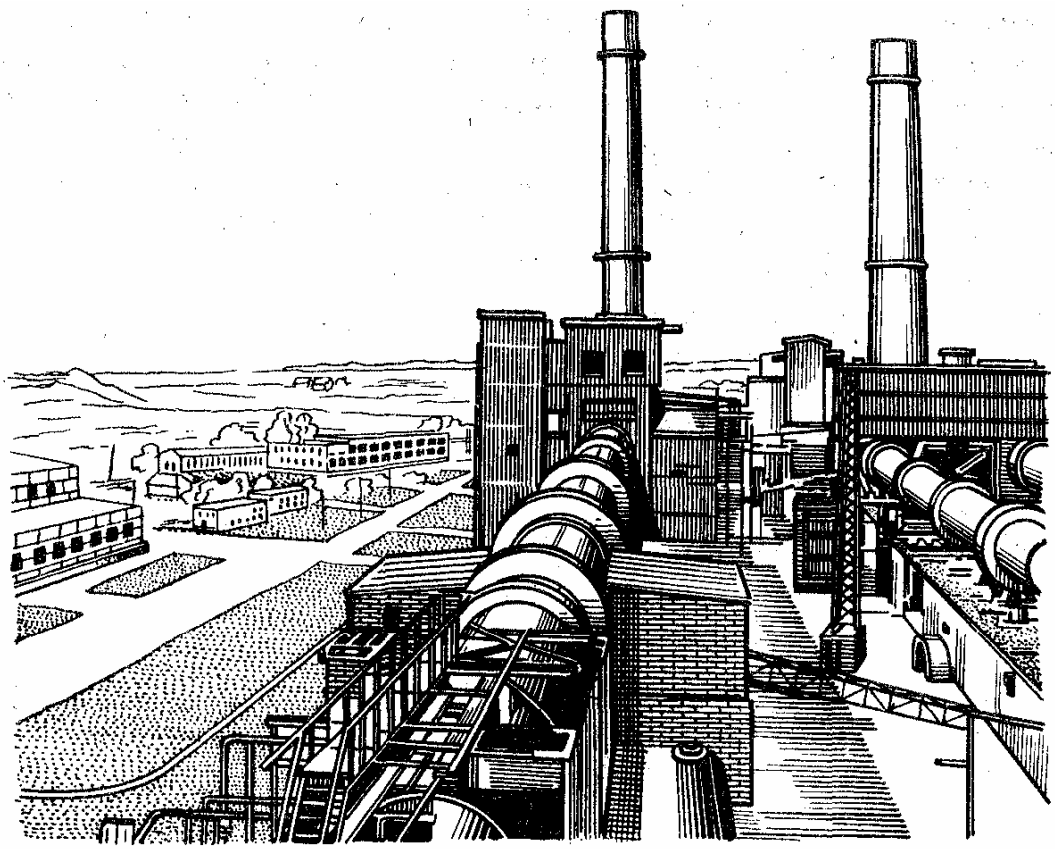
Строительная гидравлическая известь — продукт умеренного обжига при температуре 900...1100° С мергелистых известняков (содержание глины 8...20 %). В состав гидравлической извести входят свободные оксиды кальция и магния (50...65 %) и низкоосновные силикаты и алюминаты кальция, которые и придают извести гидравлические свойства.

Гидравлическая известь, смоченная водой, полностью гасится, образуя пластичное тесто. В отличие от воздушной она быстрее твердеет, приобретая со временем водостойкость. Однако первые 1...2 недели гидравлическая известь должна твердеть в воздушно-влажных условиях, и только после этого ее можно помещать в воду.

Предел прочности при сжатии затвердевшей гидравлической извести 2...5 МПа. Применяют ее для низкомарочных растворов и бетонов, используемых в том числе и во влажных условиях.

8.8. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Гидравлическая известь обладает рядом недостатков. Главные из них: необходимость твердения на воздухе первые 7...14 сут, низкие прочность, морозо- и воздухостойкость. Поэтому велись поиски более совершенного вяжущего вещества. Практически одновременно (1824—1825) независимо друг от друга Егор Челиев в России и Джозеф Аспдин в Англии путем *высокотемпературного обжига до спекания* смеси известняков и глины получили вяжущее, обладающее большей водостойкостью и прочностью. Производство нового вяжущего, названного впоследствии портландцементом, совершенствовалось и быстро рас-



Р и с . 8.3. Вращающаяся печь для обжига цементного клинкера

ширялось. Уже в начале XX в. портландцемент стал одним из основных строительных материалов.

Портландцемент — гидравлическое вяжущее, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера и небольшого количества гипса (1,5...3 %). Клинкер получают обжигом до спекания сырьевой смеси, обеспечивающей в портландцементе преобладание силикатов кальция. К клинкеру для замедления схватывания цемента добавляют гипс. Для улучшения некоторых свойств и снижения стоимости портландцемента допускается введение минеральных добавок.

Кроме портландцемента на основе портландцементного клинкера выпускают много других видов цементов.

Производство. Основные операции при получении портландцемента: приготовление сырьевой смеси, обжиг ее до получения цементного клинкера и помол клинкера совместно с добавками.

Соотношение компонентов сырьевой смеси выбирают с таким расчетом, чтобы полученный при обжиге клинкер имел следующий химический состав (%): CaO — 62...68, SiO_2 — 18...26, Al_2O_3 — 4...9, Fe_2O_3 — 2...6. В природе есть горная порода, обеспечивающая получение клинкера такого состава,— *мергель,* который представляет собой тесную смесь известняка с глиной. Но чаще используют известняк и

глину (добываемые отдельно) в соотношении 3 : 1 (по массе). Кроме основных компонентов в сырьевую смесь вводят корректирующие добавки и промышленные отходы, обеспечивающие требуемый состав клинкера.

Тщательно подготовленную сырьевую смесь подают на обжиг во вращающуюся печь (рис. 8.3), которая представляет собой стальную трубу диаметром до 7 м и длиной до 185 м. Изнутри труба выложена огнеупорным кирпичом. Печь установлена под небольшим (3...4°) углом к горизонту и вращается (0,8...1,3 мин$^{-1}$), благодаря чему сырьевая смесь перемещается в ней от верхнего конца к нижнему, куда подается топливо. Максимальная температура обжига 1450° С. При таких высоких температурах оксид кальция CaO, образовавшийся в результате разложения известняка, взаимодействует с кислотными оксидами SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3, образующимися при разложении глины. Продукты взаимодействия, частично плавясь и спекаясь друг с другом, образуют так называемый портландцементный клинкер — плотные твердые куски серого цвета. В состав портландцементного клинкера входят четыре основных минерала (табл. 8.1) и небольшое количество стеклообразного вещества.

Таблица 8.1. **Минеральный состав портландцементного клинкера**

Минерал	Формула	Количество, %
Трехкальциевый силикат (алит)	$3CaO \cdot SiO_2(C_3S)$*	42...65
Двухкальциевый силикат (белит)	$2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$	12...35
Трехкальциевый алюминат	$3CaO \cdot Al_2O_3(C_3A)$	4...14
Четырехкальциевый алюмоферрит	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3(C_4AF)$	10...18

* В скобках сокращенное обозначение клинкерных минералов.

Как видно из таблицы, портландцементный клинкер в основном (на 60...80 %) состоит из силикатов кальция, из-за чего портландцемент также называют силикатным цементом.

Для получения портландцемента клинкер размалывают в трубных или шаровых мельницах с гипсом и другими добавками. Свойства портландцемента зависят от его минерального состава и тонкости помола клинкера.

При взаимодействии с влагой воздуха активность портландцемента падает, поэтому его предохраняют от действия влаги. Портландцемент хранят в силосах (высоких цилиндрических емкостях из бетона или металла). На строительство его доставляют в специальных вагонах, автомобилях-цементовозах или упакованным в многослойные бумажные или полиэтиленовые мешки.

Твердение. При смешивании с водой частицы портландцемента начинают растворяться, причем одновременно может происходить

гидролиз (разложение водой) и гидратация (присоединение воды) продуктов растворения с образованием гидратных соединений.

По этой схеме (гидролиз и гидратация) взаимодействуют с водой главные компоненты клинкера алит C_3S и белит C_2S:

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO \cdot SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO \cdot SiO_2 \cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$$

Необходимо подчеркнуть особенности этих реакций:

- C_3S взаимодействует с водой намного активнее, чем C_2S;
- при взаимодействии силикатов кальция с водой выделяется растворимый в воде компонент $Ca(OH)_2$ — *воздушная известь,* создающая щелочную реакцию в твердеющем цементе;
- C_3S выделяет $Ca(OH)_2$ в 3 раза больше, чем C_2S; общее количество $Ca(OH)_2$ достигает 15 % от массы цементного камня.

Алюминат кальция C_3A подвергается только гидратации, причем этот процесс идет очень быстро с образованием крупных кристаллов

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$$

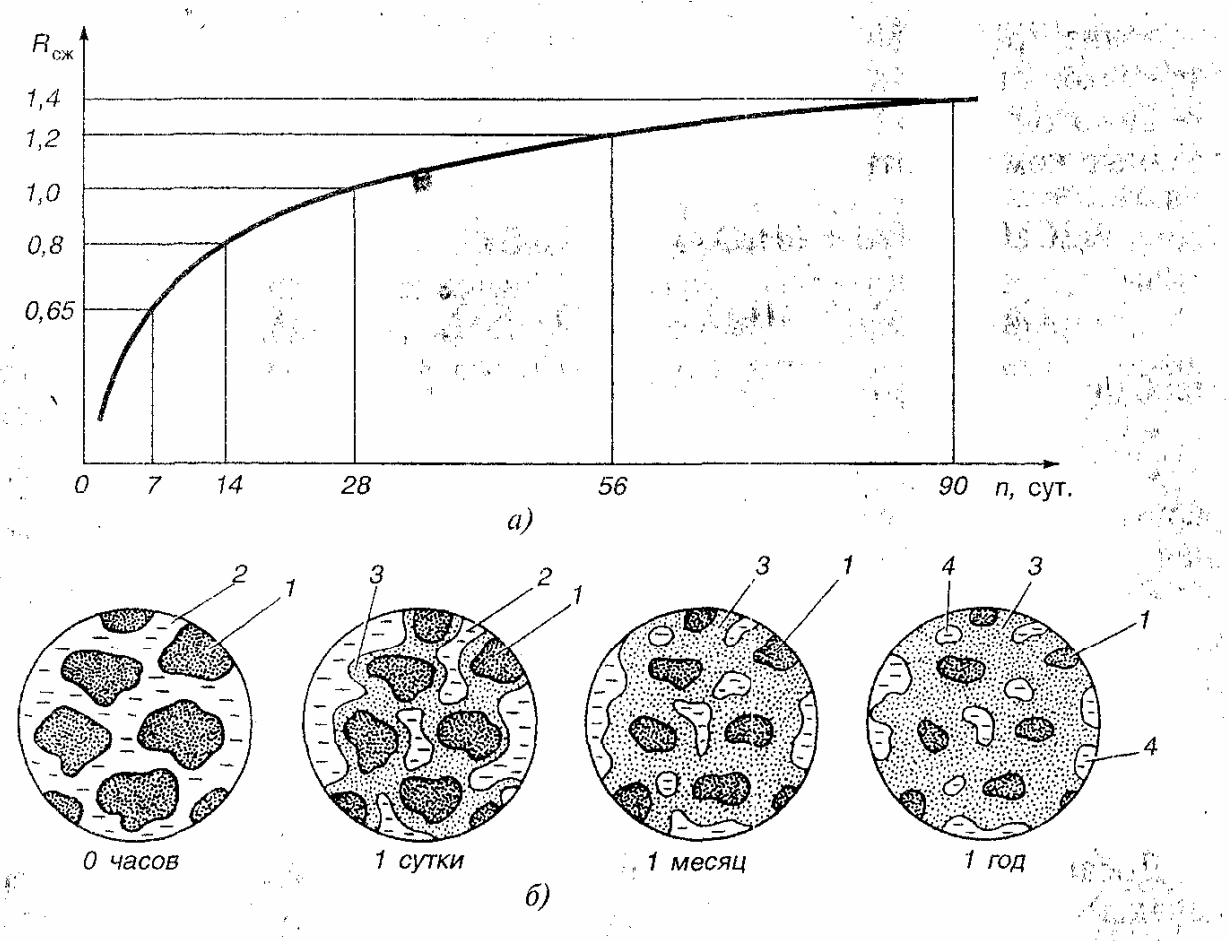
Добавка гипса, вводимая при помоле клинкера, изменяет характер начального периода твердения C_3A и замедляет схватывание цемента на несколько часов из-за образования эттрингита $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot (31 - 33)H_2O$.

Четырехкальциевый алюмоферрит C_4AF взаимодействует с водой медленнее, чем C_3A, образуя гидроалюминат и гидроферрит кальция.

Основной продукт твердения портландцемента — гидросиликаты кальция — практически нерастворимы в воде. Они выпадают из раствора сначала в виде геля (жесткого студня). Этот гель пронизывают, укрепляя его, кристаллы $Ca(OH)_2$. Гель гидросиликатов кальция со временем кристаллизуется. Остальные продукты взаимодействия клинкера с водой также участвуют в формировании структуры цементного камня и, естественно, влияют на его свойства.

Процесс гидратации зерен портландцемента из-за малой их растворимости растягивается на длительное время (месяцы и годы) (рис. 8.4). Чтобы этот процесс мог протекать, необходимо постоянное присутствие воды в твердеющем материале. Однако нарастание прочности со временем замедляется. Поэтому качество цемента принято оценивать по прочности, набираемой им в первые 28 суток твердения.

Коррозия цементного камня. Портландцемент, будучи гидравлическим вяжущим, при нахождении в воде твердеет, набирая все большую прочность. Вместе с тем, если вода (а еще хуже — водные растворы солей и кислот) начинает *фильтроваться* (просачиваться) сквозь цементный камень, то начинается его разрушение. Этот процесс называется коррозией цементного камня. Коррозия протекает тем интен-



Р и с . 8.4. Твердение цемента:

а — рост цемента ($R_{сж}$) во времени (*n*); *б* — схема взаимодействия зерен цемента с водой в различные сроки; *1* — зерно цемента; *2* — вода; *3* — гидратные новообразования; *4* — воздушные пары

сивнее, чем выше капиллярная пористость цементного камня. Развитие коррозии приводит к разрушению цементных растворов и бетонов. В зависимости от действующих коррозионных агентов различают несколько видов коррозии.

Физическая коррозия (выщелачивание). Один из продуктов взаимодействия с водой силикатов кальция (алита и в меньшей степени белита) гидроксид кальция $Ca(OH)_2$, количество которого достигает 15 % от объема всех продуктов твердения. Это вещество заметно растворимое в воде (около 2 г/л). Поэтому при фильтрации пресной воды через цементный камень происходит вымывание $Ca(OH)_2$ и вынос его на поверхность. На бетоне появляются белесые выцветы. Чем больше вымывается $Ca(OH)_2$ из цементного камня, тем более пористым он становится. Это вызывает усиление фильтрации воды и т. д.

Чтобы увеличить стойкость цементного камня к выщелачиванию, используют цементы с пониженным содержанием C_3S, а также добавляют к цементу активные минеральные (пуццолановые) добавки, связывающие $Ca(OH)_2$ в нерастворимые гидросиликаты (см. § 8.7).

Солевая и сульфатная коррозия. Еще сильнее разрушает цементный камень фильтрующаяся через него *минерализованная* (содержащая соли) вода. В этом случае внутри цементного камня происходят различные химические реакции между растворенными в воде солями и продуктами твердения цемента.

Особенно опасна *сульфатная коррозия,* вызываемая водой, содержащей сульфат-ион SO^{2-}_4 (в частности, растворы $CaSO_4$). Строители столкнулись с разрушением от этого вида коррозии в начале XX в. Бетон на портландцементе в морских сооружениях часто растрескивался, а в трещинах была видна белая масса из крупных кристаллов (они за свой нрав получили название «дракончики» или «цементная бацилла»). Впоследствии было установлено, что причиной разрушения является образование в цементном камне сложного комплексного соединения: *гидросульфоалюмината кальция* (эттрингит). Эттрингит образуется при взаимодействии гидроалюмината кальция, находящегося в цементном камне с поступающими с водой ионами Ca^{2+} и SO^{2-}_4 по следующей схеме:

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3Ca^{2+} + 3SO^{2-}_4 + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$$

Объем эттрингита за счет большого содержания химически связанной (кристаллизационной) воды в 2,5 раза превышает объем исходного гидроалюмината, что и вызывает разрушение затвердевшего цементного камня. Необходимо отметить, что эта же реакция образования эттрингита, но проводимая целенаправленно, используется для получения расширяющихся цементов — «дракончик» оказался ручным (см. § 8.12).

Основные пути защиты цементных материалов от коррозии следующие:

- правильный выбор типа цемента;
- снижение капиллярной пористости цементного камня, например, за счет уменьшения количества воды затворения (снижение В/Ц);
- надежная гидроизоляция, не допускающая фильтрации воды сквозь материал.

Технические характеристики портландцемента. К основным характеристикам портландцемента относятся истинная и насыпная плотность, тонкость помола, сроки схватывания, равномерность изменения объема при твердении и прочность затвердевшего цементного камня.

Плотность портландцемента в зависимости от вида и количества добавок составляет 2900...3200 кг/м^3, насыпная плотность в рыхлом состоянии 1000...1100 кг/м^3, в уплотненном — до 1700 кг/м^3.

Тонкость помола характеризуется количеством цемента, проходящим через сито с сеткой № 008 (размер отверстий 0,08 мм) и его удельной поверхностью. Согласно ГОСТу через сито с сеткой № 008

должно проходить не менее 95 % цемента, при этом удельная поверхность у обычного портландцемента должна быть в пределах 2000...3000 $см^2/г$ и у быстротвердеющего портландцемента 3500...5000 $см^2/г$.

Сроки схватывания портландцемента, рассчитываемые от момента затворения, должны быть: начало — не ранее 45 мин; конец — не позднее 10 ч. Эти показатели определяют при температуре 20° С. Если цемент затворяют горячей водой (более 40° С), может произойти очень быстрое схватывание.

Прочность портландцемента характеризуется его маркой. Марку портландцемента определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе образцов-балочек 40 х 40 х 160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора (состава 1 : 3) стандартной консистенции и твердевших 28 сут (первые сутки в формах на влажном воздухе и 27 сут в воде при 20° С).

Промышленность выпускает портландцемент четырех марок: 400; 500; 550 и 600 (цифра соответствует округленной в сторону уменьшения средней прочности образцов при сжатии выраженной в $кгс/см^2$). Подробнее об определении марки портландцемента см. лабораторную работу № 7.

Тепловыделение при твердении. Твердение портландцемента сопровождается выделением большого количества теплоты. Так как эта теплота выделяется в течение длительного времени (дни, недели), заметного разогрева цементного бетона или раствора не происходит. Однако если объем бетона велик (например, при бетонировании плотин, массивных фундаментов), то потери теплоты в окружающее пространство будут незначительны по сравнению с общим количеством выделяющейся теплоты и возможен разогрев бетона до температуры 70...80° С, что приведет к его растрескиванию.

Равномерность изменения объема. При твердении цементное тесто уменьшается в объеме. Усадка на воздухе составляет около 0,5...1 мм/м. При твердении в воде цемент немного набухает (до 0,5 мм/м). Однако изменение объема при твердении должно быть равномерным. Это свойство проверяют на лепешках из цементного теста, которые не должны растрескиваться после пропаривания в течение 3 ч (до пропаривания лепешки 24 ч твердеют на воздухе). Неравномерность изменения объема возникает из-за присутствия в цементе свободных CaO и MgO, находящихся в виде пережога (см. 8.6).

8.9. РАЗНОВИДНОСТИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Для удовлетворения требований современного строительства к цементам промышленность на основе портландцементного клинкера выпускает различные виды портландцемента.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) отличается быстрым ростом прочности в первые дни твердения. Выпускают БТЦ двух марок:

400 и 500, которые в трехсуточном возрасте должны иметь предел прочности при сжатии соответственно не ниже 25 и 28 МПа.

В составе БТЦ преобладают активные минералы: трехкальциевый силикат C_3S — 50...55 % и трехкальциевый алюминат C_3A — 5...10 %. Тонкость помола у БТЦ выше, чем у обычного портландцемента (удельная поверхность до 5000 $см^2/г$), поэтому при хранении он, впитывая пары воды из воздуха, комкуется и быстро теряет активность. БТЦ применяют для бетонов сборных конструкций с повышенной отпускной прочностью и монолитных конструкций. Коррозионная стойкость у БТЦ пониженная.

Пластифицированный портландцемент получают, добавляя к клинкеру при помоле гидрофильные поверхностно-активные вещества (например, сульфитно-спиртовую барду ССБ) в количестве 0,15...0,25 %. Такой цемент повышает пластичность бетонных и растворных смесей по сравнению с обычным портландцементом при одинаковом расходе воды. Это позволяет уменьшить расход портландцемента, повысить прочность и морозостойкость бетонов и растворов.

Гидрофобный портландцемент получают, добавляя к клинкеру при помоле гидрофобные поверхностно-активные вещества ПАВ (0,05...0,5 % от массы цемента), образующие на зернах цемента водоотталкивающие пленки. В качестве таких добавок используют главным образом отходы переработки нефти (мылонафт, асидол).

Гидрофобный портландцемент благодаря наличию защитных пленок при хранении и транспортировании даже во влажных условиях не намокает, не комкуется и почти не теряет своей активности.

При перемешивании гидрофобного цемента с водой и заполнителями ПАВ сдирается с цементных зерен и переходит в состав бетона или раствора. Поэтому бетонные и растворные смеси на гидрофобном цементе отличаются повышенной пластичностью, а после затвердевания — повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью.

Применяется гидрофобный цемент в тех случаях, когда трудно обеспечить необходимые условия хранения обычного цемента.

Сульфатостойкий портландцемент изготовляют из клинкера с пониженным содержанием трехкальциевого силиката C_3S (не более 50 %) и трехкальциевого алюмината C_3A (не более 5 %). При таком составе цемента уменьшается возможность образования в цементном камне гидросульфоалюмината кальция («цементной бациллы») и тем самым повышается стойкость бетона к сульфатной коррозии. Кроме того, сульфатостойкий цемент характеризуется пониженным тепловыделением при твердении. Сульфатостойкий цемент выпускают марок 300, 400, 500.

Белый портландцемент получают из белых каолиновых глин и чистых известняков или мела с минимальным содержанием окислов

железа, марганца и хрома. В таком цементе практически нет алюмоферрита кальция C_4AF, имеющего серо-зеленый цвет. На основе белого цемента и щелочестойких пигментов (сурика, ультрамарина и др.) получают ***цветные цементы.*** Марки таких цементов 300, 400 и 500. Применяют белый и цветные цементы для отделочных работ.

8.10. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ С МИНЕРАЛЬНЫМИ ДОБАВКАМИ

Цементный клинкер — энергоемкий в производстве и дорогостоящий продукт. Поэтому во всех случаях, когда это допустимо, его заменяют более дешевыми природными продуктами или промышленными отходами. К таким смешанным цементам относятся шлакопортландцемент, пуццолоновый цемент и кладочные цементы.

Шлакопортландцемент получают путем совместного помола доменного гранулированного шлака (21...80 %), портландцементного клинкера (79...20 %) и гипса (не более 5 %).

Доменный шлак — отход производства чугуна (на 1 т чугуна приходится около 0,6 т шлака), поэтому шлакопортландцемент экономически выгоднее, чем портландцемент. Выпуск шлакопортландцемента в России составляет около $^1/_3$ от общего выпуска цемента. Химический состав доменного гранулированного шлака близок к составу клинкера. К самостоятельному твердению шлак не способен, но в присутствии портландцемента и гипса он проявляет вяжущие свойства.

Шлакопортландцемент выпускают трех марок: 300, 400 и 500. По коррозионной стойкости и водостойкости он превосходит обычный портландцемент, но твердеет несколько медленнее и при этом выделяет меньше теплоты. Недостаток шлакопортландцемента — пониженная по сравнению с обычным портландцементом морозостойкость.

Пуццолановый портландцемент получают либо путем совместного помола портландцементного клинкера (79...60 %), активной минеральной добавки (21...40 %) и небольшого количества гипса, либо тщательным смешиванием этих же компонентов, но предварительно каждый из них измельчают.

К активным минеральным добавкам относятся: вулканические туфы, пеплы и пемзы, диатомит, трепел, опока, золы ТЭС и другие вещества. Активные добавки связывают выделяющийся при твердении цемента $Ca(OH)_2$ в нерастворимые гидросиликаты (см. с. 77), благодаря чему повышаются водостойкость и коррозионная стойкость цементного камня. Пуццолановые цементы отличаются низким тепловыделением при твердении и пониженной скоростью твердения. Морозо- и воздухостойкость пуццолановых цементов ниже, чем портландцемента. Пуццолановый портландцемент выпускают марок: 300 и 400.

Пуццолановый портландцемент применяют для гидротехнического строительства, а также для подземных и подводных сооружений.

Пуццолановый портландцемент еще в большей степени, чем шлакопортландцемент, требует увлажнения во время твердения.

Цементы для строительных растворов (кладочные цементы) — это как бы разбавленный портландцемент. Содержание клинкера в таких цементах 20...30 %, а остальная часть цемента состоит из молотых активных и инертных (известняк, песок) добавок. Марка кладочных цементов 200. Такие цементы применяют для кладочных и штукатурных растворов и неармированных бетонов классов В12,5 и ниже. Использование кладочных цементов дает экономию цементного клинкера — наиболее дорогой части цементов.

8.11. ГЛИНОЗЕМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ

Глиноземистый цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее, состоящее преимущественно из моноалюмината кальция ($CaO \cdot Al_2O_3$). Свое название этот цемент получил от технического названия оксида алюминия Al_2O_3 — «глинозем».

Промышленное производство глиноземистого цемента началось во Франции в 1912 г. под названием «цемент Фондю» (в Европе этот цемент до сих пор носит это название). Глиноземистый цемент с успехом использовался французами в ходе первой мировой войны для срочного восстановления мостов и других инженерных сооружений. В других европейских странах его производство началось только в 20-е годы. Причина этого не только в том, что производство глиноземистого цемента было строго засекречено, но и в том, что Франция в то время была одной из немногих стран, имеющих залежи бокситов и дешевую электроэнергию ГЭС — два фактора, необходимых для производства глиноземистого цемента.

Получение. Сырьем для глиноземистого цемента служат, как уже было сказано, бокситы и чистые известняки. *Бокситы* — горная порода, состоящая из гидратов глинозема ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) и примесей (в основном Fe_2O_3, SiO_2, CaO и др.). Бокситы широко используются в различных отраслях промышленности: для получения алюминия, абразивов, огнеупоров, адсорбентов и т. п., а месторождений с высоким содержанием Al_2O_3 очень немного.

Производство глиноземистого цемента более энергоемко, чем производство портландцемента. Клинкер глиноземистого цемента получают либо плавлением в электрических или доменных печах (при 1500...1600° С), либо спеканием (при 1200...1300° С). Размол клинкера затруднен из-за его высокой твердости. В целом из-за того, что производство глиноземистого цемента очень энергоемко, а сырье (бокситы) — дефицитно, его стоимость в несколько раз выше, чем стоимость портландцемента.

Состав. Химический состав глиноземистого цемента, получаемого разными методами, находится в следующих пределах: CaO — 35...45 %;

Al_2O_3 — 30...50 %; Fe_2O_3 — 0...15 %; SiO_2 — 5...15 %. В минеральном составе клинкера глиноземистых цементов преобладает *однокальциевый алюминат* $CaO \cdot Al_2O_3$ (CA), определяющий основные свойства этого вяжущего. Кроме того, в нем присутствуют алюминаты — CA_2, $C_{12}A_7$; двухкальциевый силикат C_2S, отличающийся, как известно, медленным твердением, и в качестве неизбежной балластной примеси — геленит — $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Твердение. Процесс твердения глиноземистого цемента и прочность образующегося цементного камня существенно зависят от температуры твердения. При нормальной температуре (до + 25° С) основной минерал цемента — CA взаимодействует с водой с образованием кристаллического гидроалюмината кальция и гидроксида алюминия в виде гелевидной массы:

$$2(CaO \cdot Al_2O_3) + 11H_2O = 2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O + 2Al(OH)_3 + Q$$

Суммарное тепловыделение (Q) у глиноземистого цемента немного ниже, чем у портландцемента (около 300...400 кДж/кг), но протекает оно в очень короткие сроки (в первые сутки выделяется 70...80 % от общего количества теплоты). Поэтому возможен перегрев бетонов на глиноземистом цементе в случае больших объемов бетонирования.

Если же температура твердеющего глиноземистого цемента превысит 25...30° С, то изменяется химизм твердения, и вместо C_2AH_8 образуется C_3AH_6; при этом прочность цементного камня будет ниже в 2...2,5 раза. Поэтому глиноземистый цемент не рекомендуется использовать для бетонирования массивных конструкций, где возможен саморазогрев бетона, а также в условиях жаркого климата. Нельзя также его пропаривать. При работах в зимних условиях, напротив, саморазогрев и быстрое твердение делают глиноземистый цемент очень перспективным.

Свойства. У глиноземистого цемента удивительное сочетание свойств.

Сроки схватывания почти такие же, как у портландцемента: начало — не ранее 30 мин, конец — не позднее 12 ч (реально 4...5 ч).

После окончания схватывания прочность нарастает очень быстро (лавинообразно). Уже через сутки глиноземистый цемент набирает до 90 % от марочной прочности, которая у него определяется в 3-суточном возрасте. *Марки* у глиноземистого цемента такие же, как у портландцемента: 400; 500 и 600 (табл. 8.2).

Таблица 8.2. **Прочность глиноземистого цемента**

Марка цемента	Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см^2), не менее	
	через 1 сут.	через 3 сут.
400	23 (230)	40 (400)
500	28 (280)	50 (500)
600	33 (330)	60 (600)

Усадка глиноземистого цемента при твердении на воздухе ниже, чем у портландцемента, в 3...5 раз. *Пористость* цементного камня также ниже (приблизительно в 1,5 раза). Это связано с тем, что при одинаковой с портландцементом водопотребности глиноземистый цемент при твердении химически связывает 30...45 % воды от массы цемента (портландцемент — около 20 %).

Среда в процессе твердения и в затвердевшем цементном камне у глиноземистого цемента слабощелочная. Свободного $Ca(OH)_2$ цементный камень не содержит. Это обстоятельство в сочетании с пониженной пористостью делает бетоны на глиноземистом цементе более устойчивыми к коррозии в пресной и минерализованной воде.

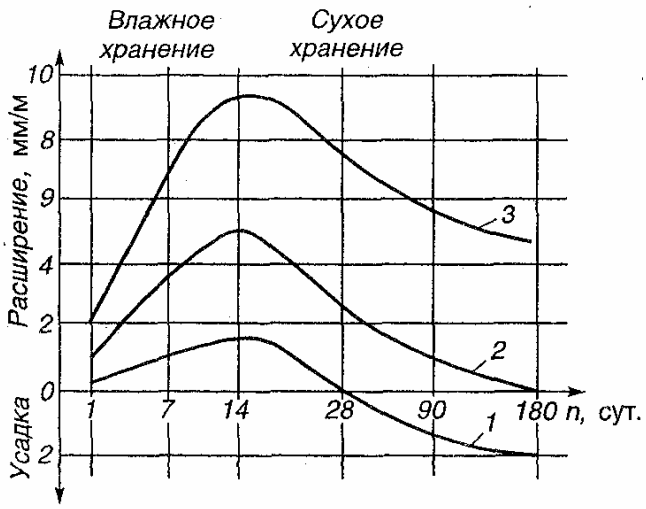
Области применения. Глиноземистый цемент целесообразно использовать при аварийных и срочных работах, при зимних работах и в тех случаях, когда от бетона требуется высокая водостойкость и водонепроницаемость. Кроме того, глиноземистый цемент является компонентом многих *расширяющихся цементов* (см. § 8.1).

Специальная область использования глиноземистых цементов — *жаростойкие бетоны*. Объясняется это тем, что, во-первых, в продуктах твердения этого цемента нет $Ca(OH)_2$, и, во-вторых, при температуре 700...800° С между продуктами твердения цемента и заполнителями бетона начинаются реакции в твердой фазе, по мере протекания которых прочность бетона не падает, а повышается, так как бетон превращается в керамический материал (опасность присутствия $Ca(OH)_2$ заключается в том, что при нагреве он переходит в CaO, который при любом контакте с водой гасится, разрушая при этом бетон).

8.12. РАСШИРЯЮЩИЕСЯ ЦЕМЕНТЫ

Портландцемент и материалы на его основе при твердении на воздухе обнаруживают усадку. Так, тесто на портландцементе при В/Ц = 0,45 имеет усадку на воздухе около 2,5 мм/м, а раствор на том же цементе ≈ 1 мм/м. Из-за этого при бетонировании протяженных конструкций, например, покрытий полов, на них появляются трещины. В то же время растрескивание бетона абсолютно недопустимо, например, для конструкций, работающих под давлением воды, таких, как трубы, резервуары и т. п. Для этих целей применяют специальные расширяющиеся и безусадочные цементы (рис. 8.5).

Расширяющиеся цементы даже при твердении на воздухе имеют небольшое увеличение в объеме при твердении. ***Безусадочные цементы*** — это расширяющиеся цементы, у которых расширение только компенсирует усадку. Поэтому такие цементы как бы сами уплотняют себя, делая бетон водонепроницаемым. А в случае, если расширяющиеся цементы используются в железобетонных конструкциях, эффект рас-



Р и с . 8.5. Линейные деформации различных цементов при твердении их сначала в воде, а затем на воздухе:

1 — обыкновенный цемент; *2* — безусадочный цемент; *3* — расширяющийся цемент

ширения вяжущего может вызывать натяжение арматуры и сжатие самого бетона, что дополнительно защитит бетон от образования трещин (подробнее см. § 13.1). Такие цементы называют ***напрягающими.***

Эффект расширения вяжущего может быть достигнут различными методами. Например, путем образования газовых пузырьков в твердеющем тесте вяжущего или с помощью реакции гашения добавляемого в цемент CaO при переходе в $Ca(OH)_2$ (см. § 8.6). Эти методы применяют при решении различных задач. Например, метод гашения CaO используют при добыче крупных каменных блоков с помощью так называемого «тихого взрыва».

Для строительных целей в основном используют цементы, в которых расширение достигается с помощью образования *эттрингита* — гидросульфоалюмината кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot (31 — 32) H_2O$. Образование эттрингита возможно при взаимодействии алюминатов и сульфатов кальция в водной среде; оно было рассмотрено при описании сульфатной коррозии портландцементного камня (см. § 8.8).

Как видно из формулы, в состав эттрингита входит большое количество воды. Именно это обстоятельство обеспечивает эффект расширения: исходные твердые продукты, взаимодействуя друг с другом и гидратируясь (т. е. присоединяя воду), *увеличиваются в объеме в 2...2,5 раза.*

В твердеющем материале на расширяющемся цементе протекают два процесса — *расширение,* обусловленное процессом кристаллизации эттрингита с увеличением объема новообразований и ростом внутренних растягивающих напряжений, и препятствующий расширению процесс — *рост прочности* самого цементного камня.

Если образование эттрингита будет протекать раньше, чем у цементного камня появится хотя бы небольшая прочность, то эттрингит будет сжимать податливую гелеобразную массу и заметного расширения не произойдет.

Если эттрингит будет образовываться в то время, когда цементный камень набрал достаточно высокую прочность, то напряжения, обус-

ловленные ростом кристаллов эттрингита в ограниченном объеме, могут вызвать падение прочности и даже разрушение цементного камня, как это имеет место при сульфатной коррозии (см. § 8.8).

Таким образом, главная задача при разработке составов расширяющихся и безусадочных вяжущих — правильный выбор не только *количества образующегося эттрингита, но и момента его образования* относительно процесса формирования структуры цементного камня. Для различных видов расширяющихся цементов период наиболее интенсивного и безопасного расширения цементного камня составляет от 12 ч до 3...7 сут в зависимости от свойств основного структурообразующего вяжущего.

Основными вяжущими в расширяющихся цементах могут быть:

- алюминатные цементы (глиноземистый и др.);
- силикатные цементы (портландцемент и др.);
- сама расширяющаяся система (эттрингит).

Ниже приведены главнейшие виды расширяющихся и безусадочных цементов.

На основе портландцемента получают:

расширяющийся портландцемент (РПЦ), получаемый совместным помолом клинкера портландцемента (60...65 %), высокоглиноземистых доменных шлаков (5..7 %), двуводного гипса (7...10 %) и активных минеральных добавок. Сроки схватывания и прочностные характеристики соответствуют портландцементу (марки 400, 500 и 600). Линейное расширение на воздухе через 28 сут — не менее 0,1 %;

напрягающий цемент (НЦ), разработанный В.В. Михайловым, получают совместным помолом клинкера портландцемента (65...75 %), двуводного гипса (6...10 %) и высокоглиноземистого компонента (13...20 %). Сроки схватывания: начало — не ранее 30 мин, конец — не позднее 4 ч. Прочность через 1 сут — не менее 15 МПа; через 28 сут — не менее 50 МПа.

В случае изготовления железобетонной конструкции на напрягающем цементе энергия расширения вяжущего частично идет на создание растягивающих напряжений в арматуре. Реакция арматуры вызывает в бетоне сжимающие напряжения. Таким образом, получаются самонапряженные железобетонные конструкции высокой плотности и трещиностойкости. Такой метод самонапряжения используется при бетонировании емкостей для хранения газов и жидкостей, устройстве гидроизоляционных слоев. Например, при бетонировании чаши стадиона в Лужниках, которая одновременно является и крышей для помещений внизу, и полом, на котором находятся скамьи для зрителей, для обеспечения водонепроницаемости использовалась смесь на основе напрягающего цемента.

На основе алюминатных вяжущих производят:

водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ), получаемый совместным помолом глиноземистого цемента (70 %), гипса (20 %) и высокоосновного гидроалюмината кальция (10 %). РЦ — быстросхватывающееся (минуты) и быстротвердеющее вяжущее ($R_{сж}$ через 6 ч — не менее 7,5 МПа; через 3 сут — не ниже 30 МПа). Расширение на воздухе через 1 сут — не менее 0,05 %, через 28 сут — не менее 0,02 %.

гипсоглиноземистый цемент (разработан И.В. Кравченко) получают совместным помолом высокоглиноземистых шлаков (70 %) и двуводного гипса (30 %). Этот цемент схватывается в течение 2...4 ч и быстро твердеет; $R_{сж}$ через 3 сут — 40...50 МПа. Расширение через 28 сут при твердении на воздухе — не менее 0,1 %.

В последнее время в роли безусадочных и расширяющихся вяжущих стали использовать *гипсоалюминатные системы*, основным и часто единственным продуктом твердения которых является эттрингит. Бетоны и растворы на таких вяжущих быстро твердеют, достигая прочности 30...50 МПа через 1...3 сут в воздушно-сухих условиях. Прототипом таких смесей является гипсоглиноземистый цемент И.В. Кравченко.

> Для обеспечения образования эттрингита в смесях с безусадочными и расширяющимися цементами должна присутствовать вода в продолжение всего времени твердения. Эттрингит при нагреве выше 80...100° С начинает отдавать кристаллизационную воду, что сопровождается снижением прочности. Эти обстоятельства необходимо учитывать при использовании расширяющихся цементов.

Перспективная область применения бетонов и растворов на расширяющихся и безусадочных вяжущих — бесшовные тонкослойные стяжки или лицевые покрытия полов большой площади. С помощью полимерных модификаторов таким смесям придают свойство самовыравнивания, а эффект безусадочности гарантирует трещиностойкость. Быстрое твердение и защитные полимерные добавки обеспечивают необходимое количество воды для протекания полной гидратации без какого-либо специального ухода.

Лабораторная работа № 6
Стандартные испытания гипсовых вяжущих

Цель: ознакомиться с требованиями ГОСТа к гипсовым вяжущим (гипсу) и изучить методы определения стандартной консистенции, сроков схватывания и марки по прочности гипса в соответствии с ГОСТом.

Материалы: гипс строительный — 1,3 кг; вода водопроводная.

Приборы и приспособления: весы торговые, мерный цилиндр вместимостью 500 или 250 см^3; чаша для перемешивания и ручная мешалка; вискозиметр Суттарда; прибор Вика с иглой, трехгнездная форма для изготовления образцов 4 х 4 х 16 см.

Ход работы

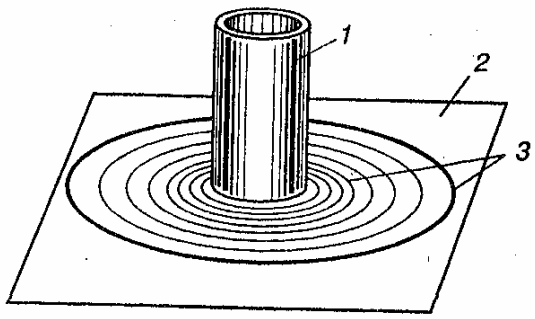
I. Определение стандартной консистенции

Сущность метода количественной оценки стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста состоит в определении диаметра расплыва теста, вытекающего из полого цилиндра без дна (вискозиметра Суттарда). *Диаметр расплыва теста стандартной консистенции должен быть равен* (180 ± 5) мм. Консистенцию выражают в % как отношение массы воды, необходимой для получения теста, к массе гипсового вяжущего.

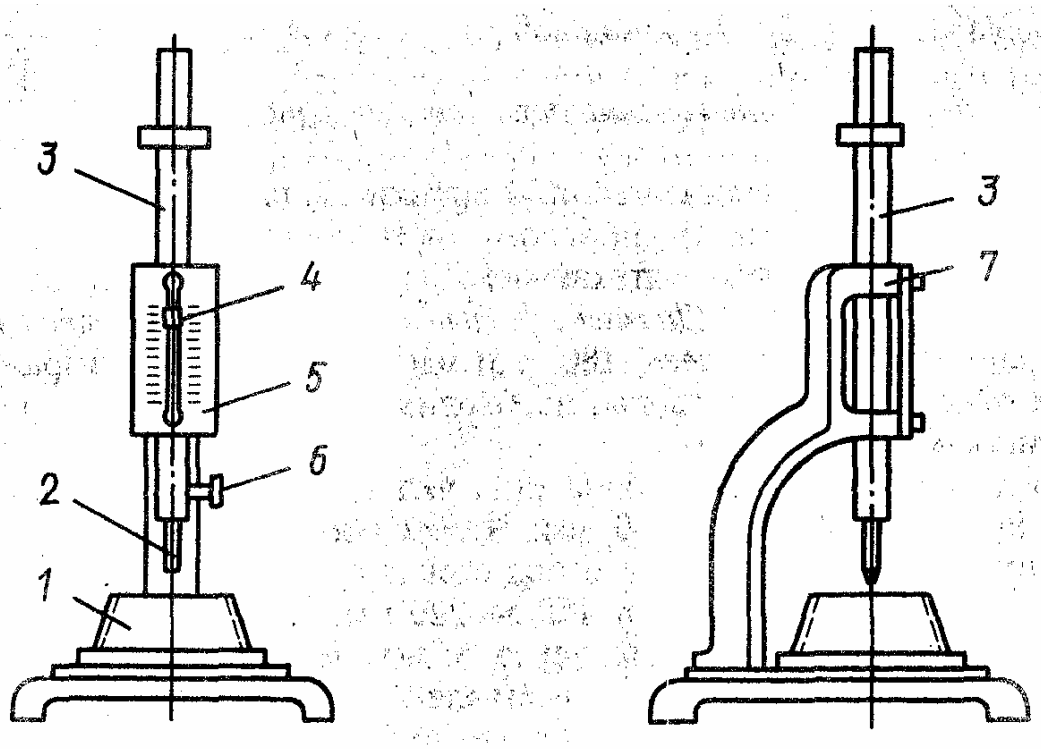
Перед началом испытаний на стол укладывают квадратный лист стекла размером не менее 240 мм. Чтобы облегчить измерения, на стекло или бумагу, находящуюся под стеклом, наносят концентрические окружности диаметром от 150 до 220 мм через каждые 10 мм и диаметром от 170 до 190 мм через 5 мм. Цилиндр *1* (рис. 8.6), изготовленный из нержавеющего металла и имеющий полированную внутреннюю поверхность, ставят в центр стеклянной пластинки *2*. Внутреннюю поверхность цилиндра и пластинку перед испытанием протирают влажной тканью.

Для определения стандартной консистенции отвешивают 300...350 г гипса и отмеривают 45...55 % воды от массы гипса. Все измерения проводят с погрешностью не более 0,1 %. Воду вливают в чистую чашку и туда же в течение 2...5 с всыпают отвешенное количество гипса. Полученную массу перемешивают ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет от момента всыпания гипса в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре пластинки, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала перемешивания, цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15...20 см. Время перемешивания должно строго соблюдаться, так как вязкость гипсового теста быстро возрастает во времени и нарушение продолжительности перемешивания дает искаженные результаты испытания.

Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва отличается от (180 ± 5) мм, испытание повторяют с измененным количеством воды, добиваясь требуемого расплыва.



Р и с . 8.6. Вискозиметр Суттарда:
1 — цилиндр; *2* — стеклянная пластинка; *3* — концентрические окружности



Р и с . 87. Прибор Вика с иглой:

1 — кольцо; *2* — игла; *3* — стержень; *4* — стрелка-указатель; *5* — шкала; *6* — стопорный винт; *7* — держатель

II. Определение сроков схватывания

Сроки схватывания гипса определяют с помощью прибора Вика с иглой (рис. 8.7) на тесте стандартной консистенции. Для испытания берут 200 г гипса и воду в количестве, соответствующем тесту стандартной консистенции. Гипс всыпают в воду, одновременно включая секундомер, и перемешивают в течение не более 1 мин до получения однородного теста.

Готовое тесто выливают в коническое кольцо-форму, установленное на пластинке. Кольцо-форму после каждого испытания тщательно очищают и смазывают машинным маслом. Чтобы удалить попавший в тесто воздух, кольцо с пластинкой 5...6 раз встряхивают, поднимая и опуская одну из сторон пластинки на 10...15 мм. Затем излишек теста срезают ножом, одновременно заглаживая его поверхность, после чего пластинку с кольцом устанавливают на прибор Вика.

Стержень прибора устанавливают так, чтобы игла *2* касалась поверхности гипсового теста. Далее отпускают зажимный винт и игла под действием силы тяжести стержня погружается в тесто. Погружения производят с интервалом 30 с, начиная с целого числа минут (обычно 2 мин). После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности гипсового теста.

Начало схватывания фиксируют как момент от начала приготовления цементного теста (затворения цемента) до момента, когда игла впервые не дойдет до дна кольца *1* на 1...2 мм (фиксируют по шкале *5*).

Концом схватывания считается время от момента всыпания гипса в воду до момента, когда игла погрузится в тесто не более чем на 1...2 мм.

По полученным данным определяют, к какой группе относится испытуемый гипс (А; Б или В) по срокам твердения (см. § 8.3).

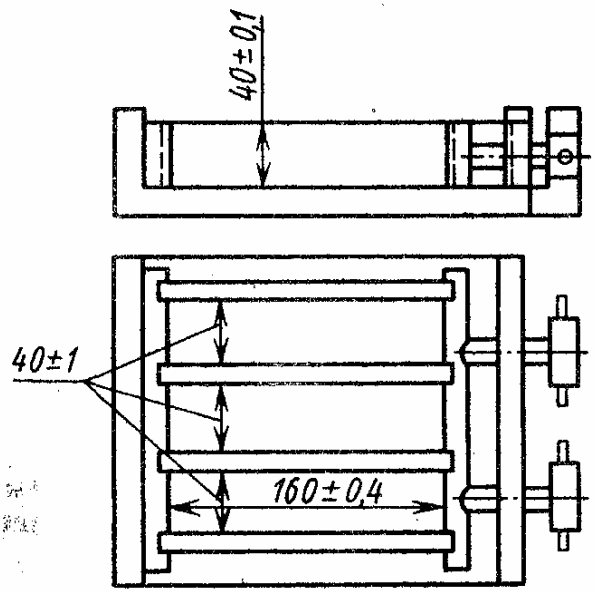
III. Определение марки гипса по прочности

Сущность испытания заключается в определении пределов прочности стандартного образца-балочки размером 40 х 40 х 160 мм, которую испытывают на изгиб, а образовавшиеся половинки балочки — на сжатие.

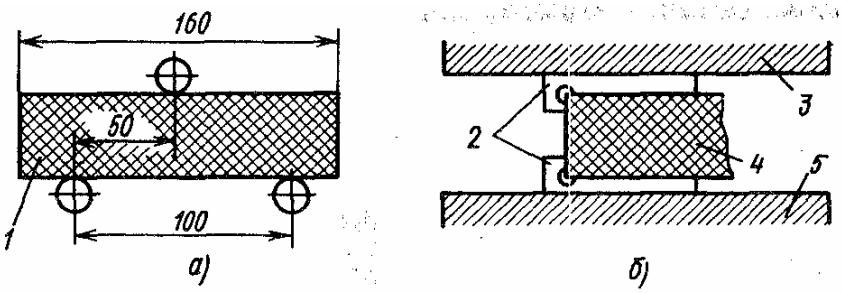
Образцы формуют из теста стандартной консистенции. Для этого берут 1200 г гипса и количество воды, необходимое для получения теста нормальной густоты. Гипс всыпают в воду и интенсивно перемешивают в течение 60 с. Образцы формуют в трехгнездных формах (рис. 8.8), которые предварительно очищают и смазывают машинным маслом. Все три гнезда формы заполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно продвигают над формой. Для удаления воздуха заполненную форму встряхивают 5...6 раз.

После наступления начала схватывания излишки гипсового теста срезают линейкой. Через (15 ± 5) мин после конца схватывания образцы извлекают из формы.

Испытания начинают через 2 ч после начала перемешивания. Образы испытывают на изгиб на машине МИИ—100 или на другой испытательной машине, развивающей усилие до 5 кН. Балочки устанавливают на опоры таким образом, чтобы те грани, которые были горизонтальными при изготовлении, при испытании находились бы в вертикальном положении (рис. 8.9, *а*). Испытания и расчет предела прочности при изгибе проводят в соответствии с инструкцией, прилагаемой к испытательной машине. Предел прочности при изгибе испытываемого портландцемента вычисляют как среднее арифметическое из двух наибольших результатов испытаний трех образцов.



Р и с . 8.8. Разъемные металлические формы для изготовления образцов-балочек из гипсового теста и цементного раствора



Р и с . 8.9. Схемы испытаний образцов на изгиб (*а*) на сжатие (*б*) при определении марки гипса и цемента:

1 — образец; *2* — металлические накладки; *3, 5* — плиты пресса; *4* — половинка образца

Предел прочности при сжатии определяется испытанием половинок образцов-балочек, получившихся после испытаний на изгиб (шесть штук). Для того чтобы результаты испытаний половинок балочек были сопоставимы, несмотря на разный размер, используют металлические накладки, через которые нагрузка от плит пресса передается на образец (рис. 8.9, *б*). Площадь поверхности накладок, соприкасающейся с образцом, равна 25 см^2. Половинку балочек помещают между двумя накладками *2* таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры накладок плотно прилегали к торцовой грани образца *4*.

Образец с пластинками центрируют на опорной плите *5* пресса. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец при испытании должна составлять (5 ± 1,25) кН/с. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ (МПа) каждого образца вычисляют по формуле

$$R_{сж} = 10F/A,$$

где F — разрушающая нагрузка, кН; A — площадь металлических пластинок, см^2.

Предел прочности при сжатии гипсовых образцов вычисляют по результатам испытаний как среднее арифметическое из четырех результатов (наибольший и наименьший результаты не учитывают).

Марку по прочности гипсового вяжущего устанавливают в соответствии с требованиями стандарта (см. § 8.3) по наименьшему значению предела прочности при сжатии или изгибе.

Лабораторная работа № 7
Определение марки портландцемента

Цель: изучить методику определения марки портландцемента.

Материалы: портландцемент (или какой-либо другой вид цемента на основе портландцементного клинкера) — 0,5 кг; песок кварцевый стандартный с модулем крупности $М_к$ = 2,5...2,7 — 1,5 кг (количества даны в расчете на одну бригаду), вода водопроводная.

Приборы и приспособления: весы торговые, сферическая чаша для приготовления цементного раствора, круглая лопаточка, встряхивающий столик, трехгнездная форма для изготовления образцов-балочек 4 х 4 х 16 см, лабораторная виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором.

Ход работы

Марку цемента определяют по прочности на изгиб и сжатие образцов-балочек, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1 : 3 нормальной консистенции и твердевших во влажных условиях 28 сут при температуре (20 ± 2)° С.

Работа по определению марки цемента складывается из следующих операций: приготовления цементно-песчаного раствора и проверки его консистенции, формования образцов, их влажного твердения и испытания на прочность спустя 28 сут после формования.

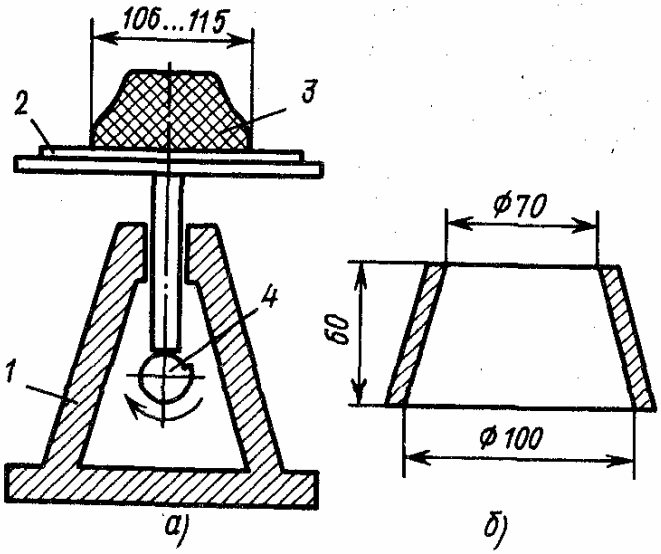
I. Приготовление цементно-песчаного раствора нормальной консистенции. Для изготовления трех образцов-балочек отвешивают 500 г портландцемента и 1500 г стандартного песка (стандартным песком считается чистый кварцевый песок с модулем крупности $M_к = 2{,}5...2{,}7$). Если такого песка нет, то его можно получить промывкой и рассевом имеющегося песка на ситах и подбором фракций в нужном соотношении (см. лабораторную работу № 7).

Цемент и песок высыпают в протертую влажной тканью сферическую чашу и перемешивают 1 мин. Затем в центр сухой смеси заливают 200 г воды — В/Ц = 0,4. Это количество принято ориентировочно; точное же количество устанавливают в процессе работы, так как оно зависит от свойств цемента и песка.

Воде дают впитаться в сухую смесь и затем тщательно перемешивают с перетиранием всей массы в течение 5 мин. Приготавливаемая растворная смесь не является кладочным или штукатурным раствором, а представляет собой как бы модель бетона, поэтому она значительно менее пластична, чем традиционная растворная смесь, которой пользуются каменщики и штукатуры.

По окончании перемешивания определяют консистенцию растворной смеси. Для этого раствор загружают в коническую форму (рис. 8.10, *б*) с воронкой, установленную на встряхивающем столике (рис. 8.10, *а*) в два приема (слоями равной толщины). Каждый слой уплотняют штыковкой диаметром 20 мм и массой около 400 г. Нижний слой штыкуют 15 раз, верхний — 10. Штыкование ведут от периферии к центру, придерживая форму рукой. Излишек раствора срезают ножом и металлическую форму-конус снимают вертикально вверх.

Полученный конус цементного раствора встряхивают на столике 30 раз, вращая рукоятку с частотой 1 $с^{-1}$. Затем металлической линейкой



Р и с . 8.10. Схема встряхивающего столика (*а*) и коническая форма (*б*):

1 — станина; *2* — столик; *3* — испытуемый раствор; *4* — эксцентрик

(или штангенциркулем) измеряют диаметр конуса раствора по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение.

Консистенция раствора считается нормальной, если среднее значение расплава конуса составляет 106...115 мм. Если расплыв конуса менее 106 мм или конус при встряхивании рассыпается, приготовляют новую порцию раствора с увеличенным количеством воды. Если расплыв более 115 мм, то новую порцию раствора готовят с меньшим содержанием воды. Погрешность в определении требуемого соотношения В/Ц должна быть не более 0,02, т. е. в пересчете на воду 10 г.

II. И з г о т о в л е н и е о б р а з ц о в . Приготовленный раствор нормальной консистенции используют для изготовления образцов. Для этого применяют разъемные металлические формы (см. рис. 8.8). Перед заполнением формы растворной смесью ее внутренние поверхности слегка протирают машинным маслом. Для облегчения укладки растворной смеси можно использовать металлическую насадку, устанавливаемую на форму. Подготовленную форму закрепляют в центре лабораторной виброплощадки.

Сначала форму заполняют на 1...2 см растворной смесью и включают виброплощадку. Затем в течение 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. Через 3 мин от начала вибрации виброплощадку отключают и снимают с нее форму. Возможно заполнение формы полностью заранее с послойным штыкованием и последующей вибрацией также 3 мин.

Излишек раствора срезают смоченным водой ножом, поверхность образцов заглаживают и затем каждый образец маркируют.

Образец в формах хранят в течение первых суток (24 ± 2) ч на столике в ванне с гидравлическим затвором или другом приспособлении, обеспечивающем влажность воздуха не менее 90 %, (например, в полиэтиленовом пакете вместе с влажной тканью).

Через сутки образцы осторожно вынимают из форм и помещают на 27 сут в воду при (20 ± 2)° С. Спустя 28 сут (1 + 27) твердения образцы испытывают на изгиб и сжатие по методике, описанной в работе «Определение марки гипса» (см. лабораторная работа № 6, часть III).

Для определения *марки цемента* вычисляют среднее арифметическое из двух наибольших результатов, полученных при испытании на изгиб, и среднее арифметическое из четырех результатов (наибольший и наименьший отбрасывают), полученных при испытании на сжатие. Вычесленные таким образом значения $R_и$ и $R_{сж}$ сравнивают с требованиями ГОСТ для определения марки цемента (оба значения должны быть не ниже требуемых (табл. 8.3).

Таблица 8.3. **Марки портландцемента (ПЦ) и шлакопортландцемента (ШПЦ)**

Вид цемента	Марка	Предел прочности, МПа (кгс/см^2), не менее	
		при изгибе	при сжатии
ШПЦ	300	4,4 (45)	29,4 (300)
ПЦ; ШПЦ	400	5,4 (55)	39,2 (400)
ПЦ; ШПЦ	500	5,9 (60)	49,0 (500)
ПЦ	550	6,1 (62)	53,9 (550)
ПЦ	600	6,4 (65)	58,8 (600)

Контрольные вопросы

1. Что вы знаете о воздушных и гидравлических вяжущих материалах? 2. Расскажите о прочности и скорости твердения вяжущих. 3. Какие стадии в процессе твердения вы знаете? 4. По каким показателям маркируют гипсовые вяжущие? 5. Как изменяется объем гипсового теста при твердении? 6. Расскажите о недожоге и пережоге извести. 7. Что вы знаете об извести-кипелке? 8. Как происходит твердение извести? 9. В чем различие гидравлической и воздушной извести? 10. Расскажите о производстве портландцемента. 11. Как определяют марку портландцемента? 12. Расскажите о разновидностях портландцемента. 13. Какие причины вызывают коррозию портландцемента? 14. Что представляет собой растворимое стекло? 15. Что такое кислотоупорный цемент (состав и свойства)?

ГЛАВА 9. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Органические вяжущие вещества — это высокомолекулярные природные или синтетические вещества, способные:

- приобретать жидко-вязкую консистенцию при нагревании или при действии растворителей или же имеющие жидко-вязкую консистенцию в исходном состоянии;
- с течением времени самопроизвольно или под действием определенных факторов (температуры, веществ-отвердителей и др.) переходить в твердое состояние.

При этом как в жидком, так и в твердом состоянии эти вещества имеют хорошую адгезию к другим материалам.

В зависимости от происхождения, химического и вещественного состава органические вяжущие делят на следующие группы:

- черные вяжущие (битумы и дегти);
- природные смолы, клеи и полимеры;
- синтетические полимерные продукты.

Природные высокомолекулярные вещества применяют как в их естественном состоянии, так и после химической модификации, придающей им необходимые свойства. Например, целлюлозу применяют в виде эфиров (нитроцеллюлоза, метилцеллюлоза и т. п.). Битумы также часто подвергают модификации.

Самая обширная группа органических вяжущих — *синтетические полимеры*. Их получают из низкомолекулярных продуктов (*мономеров*) полимеризацией и поликонденсацией. Специфическая группа полимеров — каучуки и каучукоподобные полимеры, обладающие высокоэластичными свойствами — способностью к большим упругим деформациям; их также называют *эластомерами*.

В зависимости от отношения к нагреванию и растворителям органические вяжущие делят на термопластичные и термореактивные.

Термопластичными называют вещества, которые при нагревании переходят из твердого состояния в жидкое (плавятся), а при охлаждении вновь затвердевают; причем такие переходы могут повторяться много раз. Термопластичность объясняется линейным строением молекул и невысоким межмолекулярным взаимодействием. По этой же причине большинство термопластов способно растворяться в соответствующих растворителях. К термопластам относятся битумы, смолы, многие широко распространенные полимеры — полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и др.

Термореактивными называют вещества, у которых переход из жидкого состояния в твердое происходит необратимо. При этом у них меняется молекулярная структура: линейные молекулы соединяются в пространственные сетки — гигантские макромолекулы. Такое необратимое твердение (этот процесс называют также «отверждение», «сшивкал, «вулканизация») происходит не только под действием нагрева (отсюда пошел термин «термореактивные вещества»), но и под действием веществ отвердителей, УФ и γ-излучения и других факторов. Отвержденные термореактивные полимеры, как правило, более теплостойки, чем термопластичные.

Термореактивные вяжущие поступают на строительство часто в виде вязких жидкостей, называемых не совсем правильно «смолами». В химической технологии такие продукты частичной полимеризации (с молекулярной массой менее 1000), имеющие линейное строение молекул и способные к дальнейшему укрупнению, называют *олигомерами*.

К термореактивным органическим вяжущим относятся, например, эпоксидные и полиэфирные олигомеры (смолы), олифы, каучуки в смеси с вулканизаторами и др.

Органические вяжущие существенно отличаются от неорганических (минеральных). Адгезионные свойства многих органических вяжущих значительно выше, чем минеральных. Прочность на сжатие у них сопоставима с прочностью минеральных, а при изгибе и растяжении во много раз выше. Следует помнить, что у термопластичных вяжущих прочность быстро падает при повышении температуры из-за размягчения полимера. Органические вяжущие характеризуются низкой термостойкостью. В зависимости от состава и строения температура их размягчения составляет 80...250° С. В большинстве своем это горючие вещества.

Большинство органических вяжущих водо- и химически стойки (они хорошо противостоят действию кислот, щелочей и солевых растворов). Стоимость органических вяжущих значительно выше, чем минеральных, а объемы их производства — намного ниже.

Из сказанного видно, что отличия органических вяжущих от минеральных носят как положительный, так и отрицательный характер. Поэтому каждый вид вяжущих имеет свои рациональные области применения, выбираемые с учетом всех его свойств. В последние годы широко используется модификация минеральных вяжущих органическими с целью получения *композиционных материалов* с принципиально новым набором свойств (см. § 2.1).

Органические вяжущие* используются в строительстве для получения клеев, мастик, лакокрасочных материалов (см. гл. 18), полимерных и полимерцементных растворов и бетонов (см. § 12.8). Большая же часть синтетических полимеров используется при производстве пластмасс, в состав которых, как правило, входят наполнители и другие компоненты, снижающие стоимость и придающие пластмассам специальные свойства.

Высокая стоимость полимерных вяжущих выдвигает на первый план при их использовании задачу снижения *полимероемкости,* т. е. получения требуемого результата при минимальном расходе полимера. Поэтому полимерные вяжущие применяют в основном для получения тонких облицовочных изделий (плиток, пленок, погонажных изделий), покрасочных и клеящих составов, защитных химически стойких покрытий, а также для изготовления газонаполненных пластмасс — теплоизоляционных материалов с уникально низкой плотностью (10...50 кг/м^3).

---

* В технологии лакокрасочных материалов и пластмасс вместо термина «вяжущие» используют термин «связующие».

9.2. БИТУМЫ И ДЕГТИ

Первыми органическими вяжущими, которые начали применять в строительстве, были битумы и дегти. Имеются свидетельства применения битумных материалов в I тысячелетии до н. э. в Месопотамии при строительстве «висячих» садов Семирамиды, тоннеля под Евфратом и асфальтированных мостовых. Известно применение битумных материалов в Древнем Риме. Средневековые строители, в том числе и наши предки, применяли смолы и дегти для защиты древесины от гниения.

Хотя битумы и дегти имеют различное происхождение и несколько отличаются составом, оба обладают общими характерными свойствами. При нагревании они обратимо разжижаются и в таком состоянии хорошо смачивают другие материалы, а при охлаждении отвердевают, прочно склеивая смоченные ими материалы. Кроме того, битумы и дегти водостойки и водонепроницаемы, и если ими пропитать или покрыть другие материалы, то они преобретают гидрофобные (водоотталкивающие) свойства. Битумы и дегти хорошо растворяются в органических растворителях. Перечисленные свойства предопределили использование битумов и дегтей для получения клеящих и гидроизоляционных материалов, а также для получения специальных дорожных бетонов — асфальтобетонов.

Битумы (от лат. *bitumen* — смола) — при комнатной температуре вязкопластичные или твердые вещества черного или темно-коричневого цвета, представляющие собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных. В зависимости от происхождения битумы могут быть природные и искусственные (техногенные); источником образования или получения битумов и в том, и в другом случае является нефть.

Природные битумы встречаются в виде *асфальтовых пород*, например, песка, пористого известняка, пропитанных битумом (содержание битума от 5 до 20 %). Такие породы встречаются в Венесуэле, Канаде, на острове Тринидад и др. Есть месторождения практически чистых битумов, например, битумные озера на Сахалине. Природные битумы образовались при разливе нефти в результате испарения из нее легких фракций и частичного окисления кислородом воздуха. Мировые запасы природного битума более 500 млрд. т.

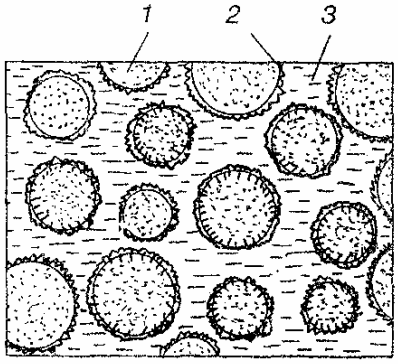
Искусственные битумы образуются в виде остатка при получении из нефти топлива и масел — *нефтяные битумы.*

Битумы — сложные коллоидно-дисперсные системы, состоящие из нескольких групп веществ:

- твердые высокомолекулярные вещества (асфальтены, карбены, карбоиды), придающие битуму твердость;
- смолистые вещества, придающие битуму клейкость;
- нефтяные масла, придающие битуму вязкость и термопластичность.

В этой дисперсной системе масла являются дисперсионной средой, а асфальтены — дисперсной фазой; смолы играют роль стабилизатора дисперсии (рис. 9.1). При нагреве масла разжижаются и битум становится жидко-вязким, а при охлаждении густеют и затвердевают и битум становится твердым и даже хрупким.

Битумы делят на три типа по области их применения: *дорожные* (для асфальтобетонов), *кровельные* (для мягких кровельных материалов) и *строительные* (для изготовления мастик, гидроизоляции и др.). Каждый тип битумов в зависимости от состава может иметь различные марки (табл. 9.1).



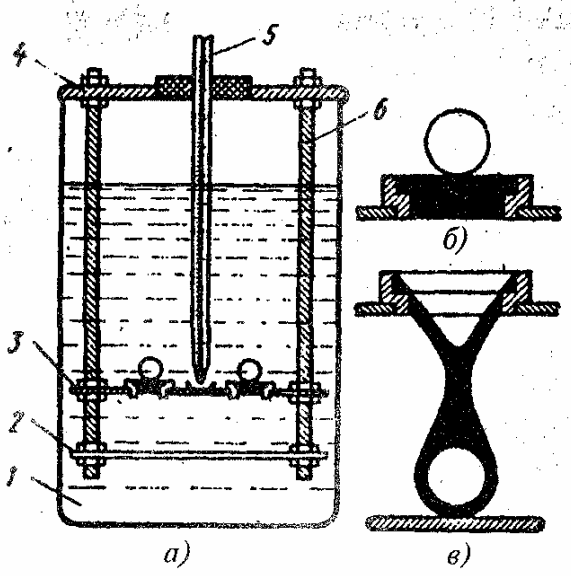
Р и с . 9.1. Схема коллоидно-дисперсного строения битума

Таблица 9.1. **Марки нефтяных битумов**

Марка битума	Температура размягчения, ° С, не ниже	Растяжимость при 25° С, см, не менее	Глубина проникания иглы при 25° С, 10^{-1} мм
	Строительные битумы		
БН-50/50	50	40	41...60
БН-70/30	70	3	21...40
БН-90/10	90	1	5...20
	Кровельные битумы		
БНК-45/180	40...50	Не нормируется	140...220
БНК-45/190	40...50	То же	160...220
БНК-90/40	85...95	»	35...45
БНК-90/30	85...95	»	25...35
	Дорожные битумы		
БНД-200/300	35	Не нормируется	201...300
БНД-130/200	39	65	131...200
БНД-90/130	43	60	91...130
БНД-60/90	47	50	61...90
БНД-40/60	51	40	40...60

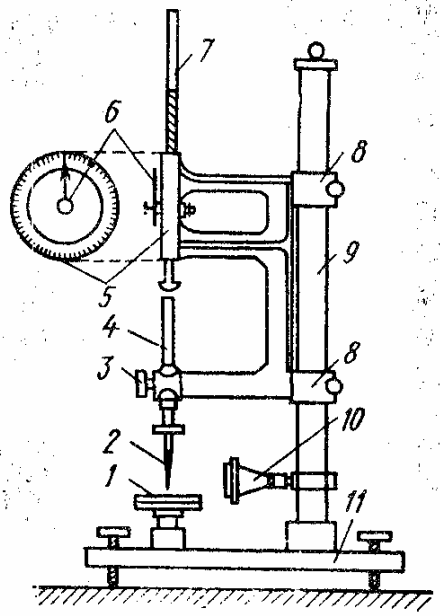
Марки битумов определяют по комплексу показателей, основные из которых: температура размягчения, твердость и растяжимость.

Температуру размягчения определяют на стандартном приборе «Кольцо и шар» (рис. 9.2). Температурой размягчения считается температура, при которой шарик проваливается сквозь битум, заплавленный в кольцо. (Обратите внимание: у битума, как у сложной коллоидной системы, нет определенной температуры плавления: он размягчается постепенно.)



Р и с . 9.2. Определение температуры размягчения битума:

а — схема прибора «Кольцо и шар»; *б* — положение шарика в начале испытания; *в* — положение шарика в конце испытания; *1* — стакан; *2...4* — диски; *5* — термометр; *6* — крепежные стержни

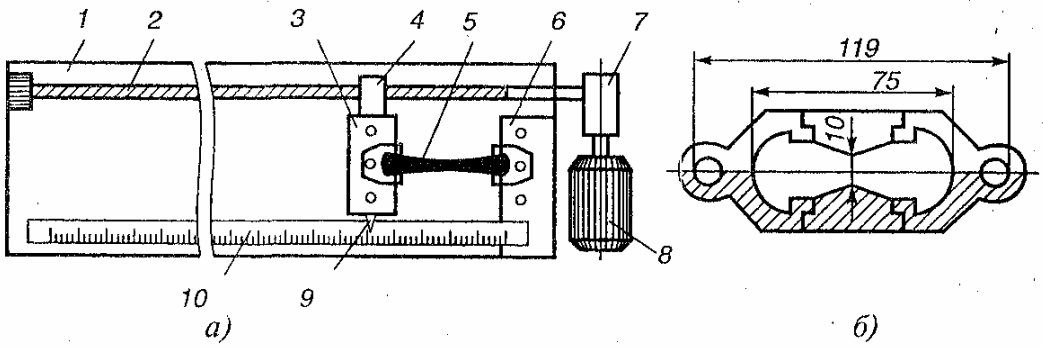


Р и с . 9.3. Пенетрометр:

1 — столик; *2* — игла; *3* — зажимное устройство; *4* — стержень иглодержателя; *5* — циферблат; *6* — стрелка; *7* — штанга; *8* — кронштейн; *9* — штатив; *10* — зеркало; *11* — подставка

Твердость (вязкость) битума определяют на приборе пенетрометр (рис. 9.3) по погружению иглы в образец битума (единица шкалы прибора 0,1 мм) при температуре 25° С.

Растяжимость битума определяют по абсолютному удлинению (в см) стандартного образца битума, растягиваемого в воде при 25° С со скоростью 5 см/мин (рис. 9.4).



Р и с . 9.4. Определение растяжимости битума:

а — дуктилометр; *б* — разборная форма; *1* — ящик из-оцинкованной стали; *2* — винт; *3* — салазки; *4* — гайка; *5* — образец битума; *6* — неподвижная опора; *7* — редуктор; *8* — электродвигатель; *9* — стрелка; *10* — линейка (по ней фиксируется удлинение в момент разрыва)

Транспортируют битумы в фанерных барабанах или бумажных мешках. Хранят в закрытых складах или под навесом таким образом, чтобы на битум не попадали прямые солнечные лучи. Битум — горючее вещество, поэтому при работе с ним, особенно при разогреве битума, следует соблюдать требования пожарной безопасности.

Деготь — продукт сухой (без доступа воздуха) перегонки твердых видов топлива (древесины, угля, горючих сланцев, торфа и т. п.), представляющих собой вязкую темно-бурую жидкость с характерным «дегтярным» запахом.

Деготь, вероятно, один из старейших химических продуктов, получаемых человеком. С древнейших времен на Руси было развито «дегтекурение» — получение дегтя из бересты (тонкой березовой коры). Бересту нагревали без доступа воздуха до 200...300° С. При этом образовывалась темная вязкая жидкость с сильным запахом. Позже стали вырабатывать деготь из древесины березы и других лиственных пород.

Деготь использовался для пропитки деревянных сооружений, лодок, рыбацких сетей, смазки сапог и т. п. Такая обработка защищала от гниения, благодаря антисептирующему и гидрофобизирующему действию дегтя. Антисептирующие свойства дегтя используются и в медицине (мазь Вишневского, дегтярное мыло и т. п.). Копчение продуктов (рыбы, мяса) также основано на обработке их продуктами сухой перегонки древесины.

В больших масштабах деготь стал производиться с конца XIX в., когда стала развиваться металлургия. Деготь является побочным продуктом при коксовании углей (высокотемпературной — до 1000° С обработки каменных углей с целью получения кокса).

Дегти, как и битумы,— сложная дисперсная система, состоящая из большого числа (несколько тысяч) различных углеводородов (жидких и твердых) и их неметаллических производных. Но в отличие от битума, где преобладают парафиновые углеводороды, в дегте много ароматических углеводородов и их производных (бензола, толуола, нафталина, фенола и др.). Именно они придают дегтю антисептические свойства.

Сырой деготь практически не применяется. Его разгоняют, получая растворители, различные масла (антраценовое, креозотовое и др.) и твердообразное вещество — пек.

Пек (от голл. *pek* — смола) — аморфный хрупкий при обычных температурах остаток от перегонки сырого дегтя при температуре более 360° С. Он состоит из смолистых веществ, «свободного углерода», антрацена, масел и других слаболетучих соединений. Пеки применяют для получения *составного дегтя,* сплавлением его с маслами, и *пекового лака,* растворением его в ароматических растворителях. Составные дегти используют для гидроизоляции и антисептирующих покрытий древесины.

Дегти менее атмосферостойки, чем битумы. Под действием солнечного излучения и кислорода они окисляются, превращаясь в твердые хрупкие продукты; это объясняется наличием в дегте, в отличие от битума, активных реакционноспособных соединений. Дегти и продукты на их основе — *канцерогены,* поэтому их использование в местах, где возможен их длительный контакт с человеком, запрещено.

При работе с дегтями и пеком следует помнить, что они и их пары могут вызвать воспаление или аллергические реакции при контакте с кожей и в особенности — слизистыми оболочками.

Общий недостаток битумов и дегтей — узкий интервал температур, при которых материалы на их основе обладают прочностью и эластичностью. При понижении температуры до 0...—10° С они становятся хрупкими, а при повышении до 40...60° С начинают течь. Для расширения интервала эксплуатационных температур битумы и дегти модифицируют, добавляя термопластичные полимеры и каучуки.

9.3. ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Термопластичными называют полимеры, способные многократно размягчаться при нагревании и отвердевать при охлаждении. Эти и многие другие свойства термопластичных полимеров объясняются линейным строением их макромолекул. При нагревании взаимодействие между молекулами ослабевает и они могут сдвигаться одна относительно другой (как это происходит с частицами влажной глины), полимер размягчается, превращаясь при дальнейшем нагревании в вязкую жидкость. На этом свойстве базируются различные способы формования изделий из термопластов, а также соединение их сваркой.

Однако на практике не все термопласты так просто можно перевести в вязко-текучее состояние, так как температура начала термического разложения некоторых полимеров ниже температуры их текучести (поливинилхлорида, фторпластов и др.). В таком случае используют различные технологические приемы, снижающие температуру текучести (например, вводя пластификаторы) или задерживающие термодеструкцию (введением стабилизаторов, переработкой в среде инертного газа).

Линейным строением молекул объясняется также способность термопластов не только набухать, но и хорошо растворяться в правильно подобранных растворителях. Тип растворителя зависит от химической природы полимера. Растворы полимеров, даже очень небольшой концентрации (2...5 %), отличаются довольно высокой вязкостью, причиной этого являются большие размеры полимерных молекул по сравнению с молекулами обычных низкомолекулярных веществ. После испарения растворителя полимер вновь переходит в твердое состояние.

На этом основано использование растворов термопластов в качестве лаков, красок, клеев и вяжущего компонента в мастиках и полимер-растворах.

К недостаткам термопластов относятся низкие теплостойкость (обычно не выше 80...120° С), низкая поверхностная твердость, хрупкость при пониженных температурах и текучесть при высоких, склонность к старению под действием солнечных лучей и кислорода воздуха.

Наибольшее применение в строительстве имеют следующие термопластичные полимеры: полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, перхлорвинил, поливинилацетат и поливиниловый спирт, полиизобутилен, полиакрилаты.

Кроме полимеров, получаемых из одного мономера, синтезируют *сополимеры* — продукты, получаемые совместной полимеризацией (сополимеризацией) двух и более мономеров. В таком случае образуются материалы с новым комплексом свойств. Так, винилацетат полимеризуют совместно с винилхлоридом для получения сополимера более прочного и водостойкого, чем поливинилацетат, но сохраняющего его высокие адгезионные свойства. Широкий спектр сополимеров выпускают на базе акриловых мономеров.

Полиэтилен — продукт полимеризации этилена. Это один из наиболее распространенных полимеров — роговидный, жирный на ощупь, слегка просвечивающийся материал, легко режется ножом; при поджигании горит и одновременно плавится с характерным запахом горящего парафина. Плотность полиэтилена 920...960 кг/м^3. В зависимости от молекулярной массы и способа полимеризации полиэтилен плавится при 90...130° С. При комнатной температуре полиэтилен практически не растворяется ни в одном из растворителей, но набухает в бензоле и хлорированных углеводородах; при температуре выше 70...80° С он растворяется в указанных растворителях.

Полиэтилен обладает высокой химической стойкостью, биологически инертен. Прочность при растяжении у него довольно высокая — 20...45 МПа; но при длительном действии нагрузки, составляющей более 50...60 % от предельной, у полиэтилена начинает проявляться свойство текучести. Полиэтилен сохраняет эластичность до — 70° С. Он легко перерабатывается в изделия и хорошо сваривается. Его недостатки — низкие теплостойкость и твердость, горючесть и быстрое старение под действием солнечного света. Защищают полиэтилен от старения, вводя в него наполнители (сажу, алюминиевую пудру) и стабилизаторы.

Из полиэтилена делают пленки (прозрачные и непрозрачные), трубы, электроизоляцию; вспененный полиэтилен в виде листов и труб используется для целей тепло- и звукоизоляции и в качестве герметизирующих прокладок (см. § 16.4).

Полипропилен — полимер, по составу близкий к полиэтилену. При синтезе полипропилена образуется несколько различных по строению полимеров: изотактический, атактический и синдиотактический.

В основном применяется *изотактический полипропилен*. Он отличается от полиэтилена большей твердостью, прочностью и теплостойкостью (температура размягчения около 170° С), но переход в хрупкое состояние происходит уже при минус 10...20° С. Плотность полипропилена 920...930 кг/м^3; прочность при растяжении 25...30 МПа. Применяют полипропилен практически для тех же целей, что и полиэтилен, но изделия из него более жесткие и формоустойчивые.

Атактический полипропилен (АПП) получается при синтезе полипропилена как неизбежная примесь, но легко отделяется от изотактического полипропилена экстракцией (растворением в углеводородных растворителях). АПП — мягкий эластичный продукт плотностью 840...845 кг/м^3 с температурой размягчения 30...80° С. Применяют АПП как модификатор битумных композиций в кровельных материалах (см. § 18.2).

Полиизобутилен — каучукоподобный термопластичный полимер, подробно описанный в § 9.5.

Полистирол (поливинилбензол) — прозрачный жесткий полимер плотностью 1050...1080 кг/м^3; при комнатной температуре жесткий и хрупкий, а при нагревании до 800...1000° С размягчающийся. Прочность при растяжении (при 20° С) 35...50 МПа. Полистирол хорошо растворяется в ароматических углеводородах (влияние бензольного кольца, входящего в состав молекул полистирола), сложных эфирных и хлорированных углеводородах. Полистирол горюч и хрупок. Для снижения хрупкости полистирол синтезируют с другими мономерами или совмещают с каучуками (ударопрочный полистирол).

В строительстве полистирол применяют для изготовления теплоизоляционного материала — пенополистирола (плотностью 10...50 кг/м^3), облицовочных плиток и мелкой фурнитуры. Раствор полистирола в органических растворителях — хороший клей.

Поливинилацетат — прозрачный бесцветный жесткий при комнатной температуре полимер плотностью 1190 кг/м^3. Поливинилацетат растворим в кетонах (ацетоне), сложных эфирах, хлорированных и ароматических углеводородах, набухает в воде; в алифатических и терпеновых углеводородах не растворяется. Поливинилацетат не стоек к действию кислот и щелочей; при нагреве выше 130...150° С он разлагается с выделением уксусной кислоты. Положительное свойство поливинилацетата — высокая адгезия к каменным материалам, стеклу, древесине.

В строительстве поливинилацетат применяют в виде поливинилацетатной дисперсии (ПВАД) — сметанообразной массы белого или светло-кремового цвета, хорошо смешивающейся с водой. Поливинилацетатную дисперсию получают полимеризацией жидкого винилаце-

тата, находящегося в виде мельчайших частиц (менее 5 мкм) в воде. Для стабилизации эмульсии винилацетата используют поливиниловый спирт. При полимеризации капельки винилацетата превращаются в твердые частицы поливиналацетата, таким образом получается поливинилацетатная дисперсия, стабилизатором которой служит тот же поливиниловый спирт. Содержание полимера в дисперсии около 50 %.

Поливинилацетатная дисперсия выпускается средней (С), низкой (Н) и высокой (В) вязкости в пластифицированном и непластифицированном виде. Пластификатором служит дибутилфталат, содержание которого указывается в марке индексом. В грубодисперсной ПВАД, обычно применяемой в строительстве, содержание пластификатора следующее (% от массы полимера): 5...10 (индекс 4), 10...15 (индекс 7) и 30...35 (индекс 20).

По внешнему виду пластифицированная и непластифицированная дисперсии почти не отличаются одна от другой. Поэтому, чтобы определить вид дисперсии, небольшое ее количество наносят на чистое стекло и выдерживают при комнатной температуре до высыхания. У пластифицированной дисперсии образуется прозрачная эластичная пленка, у непластифицированной — пленка ломкая, снимается со стекла с трудом, крошится.

Необходимо помнить, что пластифицированная дисперсия неморозостойка и при замораживании необратимо разрушается с осаждением полимера. Поэтому в зимнее время пластификатор поставляют в отдельной упаковке. Для пластификации пластификатор перемешивают с дисперсией и выдерживают 3...4 ч для его проникновения в частицы полимера. Непластифицированная дисперсия выдерживает не менее четырех циклов замораживания — оттаивания при температуре до — 40° С. Срок хранения ПВАД при температуре 5...20° С — 6 мес.

Поливинилацетат широко применяют в строительстве. На его основе делают клеи, водно-дисперсионные краски, моющиеся обои. ПВАД применяют для устройства наливных мастичных полов и для модификации цементных растворов (полимерцементные растворы и бетоны — см. § 12.8). Дисперсией, разбавленной до 5...10 %-ной концентрации, грунтуют бетонные поверхности перед приклеиванием облицовки на полимерных мастиках и перед нанесением полимерцементных растворов.

Недостаток материалов на основе дисперсий поливинилацетата — чувствительность к воде: материалы набухают, и на них могут появиться высолы. Это объясняется наличием в дисперсиях заметного количества водорастворимого стабилизатора и способностью самого полимера набухать в воде. Так как дисперсия имеет слабокислую реакцию (pH 4,5...6), при нанесении на металлические изделия возможна коррозия металла.

Поливинилхлорид — самый распространенный в строительстве полимер — представляет собой твердый материл без запаха и вкуса,

бесцветный или желтоватый (при переработке в результате термодеструкции может приобрести светло-коричневый цвет). Плотность поливинилхлорида 1400 кг/м^3; предел прочности при растяжении 40...60 МПа. Температура текучести поливинилхлорида 180...200° С, но уже при нагревании выше 160° С он начинает разлагаться с выделением HCl. Это обстоятельство затрудняет переработку поливинилхлорида в изделия.

Поливинилхлорид хорошо совмещается с пластификаторами. Это облегчает переработку и позволяет получать пластмассы с самыми разнообразными свойствами: жесткие листы и трубы, эластичные погонажные изделия, мягкие пленки. Поливинилхлорид хорошо сваривается; склеивается он только некоторыми видами клеев, например перхлорвиниловым. Положительное качество поливинилхлорида — высокие химическая стойкость, диэлектрические показатели и низкая горючесть.

В строительстве поливинилхлорид применяют для изготовления материалов для полов (различные виды линолеума, плитки), труб, погонажных изделий (поручни, плинтусы и т. п.) и отделочных декоративных пленок и пенопластов.

Перхлорвинил — продукт хлорирования поливинлхлорида, содержащий 60...70 % (по массе) хлора, вместо 56 % в поливинилхлориде. Плотность перхлорвинила около 1500 кг/м^3. Он характеризуется очень высокой химической стойкостью (к кислотам, щелочам, окислителям); трудносгораем. В отличие от поливинилхлорида перхлорвинил легко растворяется в хлорированных углеводородах, ацетоне, этилацетате, толуоле, ксилоле и других растворителях. Положительное качество перхлорвинила — высокая адгезия к металлу, бетону, древесине, коже и поливинилхлориду. Сочетание высокой адгезии и хорошей растворимости позволяет использовать перхлорвинил в клеях и окрасочных составах. Перхлорвиниловые краски благодаря высокой стойкости этого полимера используются для отделки фасадов зданий (см. § 18.2 и 18.5).

После работы с составами, содержащими перхлорвиниловый полимер, необходимо тщательно вымыть руки горячей водой с мылом и смазать их жирным кремом (вазелином, ланолином и т. п.). При сильном загрязнении рук их предварительно вытирают ветошью, смоченной в уайт-спирите (применять для этой цели бензол, толуол, этилированный бензин запрещается).

Кумароноинденовые полимеры — полимеры, получаемые полимеризацией смеси кумарона и индена, содержащихся в каменноугольной смоле и продуктах пиролиза нефти. Кумароноинденовый полимер имеет небольшую молекулярную массу (менее 3000) и в зависимости от ее значения может быть каучукоподобным или твердым хрупким материалом. Снизить хрупкость кумароноинденовых полимеров можно совмещая их с каучуками, фенолформальдегидными смолами и други-

ми полимерами. Эти полимеры хорошо растворяются в бензоле, скипидаре, ацетоне, растительных и минеральных маслах. Кумароноинденовые полимеры в расплавленном или растворенном виде хорошо смачивают другие материалы, а после затвердевания сохраняют адгезию к материалу, на который были нанесены. Из них изготовляют плитки для полов, лакокрасочные материалы и приклеивающие мастики.

9.4. ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Молекулы термореактивных полимеров до их отверждения имеют линейное строение, такое же, как молекулы термопластичных полимеров, но размер молекул реактопластов существенно меньше, чем у термопластов (как уже говорилось, такие продукты называют олигомерами).

В отличие от термопластов, у которых молекулы химически инертны и не способны соединяться друг с другом, молекулы термореактивных олигомеров химически активны. Они либо содержат двойные (ненасыщенные) связи, либо химически активные группы. Поэтому при определенных условиях (при нагревании, облучении или добавлении веществ отвердителей) молекулы термореактивных олигомеров соединяются друг с другом, образуя сплошную пространственную сетку, как бы одну гигантскую макромолекулу.

После отверждения свойства полимеров существенно изменяются: они перестают размягчаться при нагревании, не растворяются, а только набухают в растворителях, становятся более прочными, твердыми и термостойкими.

К термореактивным полимерам, используемым в строительстве, относятся фенолоальдегидные, карбамидные, полиэфирные, эпоксидные и полиуретановые.

Фенолоальдегидные полимеры — первые синтетические полимеры, выпуск которых начался в начале XX в.

Фенолформальдегидные полимеры — наиболее распространенный полимер этого класса. Их получают поликонденсацией фенола и формальдегида. Характерная особенность этих полимеров — коричневый цвет. В зависимости от соотношения сырьевых компонентов можно синтезировать новолачные и резольные олигомерные смолы.

Новолачные смолы отверждаются только при добавлении веществ-отвердителей (например, уротропина), а без них ведут себя как термопластичные полимеры (при нагревании плавятся и затвердевают при охлаждении).

Резольные смолы способны к отверждению при нагревании без добавления отвердителей. Они сначала плавятся, потом в расплавленном состоянии начинают густеть и постепенно необратимо переходить в твердое состояние.

До отверждения фенолформальдегидные смолы хорошо растворяются в спиртах, ацетоне и других растворителях. Фенолформальдегидные полимеры имеют хорошую адгезию к тканям, древесине и другим материалам и хорошо совмещаются с наполнителями. Отвержденные полимеры обладают высокой химической стойкостью; они прочны, но хрупки. Для повышения эластичности и улучшения клеящих свойств их модифицируют другими полимерами. Например, совмещая фенолформальдегидную смолу резольного типа с поливинилбутиралем получают водостойкие и прочные клеи типа БФ (БФ-2, БФ-3, БФ-6). Такие клеи могут склеивать материалы при обычной температуре, но при горячем отверждении имеют большую прочность.

Резорцинформальдегидные смолы аналогичны по свойствам фенолформальдегидным. Так как резорцин значительно активнее фенола, то отверждение резорцинформальдегидных смол может происходить без нагревания. Поэтому резорциновые смолы используют для получения замазок, мастик и клеев холодного отверждения. Твердость, тепло- и химическая стойкость резорцинформальдегидных полимеров выше, чем фенолформальдегидных.

Фенолоальдегидные полимеры в неотвержденном состоянии токсичны, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать правила техники безопасности.

Карбамидные полимеры — продукты поликонденсации мочевины и ее производных с формальдегидом; к ним относятся мочевиноформальдегидные и меламиноформальдегидные полимеры. По своим свойствам карбамидные полимеры имеют много общего с фенолформальдегидными. Особенностью карбамидных полимеров является их бесцветность, светостойкость, отсутствие запаха и меньшая токсичность.

Мочевиноформальдегидные полимеры — один из самых дешевых полимеров, что объясняется доступностью и простотой синтеза. В строительстве мочевиноформальдегидные полимеры широко применяют в качестве полимерного связующего. Для этих целей используют главным образом водные растворы мочевиноформальдегидных смол. Отверждение смол производится с помощью кислотных отвердителей при обычной температуре или при нагревании.

Недостаток мочевиноформальдегидных полимеров — большая усадка при отверждении и недостаточная водостойкость отвержденного полимера. Для получения более водостойких материалов мочевиноформальдегидные полимеры модифицируют высшими спиртами, получая этерифицированные полимеры, растворимые в спиртах.

Большинство мочевиноформальдегидных полимеров используют для склеивания древесины и изготовления древесностружечных плит.

Меламиноформальдегидные полимеры более дорогие, так как для их синтеза применяют более дорогое сырье —

меламин. В отвержденном состоянии они имеют лучшие, чем мочевиноформальдегидные полимеры, свойства. Они характеризуются *высокой твердостью и водостойкостью.* Часто применяют смешанные мочевино- и меламиноформальдегидные полимеры.

Из меламиноформальдегидных полимеров получают клеи для склеивания древесины, бумаги. Пример материала, получаемого на таких клеях,— декоративный бумажно-слоистый пластик, имеющий гладкую, твердую поверхность, с довольно высокой термостойкостью, и ламинированные покрытия для полов (ламинат).

Большое количество карбамидных полимеров после соответствующей модификации используют для получения высококачественных лаков и красок, например для окраски автомашин.

Ненасыщенные полиэфиры — олигомерные продукты в виде вязких жидкостей, способные переходить в твердое состояние при введении отвердителей. В строительстве применяют полиэфирные смолы двух типов: полиэфирмалеинаты и полиэфиракрилаты.

Полиэфирмалеинатные смолы представляют собой раствор линейного ненасыщенного, т. е. способного к сшивке, полиэфира в стироле. Если в эту смолу ввести инициирующую пару: перекисный инициатор (например, гипериз) и ускоритель разложения перекиси (например, нафтенат кобальта), то перекись, распадаясь, инициирует химическую активность стирола и он сшивает молекулы полиэфира по ненасыщенным связям в пространственную сетку. При этом жидкая смола превращается в твердый прочный материал. Обычно принимают соотношение смолы, инициатора и ускорителя 100 : 3 : 8. При 20° С процесс отверждения длится 20...60 ч, но смола теряет текучесть (желируется) через 0,5...2 ч.

Полиэфиракрилаты — олигомерные смолы, но не содержащие стирола и отверждаемые перекисными отвердителями в сочетании с ускорителями.

В отвержденном виде полиэфирные полимеры характеризуются высокой прочностью и химической стойкостью. Для снижения хрупкости и получения высокопрочных конструкционных материалов их армируют стекловолокном. Такие материалы называют *стеклопластиками.*

В строительных отделочных работах полиэфирные смолы используют для устройства наливных бесшовных полов, изготовления замазок и шпатлевок. Большое количество полиэфирных смол применяют для лакирования и полирования поверхности древесины.

Эпоксидные полимеры — большая группа олигомерных продуктов (от низковязких жидкостей до твердых смол), получивших свое название по эпоксидным группам, входящим в молекулу олигомеров. По этим эпоксидным группам линейные молекулы олигомерных смол можно сшивать отвердителями, главным образом аминными соединениями (например, полиэтиленполиамином ПЭПА). В связи с высоки-

ми эксплуатационными свойствами эпоксидные полимеры нашли широкое применение в различных областях техники.

Характерные особенности эпоксидных полимеров — высокая адгезия к большинству материалов, универсальная химическая стойкость, водостойкость и водонепроницаемость. Прочность отвержденных эпоксидных смол высокая — до 100...150 МПа.

В строительстве чаще применяют эпоксидные смолы марок ЭД-16, ЭД-20, представляющие собой жидкости желтого цвета различной вязкости. При введении отвердителя уже при нормальной температуре смола через 2...4 ч желируется, а через 8...12 ч необратимо затвердевает. Нагревание ускоряет твердение и увеличивает степень отверждения. Положительное качество эпоксидных смол — малая усадка при твердении, что повышает прочность и трещиностойкость изделий на их основе. Для повышения эластичности в смолы можно вводить пластификаторы.

Эпоксидные полимеры применяют для устройства наливных бесшовных полов высокой износо- и химической стойкости, изготовления конструкционных строительных клеев (для склеивания и ремонта бетонных и металлических конструкций), применяют также в красках и шпатлевочных составах, в герметиках и полимеррастворах специального назначения.

Полиуретановые полимеры в главной цепи макромолекулы содержат уретановую группу (— HN — CO — O —). Промышленное производство полиуретанов с каждым годом увеличивается благодаря большому разнообразию полиуретановых полимеров, обладающих ценными свойствами. Полиуретаны отличаются высокой прочностью и очень высокой стойкостью к истиранию. Поэтому их применяют при изготовлении шин, конвейерных лент, подошв для обуви, покрытий полов общественных и промышленных зданий и спортивных площадок. Большое количество полиуретанов используют для получения пенопластов, эластичных материалов (поролона) и жестких строительных пенопластов. Одна из интереснейших разновидностей пенополиуретанов — пенополиуретаны, наносимые напылением: жидкую полиуретановую смолу разбрызгивают из распылителя на изолируемую поверхность, на которой в течение 10...30 с полиуретан вспенивается и отвердевает. Отвердителем одного из типов полиуретановых смол служит вода, поэтому лаками на этих смолах можно покрывать и влажные поверхности.

При работе с олигомерными полиуретановыми продуктами, в особенности полиуретановыми и фенольными, необходимо строго соблюдать технику безопасности, так как эти продукты раздражающе действуют на кожу и слизистые оболочки, а также являются сильными аллергенами. Рабочие места должны иметь хорошую вентиляцию, а работающие — снабжены средствами индивидуальной защиты (перчатками, очками, респираторами).

9.5. КАУЧУКИ И КАУЧУКОПОДОБНЫЕ ПОЛИМЕРЫ

Каучук и каучукоподобные полимеры в отличие от обыкновенных полимеров при приложении растягивающей силы могут удлиняться в 2...10 раз, а при прекращении действия этой силы восстанавливать свои первоначальные размеры. Это свойство объясняется особенностью строения каучуков: во-первых, их молекулы не вытянуты в линию, а как бы свернуты в спираль; во-вторых, взаимодействие между молекулами существенно ниже, чем внутримолекулярные связи, и, в-третьих, молекулы соединены («сшиты») между собой в небольшом количестве мест.

Большинство каучуков из-за больших размеров молекул довольно плохо растворяются, но сильно набухают в органических растворителях. Улучшить растворимость каучуков можно с помощью термомеханической деструкции их молекул, интенсивно перемешивая или перетирая материал на валках при повышенной температуре.

При сшивке молекул каучука (этот процесс называют вулканизацией) число связей между молекулами увеличивается. У образовавшегося продукта — *резины* — по сравнению с каучуком несколько снижается эластичность и совершенно пропадает способность растворяться. При очень большом количестве сшивок образуется твердый прочный материал — *эбонит*.

Слово «каучук» произошло от индейских слов «кау» — дерево и «учу» — течь, плакать, и первым каучуком, с которым познакомились люди, был натуральный каучук, получаемый из сока южноамериканского дерева — гевеи. Ценные свойства каучука и быстро расширяющиеся области его применения поставили задачу синтеза искусственного каучука. В начале нашего века благодаря усилиям химиков (большой вклад в это внесли русские химики — С.В. Лебедев и его школа) начался выпуск различных видов синтетических каучуков (СК). Современная химическая промышленность выпускает большое количество синтетических каучуков с самыми разнообразными свойствами, в ряде случаев превосходящими по свойствам натуральный.

Каучуки выпускают в виде твердого эластичного продукта, вязкой жидкости (жидкие каучуки), водных дисперсий — каучуковых латексов. Латексы содержат 30...60 % каучука в виде мельчайших частиц средним диаметром 0,1...0,5 мкм, взвешенных в воде. Слиянию частиц препятствует находящаяся на их поверхности тончайшая оболочка из поверхностно-активных веществ — стабилизаторов. С точки зрения строителя латексы имеют преимущества перед другими формами СК: они относительно легко совмещаются с другими материалами (цементом, наполнителями), легко распределяются на поверхности тонкой пленкой, абсолютно не горючи и в них отсутствуют дорогостоящие и токсичные органические растворители.

В строительстве каучук и каучукоподобные полимеры используют главным образом для изготовления эластичных клеев и мастик, для модификации битумных и полимерных материалов, изготовления материалов для полов и герметиков, а также для модификации бетонов (в последнем случае применяют латексы каучуков).

Чаще других в строительстве применяют бутадиен-стирольный, полихлоропреновый, тиоколовый и бутилкаучук; кроме того, используют каучукоподобные полимеры — полиизобутилен и хлорсульфированный полиэтилен.

Бутадиен-стирольные каучуки получают обычно совместной полимеризацией дивинила со стиролом (каучук СКС). Это основной вид синтетических каучуков, на его долю приходится более половины производимых синтетических каучуков. Выпускают большое число марок бутадиен-стирольных каучуков с различным соотношением стирола и бутадиена: от СКС-10 до СКС-65 (цифра показывает процентное содержание по массе стирола в каучуке).

Больше всего выпускают каучука марки СКС-30. Он хорошо растворяется в бензине, бензоле и хлорированных углеводородах. Клеящая способность каучуков СКС невысокая. Для ее повышения в каучуки добавляют канифоль, кумароноинденовую смолу или природный каучук. Бутадиен-стирольные каучуки достаточно морозостойки и атмосферостойки.

В строительстве широко применяют *бутадиен-стиральные латексы.* Чаще других применяют латекс СКС-65. Содержание каучука в латексе около 47 %. При смешивании с цементом и другими минеральными порошками латекс СКС-65 может коагулировать. Поэтому для строительных целей промышленность выпускает стабилизированный латекс СКС-65Б. Обычный латекс можно стабилизировать, добавив около 10 % стабилизатора — поверхностно-активного вещества ОП-7 (ОП-10) или смеси ОП-7 (ОП-10) с казеинатом аммония (1 : 1).

На основе латекса СКС-65 получают клеящие мастики (например, клей «Бустилат»), латексно-цементные краски, составы для наливных полов. Латексом модифицируют строительные растворы.

Полихлоропреновый каучук (наирит) — синтетический каучук, получаемый сополимеризацией хлоропрена с добавкой 5...30 % других мономеров. Выпускают твердые высокомолекулярные каучуки молекулярной массой 100 000...500 000, жидкие олигомерные каучуки, используемые для пластификации и антикоррозионных покрытий, и латексы. Плотность твердого каучука 1230 кг/м^3. Он хорошо растворяется в ароматических и хлорированных углеводородах, частично в кетонах и эфирах. Хлоропреновый каучук обладает хорошими клеящими свойствами, поэтому его используют в клеящих мастиках (например, кумарононаиритовых КН). Вулканизированные полихлоропреновые каучуки обладают высокой масло-, бензо-, свето- и теплостойкостью.

Бутилкаучук — продукт сополимеризации изобутилена с небольшим количеством (1...5 %) изопрена. Бутилкаучук — один из самых ценных видов каучуков. Он обладает высокой морозостойкостью, эластичностью, стойкостью к действию кислорода и озона и исключительно высокой газонепроницаемостью. Бутилкаучук растворяется в бензине, ароматических углеводородах и сложных эфирах. К положительным качествам бутилкаучука относится и его хорошая клейкость.

Вулканизированный бутилкаучук отличается высокой термостойкостью, температура деструкции 160...165° С. Он химически инертен (не растворяется, а лишь набухает в углеводородных растворителях; животные и растительные масла не оказывают на него никакого влияния).

Бутилкаучук широко применяют в автомобильной промышленности (автомобильные камеры), для получения прорезиненых тканей, гуммирования химической аппаратуры, в пищевой промышленности и для многих других целей. В строительстве бутилкаулчук используют для получения клеящих мастик и герметизирующих материалов, а также для модификации битумных и полимерных материалов.

Тиоколовые (полисульфидные) каучуки — синтетические каучуки, в молекулах которых в основной цепи содержатся атомы серы (40...80 % по массе). Особенность тиоколовых каучуков — высокая стойкость к атмосферному старению и действию растворителей. Выпускают твердые и жидкие каучуки и латексы каучуков. В строительстве их применяют для изоляционных покрытий, стойких к солнечному свету и растворителям, для герметизации стыков крупнопанельных зданий и в качестве пластифицирующего компонента в химически стойких мастиках и компаундах.

Полиизобутилен — термопластичный каучукоподобный полимер, в зависимости от молекулярной массы представляющий собой вязкие клейкие жидкости (молекулярная масса ниже 50 000) или эластичный каучукоподобный материал (молекулярная масса 100 000...200 000). Полиизобутилен хорошо растворяется в алифатических ароматических и хлорированных углеводородах и хорошо смешивается с различными наполнителями. Это один из самых легких полимеров; его плотность 910...930 кг/м^3. Полиизобутилен щелоче- и кислотостоек. По химической стойкости и диэлектрическим свойствам он уступает только полиэтилену и фторопласту. Эластичность полиизобутилен сохраняет до температуры — 50° С. Поэтому его применяют для модификации полимерных и битумных материалов с целью улучшения их свойств при низких температурах.

Низкомолекулярный полиизобутилен и растворы высокомолекулярного полиизобутилена обладают очень высокими адгезионными свойствами к большинству строительных материалов (дереву, бетону, штукатурке и т. п.). Из низкомолекулярного полиизобутилена изготов-

ляют невысыхающие клеи и мастики для приклеивания полимерных отделочных материалов из поливинилхлорида, полиэтилена и других полимеров с плохой адгезией. На основе полиизобутилена получают также нетвердеющие мастики для герметизации стыков в сборном строительстве.

Из высокомолекулярного полиизобутилена формуют листы для защиты химической аппаратуры от коррозии, для гидроизоляционных и электроизоляционных целей, а также его используют как пластификатор в пластмассах.

Хлорсульфированный полиэтилен — каучукоподобный продукт, получаемый при взаимодействии полиэтилена с хлором и сернистым ангидридом SO_2. Обработанный таким образом полиэтилен проявляет способность к вулканизации.

Хлорсульфированный полиэтилен хорошо растворим в ароматических растворителях (толуоле, ксилоле) и хлорированных углеводородах, хуже в ацетоне и совсем не растворим в алифатических углеводородах. Отличительная черта хлорсульфированного полиэтилена — высокая атмосферостойкость и химическая стойкость; он хорошо противостоит действию кислот, щелочей и сильных окислителей, разрушающе действуют на него лишь уксусная кислота и ароматические и хлорированные углеводороды.

Вулканизированный хлорсульфированный полиэтилен характеризуется высокой термостойкостью. Изделия из него способны длительно работать при температуре от — 60 до + 180° С. Хлорсульфированный полиэтилен хорошо совмещается с каучуками, повышая их износо-, тепло- и маслостойкость. Применяют хлорсульфированный полиэтилен и резины на его основе для получения износо- и коррозионностойких покрытий полов. На его основе получают атмосферо- и коррозионно-стойкие лаки и краски для защиты металла, бетона и других материалов от атмосферных и химических агрессивных воздействий. Хлорсульфированный полиэтилен применяют также для получения клеев и герметиков и для модификации других полимеров.

9.6. ПРИРОДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПРОДУКТЫ

К природным олигомерным и полимерным продуктам, применяемым в строительстве и других отраслях хозяйства, относятся природные смолы, ненасыщенные (высыхающие) масла, целлюлоза и некоторые белковые вещества. Для получения вяжущих веществ природные продукты, как правило, модифицируют с целью улучшения их свойств.

Природные смолы — продукты растительного происхождения, содержащиеся в жидкостях, которые выделяются на поверхности коры деревьев самопроизвольно или в результате ее ранения. Смолы состоят из смеси органических высоко- и низкомолекулярных веществ. Различают молодые (свежие) смолы, собираемые непосредственно с деревьев

(например, *живица* — сосновая или еловая смола), и ископаемые смолы — продукты жизнедеятельности давно погибших деревьев (*янтарь, копалы).* Молодые смолы содержат много низкомолекулярных летучих веществ, ископаемые смолы — твердые, хрупкие материалы. В строительстве чаще применяют продукты, получаемые при переработке смолы хвойных деревьев,— канифоль и скипидар (см. § 18.3).

Сосновая канифоль — хрупкая стекловидная масса желтого цвета, состоящая в основном из смоляных кислот (до 90 %). При температуре 55...70° С она размягчается, а при 120° С — превращается в жидкость. Канифоль хорошо растворяется во многих органических растворителях: ацетоне, эфире, скипидаре, уайт-спирите и спирте. Растворы канифоли обладают клеящими свойствами. Применяют канифоль в качестве составной части клеящих мастик, для улучшения их адгезионных свойств.

Олифы — пленкообразующие вещества на основе уплотненных растительных масел или жирных алкидных смол (подробнее об олифах см. § 18.2).

Олифы применяются в качестве пленкообразующего компонента в масляных красках и как вяжущее — пластификатор в мастиках и замазках при облицовочных работах.

Целлюлоза (от лат. *cellula* — клетка) — полисахарид — самый распространенный природный полимер, образующий стенки растительных клеток. В чистом виде в качестве органического вяжущего целлюлозу не применяют. Она практически не растворяется ни в воде, ни в органических растворителях. Обычно используют простые и сложные эфиры целлюлозы: нитроцеллюлозу, метилцеллюлозу, карбоксиметилцеллюлозу и др.

Нитроцеллюлозу получают, обрабатывая целлюлозу азотной кислотой (до содержания азота 10...12 %), образующийся продукт называют коллоксилин. Нитроцеллюлоза легко растворяется в ацетоне, этилацетате; хорошо пластифицируется дибутилфталатом, камфарой. Применяют нитроцеллюлозу для получения лаков, нитроэмалей, шпатлевок и клеев. В смеси с камфарой из нитроцеллюлозы получают целлулоид. Существенным недостатком нитроцеллюлозы является то, что она легкогорючий материал.

Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) — порошкообразный или волокнистый продукт белого цвета, хорошо растворяющийся в воде. Образующийся с водой вязкий раствор используют в качестве клея для обоев, а также в цементных мастиках для приклеивания плиток. Карбоксиметилцеллюлоза биостойка, не токсична, стойка к действию жиров, масел и органических растворителей. Кроме строительства, карбоксиметилцеллюлозу в больших количествах используют в нефтедобывающей и горнообогатительной промышленности для повышения вязкости воды, в текстильной промышленности (как аппретирующее вещество) и в полиграфии.

Белковые вещества применяют в строительстве все в меньших объемах из-за их пищевой ценности и недостаточной водо- и биостойкости. В ограниченных количествах находят применение казеин и глютин.

Казеин — порошкообразный продукт, получаемый обработкой кислотой обрата (обезжиренного молока). Казеин плохо растворяется в воде, но хорошо в щелочных водных растворах. Его применяют для приготовления клеев и мастик, а также после растворения в аммиачной воде (т. е. в виде казеината аммония) для стабилизации латексов каучуков в полимерцементных материалах.

Глютин (столярный клей) получают вываривaнием из костей, соединительных тканей и кожи животных с последующим упариванием раствора. Поставляют глютин в виде твердых, хрупких плиток или гранул. Для приготовления клея плитки или гранулы заливают холодной водой; при этом они размягчаются и сильно набухают. В набухший глютин добавляют воду и нагревают до образования вязкого раствора — клея. При охлаждении и испарении воды клей переходит в студенеобразное состояние (желируется), а затем затвердевает. Применяют глютиновый клей в столярных (отсюда название — столярный клей) и малярных работах, для приклеивания облицовочных материалов, а также в качестве замедлителя схватывания гипсовых вяжущих.

9.7. ДОБАВКИ К ОРГАНИЧЕСКИМ ВЯЖУЩИМ

Органические вяжущие вещества в чистом виде применяют очень редко. В большинстве случаев в них добавляют различные вещества либо облегчающие работу с вяжущими, либо улучшающие их эксплуатационные свойства. К таким добавкам относятся растворители, наполнители, пластификаторы, отвердители, инициаторы отверждения и др.

Растворители применяют для расжижения, т. е. для придания рабочей консистенции краскам, клеям, мастикам и строительным растворам на органических вяжущих. Подробно о растворителях см. § 18.3. Иногда, напротив, смесям с органическими вяжущими необходимо придать бóльшую вязкость или структурную прочность. Например, клеям и мастикам, наносимым на вертикальную поверхность. В таком случае используют тонкодисперсные наполнители, загущающие смесь и придающие ей тиксотропные свойства. Наполнители, кроме того, вводят в полимерные материалы для снижения их стоимости и придания необходимых свойств: твердости, прочности, износостойкости и др. (подробнее о наполнителях см. § 15.1). Пластификаторы и стабилизаторы добавляют к полимерам для придания им требуемых механических свойств и долговечности. Отвердители — необходимый компонент смесей, в которых в качестве вяжущего использованы термореактивные олигомеры.

Пластификаторы — вещества, вводимые в полимерные материалы с целью повышения эластичности и пластичности. Действие пластификатора в упрощенном виде можно представить так. Относительно небольшие молекулы пластификатора, проникая между молекулами полимера, ослабляют межмолекулярные связи и тем самым повышают подвижность полимерных молекул. Пластификаторы должны хорошо совмещаться с полимером, образуя с ним устойчивую композицию, должны обладать малой летучестью и способностью проявлять пластифицирующее действие не только при нормальной, но и при пониженной температуре.

В строительстве применяют низкомолекулярные и высокомолекулярные пластификаторы. Из низкомолекулярных пластификаторов применяют эфиры фталевой кислоты (фталаты) и эфиры фосфорной кислоты (фосфаты). Среди фталатов наибольшее распространение получил *диоктилфталат* ДОФ, из фосфатов — трикрезилфосфат. ДОФ — прозрачная маслянистая жидкость плотностью 980 кг/м^3, хорошо совмещающаяся со многими полимерами (поливинилхлоридом, поливинилацетатом, эпоксидными смолами и др.).

Высокомолекулярные пластификаторы отличаются высокоэластическими свойствами. В пластмассах в качестве пластификаторов используют эпоксидированные масла и олигомерные полиэфиры; битумные материалы пластифицируют добавками эластомеров, например, каучука. Преимущество полимерных пластификаторов над низкомолекулярными состоит в том, что они не летучи и не экстрагируются из материала растворителями.

Отвердители — вещества, вызывающие отверждение термореактивных олигомеров, т. е. связывающие относительно короткие линейные молекулы органического вяжущего в крупные трехмерные (сетчатые) молекулы. По характеру действия эти вещества делят на две группы: собственно отвердители и инициаторы (или катализаторы) отверждения.

Отвердителями термореактивных олигомеров служат полифункциональные (как минимум, бифункциональные) вещества. Эти вещества своими функциональными группами соединяются с молекулами олигомера, образуя как бы поперечные мостики (поэтому и нужны как минимум две функциональные группы). Потребное количество отвердителя определяется числом функциональных групп в молекуле олигомера и самого отвердителя.

Для фенолформальдегидных полимеров в качестве отвердителя применяют уротропин (гексаметилентетраамин), распадающийся при нагревании на три молекулы формальдегида, который и производит сшивку. Эпоксидные смолы отверждают полифункциональными аминами (наибольшее распространение получил полиэтиленполиамин — ПЭПА).

Инициаторы отверждения — вещества, распадающиеся в условиях отверждения с образованием свободных радикалов, инициирующих соединение молекул олигомеров друг с другом. Так, для ненасыщенных полиэфирных смол применяют перекисные инициаторы, например гидроперекись изопропилбензола — «гипериз». Так как перекиси распадаются относительно медленно, добавляют вещества — *ускорители отверждения,* в данном случае — ускоритель НК (нафтенат кобальта). Ускоритель и инициатор вместе называются *отверждающей системой.* Необходимо помнить, что смешивать непосредственно инициатор с ускорителем категорически воспрещается, так как это может привести к взрыву с выбросом токсичных веществ. Принято раздельно смешивать инициатор с частью олигомера, а ускоритель с оставшейся частью, а затем уж соединяют эти смеси.

При отверждении некоторых термореактивных олигомеров, способных к самоотверждению при определенной реакции среды (определенном pH), используют вещества, создающие необходимую реакцию среды: кислоты, щелочи. Так, для отверждения мочевино- и меламиноформальдегидных смол добавляют кислоты — контакт Петрова, бензосульфокислоту, соляную кислоту и т. п.

Контрольные вопросы

1. Какие виды органических вяжущих веществ вы знаете? 2. В чем различие термопластичных и термореактивных вяжущих? 3. Каковы общие свойства битумов и дегтей? В чем их различия? 4. Что такое пек? 5. Назовите основные свойства термопластичных полимеров. 6. Какие термопластичные полимеры применяют в строительстве? 7. Расскажите, что такое поливинилацетатная дисперсия. 8. Назовите основные свойства термореактивных полимеров. Что такое олигомеры? 9. Расскажите о свойствах фенолформальдегидных, карбамидных и эпоксидных полимеров. 10. Что такое каучуки? 11. Расскажите о свойствах дивинилстирольного латекса. 12. Что такое полиизобутилен? 13. Какие производные целлюлозы применяют в отделочных работах? 14. Что такое пластификаторы, отвердители, инициаторы и ускорители?

РАЗДЕЛ 5. МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

ГЛАВА 10. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Заполнители для бетонов и растворов — это природные или искусственные каменные сыпучие материалы, состоящие из отдельных зерен. Термин «заполнитель» указывает на роль этого материала в бетонах и растворах: заполнитель занимает до 85 % от общего объема бетона. Стоимость обычных заполнителей значительно меньше, чем стоимость вяжущего. Следовательно, чем больше в бетоне заполнителей, тем бетон дешевле.

Однако этим не исчерпывается роль заполнителей. Так, в цементных бетонах и растворах они снижают усадку материала и повышают его трещиностойкость. Кроме того, заполнители во многом определяют свойства бетона. Например, используя в качестве заполнителя чугунную дробь и железные руды, получают особо тяжелый бетон, защищающий от ионизирующих излучений, а применяя пемзу, керамзит или вспученные шлаки — легкий бетон, обладающий хорошими теплоизолирующими свойствами.

В зависимости от размера зерен заполнитель бывает:

- мелкий (песок) — зерна 0,16...5 мм;
- крупный — зерна 5...70 мм.

Крупный заполнитель в зависимости от формы зерен называют *щебнем* — зерна неправильной формы с шероховатой поверхностью или *гравием* — зерна округлой формы с гладкой поверхностью. Щебень получают дроблением более крупных кусков, в том числе и гравия.

Заполнители как крупные, так и мелкие могут быть:

- природными, добываемыми в карьерах и подвергаемые только рассеву, промывке и, если это необходимо, дроблению;
- искусственными, получаемыми из промышленных отходов (металлургических шлаков, зол электростанций и т. п.) или специальной обработкой природного сырья (из глины получают керамзит, из перлита — вспученный перлит и др.).

В последнее время начинают использовать «вторичные» заполнители, выделяемые из отслуживших свой срок бетонных и железобетонных конструкций дроблением и рассевом.

Структура заполнителя характеризуется двумя показателями: межзерновой пустотностью и пористостью самих зерен заполнителя. Обобщенной характеристикой, учитывающей и межзерновую пустотность, и внутреннюю пористость зерен, служит *насыпная плотность заполнителя* $\rho_{нас}$, которая представляет собой массу единицы объема сыпучего материала, взятого вместе с пустотами:

$$\rho_{нас} = m/V_{ест}.$$

По плотности зерен заполнители подразделяют: на плотные (тяжелые) с плотностью зерен более 2000 кг/м^3 и пористые (легкие), имеющие пористую структуру зерен с плотностью менее 2000 кг/м^3 (обычно 1600...400 кг/м^3).

Заполнители для бетонов и растворов должны отвечать следующим требованиям:

- иметь определенный зерновой состав (соотношение зерен различного размера) для того, чтобы объем пустот между зернами (межзерновая пустотность) был минимальный, т. е. пустоты между крупными зернами были заняты более мелкими;
- поверхность зерен заполнителя должна обеспечивать хорошее сцепление с твердеющим вяжущим, т. е. по возможности быть шероховатой, и на ней не должно быть глинистых и пылеватых примесей;
- заполнитель не должен содержать примесей, отрицательно действующих на твердение вяжущего и на последующую прочность и стойкость бетона и раствора.

10.2. ПЕСОК

Природный песок — рыхлая смесь зерен крупностью 0,16...5 мм — состоит главным образом из зерен кварца SiO_2; возможна примесь полевых шпатов, слюды, известняка. Реже встречаются пески иного состава, например полевошпатные, известняковые. Насыпная плотность природного песка 1300...1500 кг/м^3.

По происхождению природные пески разделяют на горные (овражные), речные и морские.

Горные (овражные) пески образуются в результате выветривания горных пород и последующего переноса продуктов выветривания ветром и ледниками. Угловатая форма и шероховатая поверхность зерен способствуют хорошему сцеплению их с вяжущим. Недостаток таких песков — загрязненность глиной и примесь в них гравия.

Речные и морские пески более чистые, но их зерна, как правило, округлой формы в результате длительного воздействия движущейся воды.

Искусственные пески, используемые значительно реже, бывают тяжелые и легкие.

Тяжелые пески, получаемые дроблением плотных горных пород (базальта, диабаза, мрамора), применяют для специальных целей (отделочные растворы, кислотостойкие растворы и бетоны).

Легкие пески получают дроблением пористых горных пород (пемза, туф) или изготовляют специально. Например, перлитовый песок получают термическим вспучиванием вулканических стекол; керамзитовый — обжигом глиняного сырья (см. § 5.6). Эти пески применяют для теплоизоляционных и акустических растворов и бетонов.

Оценка качества песка. Поступающий на строительство песок должен отвечать требованиям ГОСТ 8736—93 и 8735—88 по зерновому (гранулометрическому) составу, наличию примесей и загрязнений.

Зерновой состав песка определяют на стандартном наборе сит с размерами ячеек: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Навеску сухого песка просеивают через набор сит и определяют сначала частные (%) ($a_{2,5}$; $a_{1,25}$; $a_{0,63}$ и т. д.), а затем полные ($A_{2,5}$; $A_{1,25}$ и $A_{0,63}$ и т. д.) остатки на каждом сите. Полный остаток на любом сите равен сумме частных остатков на этом сите и всех ситах большего размера. Так, $A_{0,63} = a_{0,63} + a_{1,25} + a_{2,5}$. Размеры полных остатков характеризуют зерновой состав песка.

На основании результатов ситового анализа рассчитывают модуль крупности песка:

$$M_к = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})/100.$$

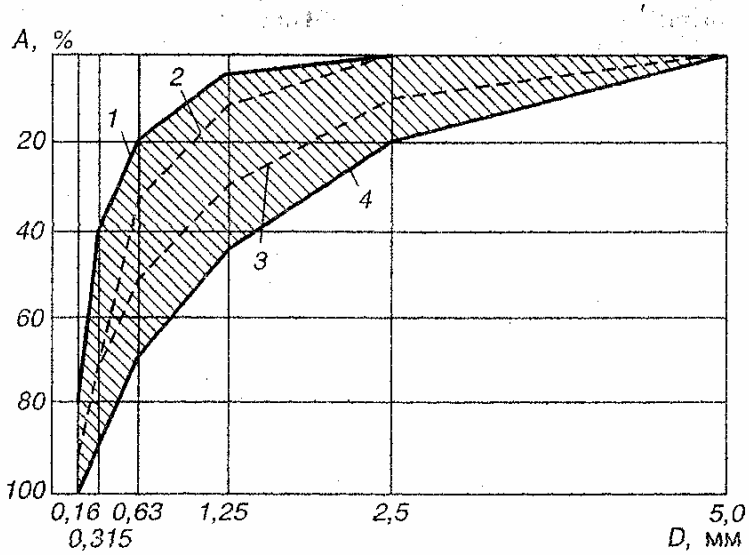
В зависимости от $M_к$ и $A_{0,63}$ пески подразделяют на группы по крупности (табл. 10.1). Это важно знать потому, что чем мельче песок, тем больше необходимо воды для его смачивания (водопотребность песка), и вяжущего для обмазывания поверхности его частиц.

Таблица 10.1. **Классификация песков по крупности**

Группа песка	Модуль крупности $M_к$	Полный остаток на сите № 0,63, %	Водопотребность песка, %
Повышенной крупности	3,0...3,5	65...75	5...4
Крупный	2,5...3,0	45...65	6...5
Средний	2,0...2,5	30...45	8...6
Мелкий	1,5...2,0	10...30	10...8
Очень мелкий	Менее 1,5	Менее 10	Более 10

Для строительных растворов рекомендуется применять пески с модулем крупности не менее 1,2, а для бетонов — не менее 2. Причем зерновой состав песка для бетонов нормируется ГОСТ 10268—80 по остаткам на всех ситах (рис. 10.1).

В строительстве часто используют фракционированный песок, разделенный на крупную (5...1,25 мм) и мелкую (1,25...0,16 мм) фракции.



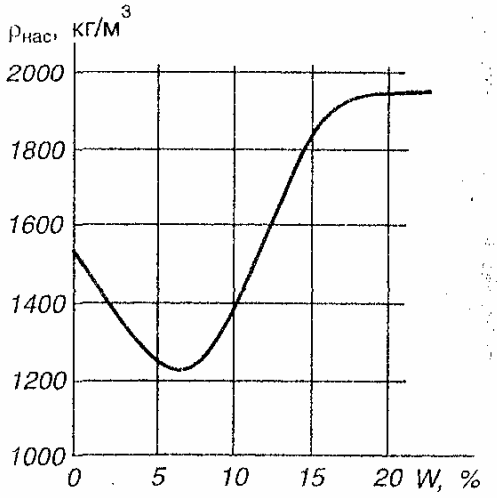
Р и с . 10.1. График зернового состава песка:

1 — допускаемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 1,5); *2* — рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 2,0) для бетонов класса В15 и выше; *3* — рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($М_к$ = 2,5) для бетонов В25 и выше; *4* — допускаемая верхняя граница крупности песка ($М_к$ = 3,25) для растворов и бетонов (заштрихованная область — пески, допустимые для использования в растворах и бетонах)

Для бетонов применяют песок крупностью не более 5 мм, для растворов, используемых для замоноличивания сборных железобетонных конструкций и заполнения швов при монтаже панелей,— также не более 5 мм; для растворов, служащих для кладки кирпича, камней правильной формы и блоков,— не более 2,5 мм; для штукатурных отделочных растворов — не более 1,25 мм.

Количество мелких зерен в песке, проходящих через сито 0,16 мм, не должно превышать для песка, используемого в строительных растворах,— 20 %, а в бетонах — 10 %. Чем больше в песке мелких зерен, тем больше его удельная поверхность. Для соединения зерен песка в растворе или бетоне необходимо, чтобы цементное тесто покрывало всю поверхность каждой песчинки. Таким образом, расход цемента будет возрастать с увеличением удельной поверхности песка, т. е. с увеличением количества мелких фракций в песке. Именно поэтому не рекомендуется использовать песок для бетонов с $М_к$ ниже 2, для растворов — ниже 1,2.

Присутствие в песке пылеватых и особенно глинистых примесей снижает прочность и морозостойкость бетонов и растворов. Количество таких примесей определяют отмучиванием (многократной промывкой водой). В природном песке пылеватых и глинистых примесей должно быть не более 3 % по массе, причем содержание собственно глины не должно превышать 0,5 %.



Р и с . 10.2. Изменение насыпной плотности песка $\rho_{нас}$, кг/м^3, при изменении его влажности *W*, %

Присутствие в песке органических примесей замедляет схватывание и твердение цемента и тем самым снижает прочность бетона или раствора. Для

оценки количества органических примесей пробу песка обрабатывают раствором едкого натра NaOH и сравнивают цвет раствора с эталоном. Если цвет раствора темнее эталона, песок нельзя использовать в качестве заполнителя.

Влажность и насыпная плотность песка. Песок изменяет свой объем и соответственно насыпную плотность при изменении влажности в пределах от 0 до 20 %. При влажности 3...10 % плотность песка резко снижается по сравнению с плотностью сухого песка (рис. 10.2), потому что каждая песчинка покрывается тонким слоем воды, и общий объем песка возрастает. При дальнейшем увеличении влажности вода входит в межзерновые пустоты песка, вытесняя воздух, и насыпная плотность песка снова увеличивается. Изменения насыпной плотности песка при изменении влажности необходимо учитывать при дозировке песка по объему.

10.3. КРУПНЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ

В качестве крупного заполнителя для бетона используют гравий и щебень. В зависимости от насыпной плотности и структуры зерен крупного заполнителя различают плотные (тяжелые) заполнители ($\rho_{нас} > 1200$ кг/м^3), используемые для тяжелого бетона, и пористые ($\rho_{нас} \leq 1200$ кг/м^3), используемые для легкого бетона.

Насыпная плотность крупного заполнителя — один из важных качественных показателей. Она зависит от плотности зерен заполнителя и от его межзерновой пустотности. Насыпная плотность $\rho_{нас}$ определяется путем взвешивания пробы заполнителя в сосуде с известной вместимостью по формуле:α

$$\rho_{нас} = (m - m_c)/V_c,$$

где m — масса пробы заполнителя с сосудом, кг; m_c — масса сосуда, кг; V_c — вместимость сосуда, м^3.

Межзерновая пустотность показывает, какую долю составляют пустоты между зернами крупного заполнителя от его объема в рыхлонасыпном состоянии. Она может быть рассчитана по формуле для расчета пористости, если известны насыпная плотность $\rho_{нас}$ заполнителя и его плотность в куске ρ_m

$$\alpha = (\rho_m - \rho_{нас})/\rho_m.$$

Межзерновая пустотность α обычно составляет 0,4...0,5. Это означает, что около половины объема крупного заполнителя занимает воздух. При использовании в бетоне важно, чтобы межзерновая пустотность заполнителя была возможно меньше. В этом случае снижается расход цемента при сохранении требуемых свойств бетона. Уменьшить меж-

зерновую пустотность заполнителя можно правильным подбором зернового состава так, чтобы мелкие зерна занимали пустоты между крупными.

Зерновой состав. По крупности зерен щебень и гравий разделяют на следующие фракции: 5...10; 10...20; 20...40; 40...70. Для массивных конструкций допускается использовать фракции большего размера. В строительстве применяют крупный заполнитель в виде смеси фракций, обеспечивающей минимальную *межзерновую пустотность,* или в виде отдельных фракций при условии последующего их смешения в заданных соотношениях. Чем меньше межзерновая пустотность, тем меньше расход цементно-песчаного раствора (а в конечном счете цемента), заполняющего в бетоне пустоты между зернами заполнителя.

К плотным заполнителям для тяжелого бетона относятся гравий, получаемый из природных залежей (его обработка заключается в сортировке по фракциям и промывке), и щебень, получаемый дроблением горных пород, крупных фракций гравия и плотных металлургических шлаков.

Содержание различных фракций в крупном заполнителе для бетона нормируется стандартами (табл. 10.2).

Таблица 10.2. **Требования к фракционному составу крупного заполнителя**

Наибольшая крупность заполнителя, мм	Содержание фракций в крупном заполнителе, %			
	5...10	10...20	20...40	40...70
20	25...40	60...75	—	—
40	15...25	20...35	40...65	—
70	10...20	15...25	20...35	35...55

Прочность крупного заполнителя для тяжелых бетонов должна быть в 1,5...2 раза выше прочности бетона. Оценка прочности заполнителя может производиться по прочности той горной породы, из которой получен заполнитель, путем испытания выпиленных из нее кернов (цилиндрических образцов) или путем оценки дробимости самого заполнителя. Дробимость заполнителя оценивается по количеству мелочи, образующейся при сдавливании пробы заполнителя (гравия или щебня) в стальной форме под определенным усилием.

Морозостойкость заполнителя должна также быть выше проектной морозостойкости бетона.

Вредными примесями в крупном заполнителе, как и в песке, являются органические, пылеватые и глинистые. Методы их определения такие же, как и для песка. Особенно вредна глина на поверхности заполнителя, так как препятствует его сцеплению с цементным камнем. Количество пылеватых, глинистых и илистых примесей, определяемых

отмучиванием, не должно быть более 1...3 % в зависимости от вида заполнителя и класса бетона. Глина в виде комков снижает морозостойкость бетона, поэтому ее присутствие недопустимо.

В крупном заполнителе не должно быть зерен, содержащих активный кремнезем, так как это может со временем вызвать разрушение бетона.

Радиационно-гигиеническая оценка содержания естественных радионуклеидов обязательна для всех заполнителей, и в особенности для получаемых из промышленных отходов (металлургических шлаков и т. п.).

Пористые заполнители для легких бетонов получают главным образом искусственным путем (например, керамзит, шлаковую пемзу, аглопорит и перлит). Из природных пористых заполнителей применяют щебень из пемзы, туфа и пористых известняков, которые используют в качестве местного материала. *Марку пористых заполнителей* устанавливают по их насыпной плотности (кг/м^3).

Для пористых заполнителей еще в большей степени, чем для плотных, имеет значение правильный зерновой состав. Пористые заполнители выпускают в виде фракций размерами 5...10 мм; 10...20 мм и 20...40 мм. При приготовлении бетонной смеси их смешивают в требуемом соотношении.

Керамзит — гранулы округлой формы с пористой сердцевиной и плотной спекшейся оболочкой. Благодаря такому строению прочность керамзита сравнительно высокая при небольшой насыпной плотности (250...600 кг/м^3). Получают керамзит быстрым обжигом во вращающихся печах легкоплавких глинистых пород с большим содержанием оксидов железа и органических примесей до их вспучивания.

Керамзит выпускают в виде гравия (гранулы 5...40 мм) и песка (зерна менее 5 мм). Марки керамзита от 250 до 600 кг/м^3. Морозостойкость керамзита не менее F15.

Шлаковая пемза — пористый щебень, получаемый вспучиванием расплавленных металлургических шлаков путем их быстрого охлаждения водой или паром. Этот вид пористого заполнителя экономически очень эффективен, так как сырьем служат промышленные отходы, а переработка их крайне проста. Марки шлаковой пемзы от 400 до 1000. Прочность ее соответственно от 0,4 до 2 МПа.

Аглопорит — пористый заполнитель в виде гравия, щебня, получаемый спеканием (агломерацией) сырьевой шихты из глинистых пород и топливных отходов. Марки аглопорита от 400 до 900.

Вспученные перлитовый песок и щебень — пористые зерна белого или светло-серого цвета, получаемые путем быстрого (1...2 мин) нагрева до температуры 1000...1200° С вулканических горных пород, содержащих небольшое количество (3...5 %) гидратной воды (перлит и др.).

При обжиге исходная порода увеличивается в объеме в 5...15 раз, а пористость образующихся зерен достигает 85...90 %.

Щебень, выпускаемый двух фракций (5...10 и 10...20 мм), имеет насыпную плотность от 200 до 500 кг/м^3. Перлитовый песок — особо легкий вид мелкого заполнителя: его насыпная плотность от 75 до 200 кг/м^3.

Лабораторная работа № 8
Испытание песка как заполнителя для бетонов и растворов

Цель: ознакомиться с требованиями ГОСТов к пескам, используемым в качестве заполнителей растворов и бетонов, и провести испытания песка в соответствии с этими требованиями.

Материалы: песок сухой кварцевый — 5 кг.

Приборы и приспособления: стандартный набор сит, сосуд вместимостью 1 дм^3, совок, весы торговые с набором гирь, мензурка вместимостью 100...500 см^3.

Ход работы

I. *Определение зернового состава песка*

Высушенную пробу песка массой 1 кг пропускают через стандартный набор сит (5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм). Остатки на каждом из сит *a* (частные остатки) взвешивают с погрешностью 5 г. Также взвешивают пыль, прошедшую через сито 0,16 мм и оставшуюся на поддоне. Результаты заносят в таблицу. Далее вычисляют значения частных остатков *a* в % и заносят во вторую строку табл. 10.3.

Таблица 10.3. **Результаты просеивания песка**

Показатели	Размеры отверстий сит, мм						Проход через сито № 0,16
	5	2,5	1,25	0,63	3,315	0,16	
Остатки частные (*a*), г							
То же, %							
Остатки полные (*A*), %							

Затем рассчитывают полные остатки *A* на каждом сите как сумму частных остатков на данном сите и всех вышележащих, например:

$$A_{0,63} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63}.$$

Далее подсчитывают общее количество просеянного песка, равное сумме частных остатков на ситах и поддоне (проход через сито № 0,16) и потери при просеве.

Пригодность песка по зерновому составу для использования в бетонах определяют, строя кривую просеивания песка и кривые по ГОСТу (см. рис. 10.1). Если кривая испытуемого песка укладывается между стандартными кривыми, ограничивающими область песков, допустимых для использования, песок по зерновому составу считается пригодным.

Модуль крупности песка вычисляют по формуле

$$M_к = (A_{2,5} + A_{1,25} + ... + A_{0,16})/100.$$

Крупность песка определяют по модулю крупности песка $M_к$ и полному остатку на сите № 0,63, % (см. § 10.2, табл. 10.1).

Также необходимо сравнить количество мелких пылеватых примесей (проход через сито № 0,16 мм) с требованиями стандартов.

II. Определение насыпной плотности песка различной влажности

Для работы берут пробу сухого песка массой 2 кг. Насыпную массу определяют с помощью цилиндрического сосуда вместимостью 1 дм^3 (заранее надо определить массу пустого сосуда $m_с$, г). Совком с высоты 10 см песок засыпают в мерный сосуд до тех пор, пока песок не образует конус над краями сосуда. Избыток песка срезают вровень с краями сосуда, и сосуд с песком взвешивают, определяя массу песка в сосуде $m_0 = m_{с+п} - m_с$, где $m_{с+п}$ — масса сосуда с песком.

Затем всю пробу (2 кг) сухого песка собирают в тазик вместимостью 3...4 дм^3 и увлажняют до 5 %. Для этого мензуркой отмеряют 100 см^3 воды и выливают ее в песок, который тщательно перемешивают до достижения равномерной влажности во всем объеме. Увлажненный песок насыпают в мерный сосуд вместимостью 1 дм^3 (так же, как и сухой песок — без уплотнения). Сосуд с песком взвешивают и вычисляют массу находящегося в нем песка по указанной формуле.

Эту операцию повторяют еще 3...4 раза, доводя влажность взятой пробы песка (2 кг) последовательно до 10, 15 и 20 % (для мелкого песка возможно и до 25 %). Заканчивают испытание в тот момент, когда над поверхностью песка начнет выступать вода.

Полученные данные заносят в табл. 10.4, по ним вычисляют насыпную плотность песка и строят график изменения плотности песка ($\rho_{нас}$) в зависимости от его влажности ($W_п$) (см. рис. 10.2).

Таблица 10.4. **Результаты испытаний**

Показатели	Влажность песка W, % по массе					
	0	5	10	15	20	25
Добавка воды, $см^3$						
Масса песка в сосуде, г						
Насыпная плотность песка, $кг/м^3$						

Контрольные вопросы

1. Что вы знаете о заполнителях? 2. Расскажите о природном и искусственном песках. 3. Что такое модуль крупности песка? 4. Расскажите о крупных заполнителях — щебне и гравии. Чем щебень отличается от гравия? 5. Для каких целей применяют пористые заполнители и как устанавливают их марку?

ГЛАВА 11. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Строительным раствором называют материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной смеси *вяжущего вещества* (цемента, извести), *мелкого заполнителя* (песка) и воды, а в необходимых случаях и специальных добавок. До затвердевания этот материал называют растворной смесью.

Принципиальным отличием строительных растворов от мелкозернистых бетонов является то, что растворные смеси укладываются тонкими слоями обычно на пористое основание и одним из главных свойств растворов является хорошее сцепление с основанием.

По назначению строительные растворы бывают: *кладочные* — для кладки из кирпича, штучных камней и блоков; *отделочные* (штукатурные) — для оштукатуривания наружных и внутренних поверхностей конструкций; *специальные* — для омоноличивания сборных железобетонных конструкций, для устройства гидроизоляции и других специальных целей.

Растворы называют по свойствам входящего в них вяжущего (гидравлические, воздушные) и его виду (цементные, известковые, гипсовые и смешанные — цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые).

По плотности различают растворы *обыкновенные тяжелые* (плотность более 1500 $кг/м^3$), получаемые на плотных заполнителях (природный песок и др.), и *легкие* (менее 1500 $кг/м^3$), изготовляемые на

пористых заполнителях (керамзитовый песок, вспученный перлит и др.). Легкие растворы, кроме того, получают с помощью специальных пенообразующих добавок — *поризованные растворы.*

11.2. СВОЙСТВА РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ И ЗАТВЕРДЕВШИХ РАСТВОРОВ

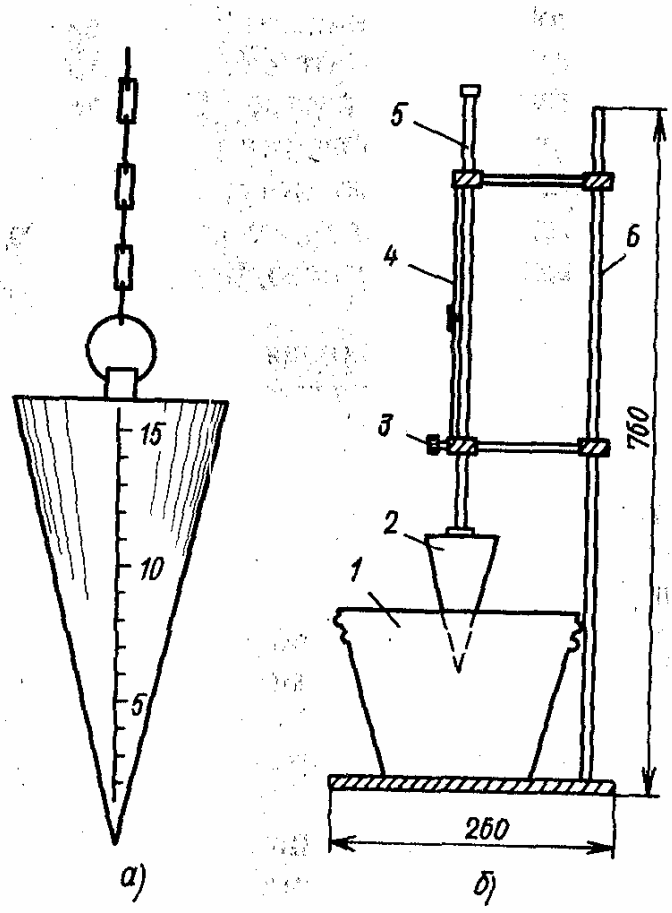
Растворная смесь должна обладать следующими свойствами: хорошей удобоукладываемостью и высокой водоудерживающей способностью, чтобы легко распределяться по пористому основанию и не давать ему отсасывать в себя воду. Вода необходима для твердения раствора.

Удобоукладываемость — способность растворной смеси легко распределяться по поверхности сплошным тонким слоем, хорошо сцепляясь с поверхностью основания. Удобоукладываемая растворная смесь даже при укладке на неровной поверхности заполняет все впадины и плотно примыкает к камням кладки. Удобоукладываемость оценивается подвижностью смеси.

Подвижность растворной смеси оценивают по глубине погружения в нее эталонного конуса (рис. 11.1) массой 300 г, высотой 150 мм и углом при вершине 30°. Конус сделан из жести, внутри него помещен груз (свинцовая дробь).

В построечных условиях используют конус с делениями, нанесенными на его поверхности, и с цепочкой (или шнуром), прикрепленной к центру основания. Растворную смесь, подвижность которой надо определить, помещают в металлическую емкость (например, ведерко) и в нее погружают конус. В лабораториях используют специальный прибор, основным элементом которого является тот же конус (рис. 11.1, *б*).

В зависимости от назначения применяют растворы различной подвижности:



Р и с . 11.1. Конус для определения подвижности растворной смеси в построечных условиях (*а*) и в лаборатории (*б*):

1 — сосуд; *2* — конус; *3* — стопорный винт; *4* — шкала; *5* — стержень; *6* — штатив

Назначение раствора	*Подвижность, см*
Бутовая кладка обыкновенная	4...6
Заполнение швов в панельных и блочных зданиях	5...7
Кладка из пустотелого кирпича и керамических камней	7...8
Кладка из обыкновенного керамического кирпича	9...13
Штукатурные растворы	7...12

Один из способов повышения подвижности растворной смеси — увеличение содержания в ней воды, но при этом, чтобы сохранить прочность раствора и водоудерживающую способность смеси, увеличивают расход вяжущего. Более рациональный способ повышения подвижности — введение в раствор пластифицирующих добавок.

Водоудерживающая способность — это способность растворной смеси удерживать воду при нанесении на пористое основание или при транспортировании. Если растворную смесь с малой водоудерживающей способностью нанести, например, на кирпич, то она быстро обезводится в результате отсасывания воды в поры кирпича. В этом случае затвердевший раствор будет пористым и непрочным.

При транспортировании растворные смеси с низкой водоудерживающей способностью могут расслоиться: песок осядет вниз, а вода окажется сверху. Чем ниже водоудерживающая способность, тем вероятнее расслоение растворной смеси.

Водоудерживающая способность зависит от количества вяжущего вещества в растворе, так как тончайший порошок вяжущего образует с водой вязкое тесто, препятствуя отделению воды и заполнителя. Повысить водоудерживающую способность без увеличения расхода цемента можно введением в растворную смесь тонкодисперсных минеральных порошков, в том числе и более дешевых вяжущих (извести, глины) или загущающих (водоудерживающих) водорастворимых полимерных добавок, таких, как метилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, и т. п. (см. § 9.7).

Затвердевший раствор должен иметь требуемые прочность и морозостойкость.

Прочность строительных растворов характеризуется маркой, определяемой по пределу прочности при сжатии образцов-кубов размером 70,7 х 70,7 х 70,7 мм. Образцы, изготовленные из рабочей растворной смеси, твердеют на воздухе в течение 28 сут при температуре (20 ± 5)° С. Чтобы приблизить условия твердения образцов к реальным условиям твердения кладочных растворов, используют формы без дна и устанавливают их на пористое основание (кирпич).

По прочности на сжатие, выраженной в кгс/см^2, строительные растворы делят на марки: 4; 10; 25; 50; 75; 100; 150; 200. Растворы марок 4; 10; 25 изготовляют обычно на извести и местных вяжущих; растворы более высоких марок — на смешанном цементно-известковом, цементно-глиняном и цементном вяжущих.

Прочность строительных растворов, так же, как и бетонов, зависит от марки вяжущего и его количества. Однако водовяжущее отношение в данном случае не имеет существенного значения, так как пористое основание, на которое наносят раствор, отсасывает из него воду, и количество воды в разных растворах становится приблизительно одинаковым.

Марки наиболее часто применяемых кладочных и штукатурных растворов значительно ниже марок бетона. Это объясняется тем, что прочность кладочных растворов существенно не влияет на прочность кладки из камней правильной формы, а штукатурные растворы практически не несут никакой нагрузки. Более высокие требования предъявляются к прочности растворов для омоноличивания несущих сборных конструкций.

Морозостойкость растворов, так же, как и бетонов, определяется числом циклов «замораживания-оттаивания» до потери 25 % первоначальной прочности (или 5 % массы). По морозостойкости растворы подразделяют на марки: F10...F200.

11.3. ПЛАСТИФИКАТОРЫ ДЛЯ РАСТВОРОВ

Марки растворов по прочности обычно значительно ниже марки цемента. Поэтому, чтобы получить раствор заданной прочности, требуется небольшое количество цемента. Но, с другой стороны, растворная смесь должна быть пластична и обладать высокой водоудерживающей способностью. Этого, наоборот, можно достичь только при большом содержании в растворе вяжущего. Чтобы разрешить это противоречие, применяют смесь вяжущих, одно из которых придает раствору прочность, а другое — пластичность, или вводят в раствор органические пластификаторы.

В качестве смеси вяжущих для получения растворов чаще всего используют цемент и известь — *цементно-известковые растворы.* Известь в таких растворах благодаря своей высокой дисперсности играет роль пластификатора.

В 30-х годах проф. Н.А. Поповым были предложены *цементно-глиняные растворы,* в которых в качестве пластифицирующей добавки использовалась глина. Казалось бы, что по аналогии с бетоном присутствие глины должно снижать прочность, водо- и морозостойкость раствора. Однако в цементно-глиняных растворах частицы глины равномерно распределены по всему объему, а не находятся в виде комьев или пленок, обволакивающих песок. Это достигается путем

введения глины в растворную смесь в виде глиняной суспензии (жидкого теста). В таком случае глина, так же, как и известь, играет роль пластификатора.

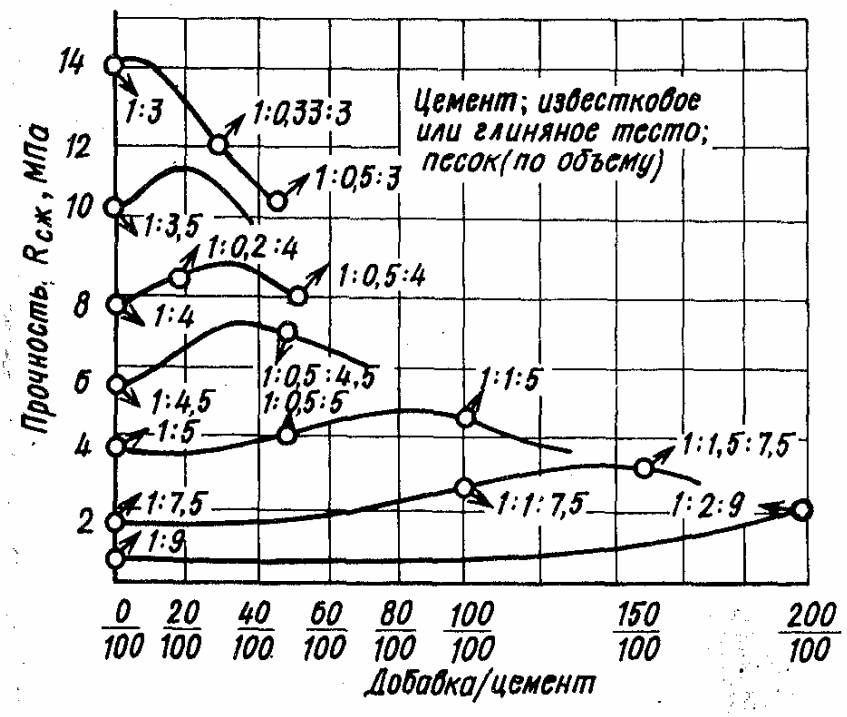
В качестве неорганических пластификаторов применяют и другие минеральные порошки: золы ТЭС, молотые шлаки, известняки и т. п.

Неорганические пластификаторы позволяют получить высококачественные (удобоукладываемые, нерасслаивающиеся) растворные смеси и увеличить прочность растворов при небольшом расходе цемента. Оптимальное количество неорганических пластифицирующих добавок увеличивается с повышением доли песка (соотношения песок : цемент) в растворной смеси.

Так, для растворов состава 1 : 5 (цемент : песок) оптимальное количество добавки составляет 100 %, для растворов 1 : 7,5 — 150 %; а для растворов 1 : 9 — 200 % от массы цемента (рис. 11.2).

Для приготовления растворов выпускается специальный *кладочный цемент,* в состав которого входит 20...30 % цементного клинкера, остальное — тонкомолотые неорганические добавки.

Для растворов марки 100 и выше рациональнее применять органические поверхностно-активные пластифицирующие добавки — лигносульфонаты технические (ЛСТ), сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ) и др.), вводимые в очень малых количествах (0,25...0,5 % от массы цемента). Действие таких добавок основано на вовлечении мельчайших пузырьков воздуха в растворную смесь (микропенообразование) и дополнительном диспергировании частиц цемента, что как бы увеличивает количество вяжущего в растворной смеси. Воздушные пузырьки придают пластичность растворной смеси, уменьшают водопоглощение и, образуя замкнутые поры, увеличивают морозостойкость раствора.



Р и с . 11.2. Изменение прочности цементно-песчаных растворов различных составов (от 1 : 3 до 1 : 9) при введении неорганического пластификатора

В настоящее время для пластификации растворных сме-

сей начинают применять суперпластификаторы — высокомолекулярные поверхностно-активные вещества, вводимые в растворную смесь в количестве до 1 % от массы цемента. Преимущество суперпластификаторов — сильная диспергация цемента в растворе: мелкие комочки цемента, которые трудно разбить механическим перемешиванием, распадаются на мельчайшие частицы под действием пластификатора, в результате чего увеличиваются поверхность вяжущего, удобоукладываемость и водоудерживающая способность растворной смеси.

Органические пластифицирующие добавки эффективны лишь для растворов с относительно большим расходом цемента (марок 100 и выше). Передозировка органических пластификаторов может привести к замедлению твердения раствора и снижению его прочности.

Органические пластификаторы, так же, как и неорганические, позволяют существенно сократить расход цемента. В некоторых случаях применяют совместно органические и неорганические пластификаторы.

11.4. ПОДБОР СОСТАВА, ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ РАСТВОРОВ

Подбор состава растворов выполняют, исходя из требуемых марок, подвижности, назначения раствора и условий производства работ.

Состав раствора выражается количеством исходных материалов для получения 1 м^3 растворной смеси или соотношением сухих компонентов (по массе или объему), при этом расход основного вяжущего принимают за 1. Например, состав растворной смеси, в которой на 1 ч. цемента приходится 0,7 ч. извести и 6 ч. песка, записывается 1 : 0,7 : 6.

Составы растворов марок 4...100 обычно подбирают, пользуясь специальными таблицами. В табл. 11.1 приведены ориентировочные составы цементно-известковых и цементно-глиняных растворов с добавкой органического пластификатора и без нее.

Подготовка сырьевых материалов. Для кладочных растворов применяют *песок* максимальной крупности 2,5 мм; содержание в нем глинистых и органических примесей ограничено стандартом. *Известь* применяют в виде известкового молока или реже известкового теста, предварительно пропущенного через сито № 025, чтобы в раствор не попали непогасившиеся частицы.

Когда вместо извести используют *глину*, то ее тщательно размачивают в течение нескольких дней. Делают это для того, чтобы разъединить частицы глины. Затем глину и воду приблизительно в равных

объемах загружают в смеситель и перемешивают в течение 3...5 мин. Получившееся глиняное молоко сливают из смесителя через сетку, а в смеситель добавляют новую порцию воды и глины. Через 10...20 замесов смеситель очищают от нераспавшихся комьев и камней.

Таблица 11.1. **Ориентировочные составы растворов (в частях по объему)**

Марка цемента	Требуемая марка раствора		
	25	50	100
Без добавок поверхностно-активных веществ (цемент : известковое или глиняное тесто : песок)			
200	1 : 0,7 : 6,5	1 : 0,2 : 3,5	—
300	1 : 1,2 : 10	1 : 0,7 : 6,7	1 : 0,2 : 3,5
400	—	1 : 1,2 : 8,0	1 : 0,5 : 5,0
С добавками пластифицирующих поверхностно-активных веществ (0,25...0,5 % от массы цемента) (цемент : известковое тесто : песок)			
200	1 : 0,15 : 7,5	1 : 0 : 4	1 : 0 : 3
300	1 : 0,3 : 10	1 : 0,15 : 7,5	1 : 0 : 4
400	—	1 : 0,3 : 9	1 : 0,15 : 5

Поверхностно-активные и *пластифицирующие добавки* вводят в растворы, предварительно смешав их с водой, применяемой для затворения.

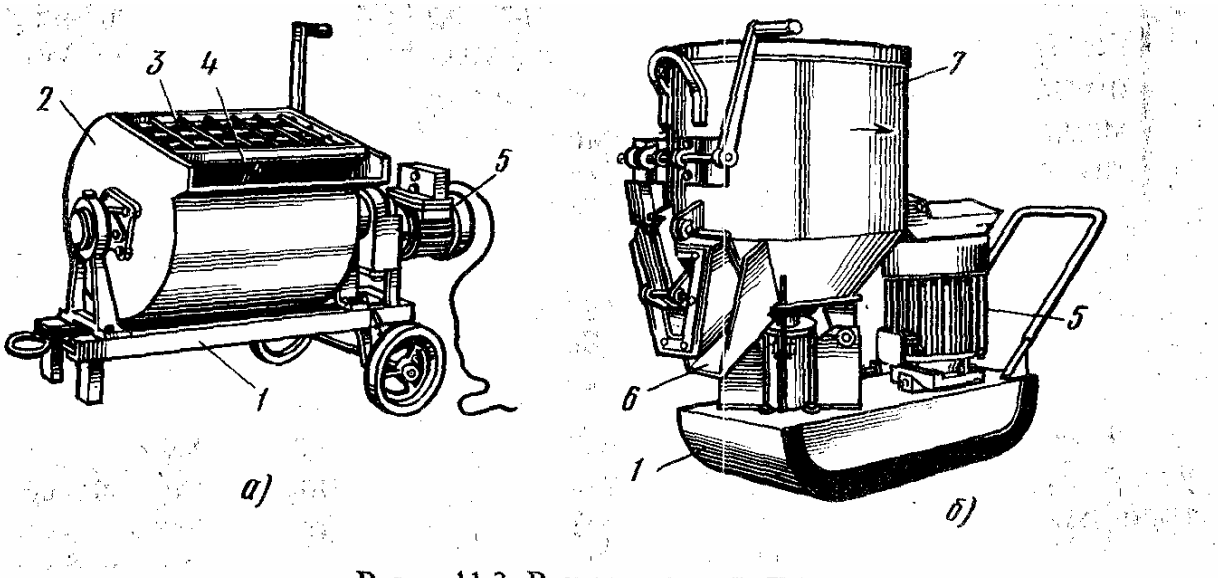
Приготовление растворов. Растворы приготовляют в виде готовых к применению смесей или в виде сухих смесей, затворяемых водой перед использованием.

Процесс приготовления растворной смеси состоит из дозирования исходных материалов, загрузки их в барабан растворосмесителя и перемешивания до получения однородной массы в растворосмесителях периодического действия с принудительным перемешиванием.

По конструкции различают растворосмесители с горизонтальным (рис. 11.3, *а*) или вертикальным (рис. 11.3, *б*) лопастными валами, последние называют турбулентными смесителями.

Растворосмесители с горизонтальным лопастным валом выпускают вместимостью по готовому замесу 30; 65; 80; 250 и 900 л. Все эти смесители, за исключением последнего,— передвижные. Вместимость по готовому замесу турбулентных смесителей, рабочим органом которых служат быстро вращающиеся роторы 65, 500 и 800 л.

Чтобы раствор обладал требуемыми свойствами, необходимо добиться однородности его состава. Для этого ограничивают минимальное время перемешивания. Средняя продолжительность цикла перемешивания для тяжелых растворов должна быть не менее 3 мин. Легкие растворы перемешивают дольше. Как уже говорилось, для



Р и с . 11.3. Растворосмесители:

а — лопастной СО-46А; *б* — турбулентный СБ-43Б; *1* — рама; *2* — барабан; *3* — решетка; *4* — лопасть; *5* — привод; *6* — разгрузочное устройство; *7* — бак

облегчения перемешивания известь и глину вводят в раствор в виде известкового или глиняного молока.

Для приготовления цементных растворов с неорганическими пластификаторами в растворосмеситель заливают известковое (глиняное) молоко такой консистенции, чтобы не нужно было дополнительно заливать воду, а затем засыпают заполнитель и цемент. Органические пластификаторы сначала перемешивают в растворосмесителе с водой в течение 30...45 с, а затем загружают остальные компоненты.

Растворы, как правило, приготовляют на централизованных бетонорастворных заводах или растворных узлах, что обеспечивает получение продукции высокого качества.

Зимой для получения растворов с положительной температурой составляющие раствора — песок и воду — подогревают до температуры не более 60° С. Вяжущее подогревать нельзя.

Транспортирование. Растворные смеси с заводов перевозят автосамосвалами или специальными машинами, в которых смесь постоянно подмешивается, что предохраняет ее от расслоения. Если используют автосамосвалы, во избежание расслоения смеси нормируется дальность ее перевозок (например, дальность перевозок цементно-известковых растворов по асфальтовой дороге — не более 10 км, по булыжной — 5...6 км).

На крупных стройках растворную смесь подают к месту использования по трубам с помощью растворонасосов.

Сроки хранения растворных смесей зависят от вида вяжущего и ограничиваются сроками его схватывания. Известковые растворы сохраняют свои свойства долго (пока из них не испарится вода).

В высохший известковый раствор можно добавить воду и вторично перемешать его. Цементные растворы необходимо использовать в течение 2...4 ч; разбавление водой и повторное перемешивание схватившихся цементных растворов не допускаются, так как это приводит к резкому падению марки раствора.

11.5. РАСТВОРЫ ДЛЯ КАМЕННОЙ КЛАДКИ И МОНТАЖА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В зависимости от вида конструкции (стена, фундамент и др.) и условий, в которых эта конструкция будет работать на основании требований СНиПа, устанавливаются основные требования к растворам (марка, водостойкость, морозостойкость) для возведения или монтажа этой конструкции.

В табл. 11.1 и 11.2 приведены минимальные допустимые марки *кладочных растворов,* применяемых при кладке наружных стен и подземных частей зданий при положительной температуре окружающего воздуха.

При монтаже стен горизонтальные швы между панелями из тяжелого бетона заполняют раствором марки не ниже 100, из легкого бетона — не ниже 50. При монтаже стен из крупных блоков марки раствора для заполнения горизонтальных швов указываются в проекте (обычно 10...50). Для расшивки вертикальных швов панельных и крупноблочных стен марка раствора должна быть не ниже 50.

Таблица 11.2. **Минимальные марки растворов для кладки наружных стен зданий**

Относительная влажность воздуха помещения, %	Раствор	Минимальная марка раствора при степени долговечности здания		
		I	II	III
До 60	Цементно-известковый	10	10	4
	Цементно-глиняный	10	10	4
	Известковый	—	4	4
До 74	Цементно-известковый	25	25	10
	Цементно-глиняный	25	25	25
Более 75	Цементно-известковый	50	25	10
	Цементно-глиняный	50	50	25

Для монтажа несущих железобетонных конструкций марка цементного раствора должна быть не ниже класса бетона этой конструкции.

При работах в зимних условиях марки растворов должны быть на одну ступень выше, чем растворов, используемых для этих же целей летом. Растворы для зимних работ могут выпускаться подогретыми. Температура раствора в момент его применения должна быть не менее

10° С при температуре наружного воздуха до — 10° С и не менее 20° С при температуре воздуха — 20° С.

Таблица 11.3. **Минимальные марки растворов для кладки подземных и цокольных частей зданий**

Грунт	Раствор	Минимальная марка раствора при степени долговечности здания		
		I	II	III
Маловлажный (вода заполняет менее 50 % объема пор)	Цементно-известковый	25	10	10
	Цементно-глиняный	25	10	10
Очень влажный (вода заполняет 50...80 % объема пор)	Известковый	—	—	4
	Цементно-известковый	50	25	10
	Цементно-глиняный	50	25	10
Насыщенный водой (вода заполняет более 80 % объема пор)	Цементный	50	50	25
	Цементно-известковый	—	—	—
	Цементно-глиняный	—	—	25

В зимних условиях применяют также растворы, твердеющие при отрицательных температурах. В их состав входят соли, понижающие температуру замерзания воды (поташ K_2CO_3, хлорид натрия NaCl, хлорид кальция $CaCl_2$, нитрит натрия $NaNO_2$ и др.). Например, при температуре от — 10 до — 20° С рекомендуется применять растворы с добавкой поташа (10 % от массы вяжущего) или нитрита натрия (5 % от массы вяжущего). При более низкой температуре добавки солей увеличивают.

При применении химических добавок к растворам следует руководствоваться специальными инструкциями.

11.6. ПРОСТЫЕ И СМЕШАННЫЕ РАСТВОРЫ ДЛЯ ОБЫЧНЫХ ШТУКАТУРОК

Выбор типа раствора. Вяжущее и другие компоненты раствора выбирают в зависимости от вида оштукатуриваемых поверхностей, назначения, условий эксплуатации и долговечности сооружения. Обычно тип раствора указывается в проекте. Если в проекте таких данных лет, то при выборе растворов руководствуются следующими рекомендациями.

При оштукатуривании наружных каменных и бетонных стен, в том числе подвергающихся увлажнению, применяют цементные и цементно-известковые растворы, для деревянных и гипсовых стен — известковые растворы с добавкой глины или гипсового вяжущего.

При оштукатуривании стен в помещениях с влажностью воздуха во время эксплуатации не более 60 % используют следующие растворы:

• известковые и цементно-известковые — для внутренних поверхностей наружных каменных и бетонных стен, а также поверхностей бетонных покрытий;

• известковые — для поверхностей внутренних каменных или бетонных стен и перегородок;

• известково-гипсовые и гипсовые с добавлением наполнителя — для гипсовых перегородок.

При оштукатуривании помещений, влажность воздуха в которых во время эксплуатации более 60 % (ванные комнаты, прачечные, бани и т. п.), для первого слоя штукатурки (обрызга) применяют цементные и цементно-известковые растворы.

Подвижность растворных смесей и крупность заполнителя для обычных штукатурок зависит от назначения раствора (табл. 11.4).

Штукатурные растворы должны иметь хорошее сцепление с оштукатуриваемой поверхностью как после твердения, так и в момент нанесения. Последнее обеспечивается правильным составом растворной смеси и правильно выбранной подвижностью. В таком случае благодаря *тиксотропным свойствам* смеси она легко наносится и хорошо удерживается на вертикальных и потолочных поверхностях.

Таблица 11.4. **Подвижность растворных смесей и крупность заполнителя для обычных штукатурок**

Наименования слоя	Размер зерен заполнителя, мм, не более	Подвижность растворных смесей (погружение конуса), см, при нанесении	
		механизированном	вручную
Первый подготовительный слой (обрызг)	2,5	9...14	8...12
Второй и последующие слои (грунт)	2,5	7...8	7...8
Отделочный слой (накрывка):			
растворы, содержащие гипсовые вяжущие	1,2	9...12	9...12
растворы без гипсовых вяжущих	1,2	7...8	7...8

Простые глиняные растворы. Преимущество глиняных растворов — их низкая стоимость, а недостатки — низкие прочность и водостойкость. Глиняные растворы пригодны для оштукатуривания стен малоэтажных зданий в сельской местности, эксплуатируемых при относительной влажности воздуха помещений не выше 60 %.

В качестве вяжущего материала в глиняных растворах применяют карьерную глину или глиняный порошок, выпускаемый кирпичными заводами. Прежде чем приготовить глиняный раствор, глину размачивают. Делают это для того, чтобы разъединить ее частицы и облегчить приготовление глиняного теста.

В качестве заполнителя для глиняных растворов лучше брать не песок, а соломенную сечку, опилку, стружку, льняную или конопляную костру. Эти заполнители придают раствору большую прочность и вязкость и облегчают его сушку. Растворы с такими заполнителями должны проходить без остатка через сито с ячейками 3 х 3 мм.

Состав глиняных растворов назначают в зависимости от жирности глиняного теста (табл. 11.5). Для определения жирности приготовляют тесто подвижностью, соответствующей погружению эталонного конуса на 13...14 см. Это тесто процеживают через сито, взвешивают и определяют его плотность. По плотности судят о степени жирности глиняного теста. При использовании глиняного порошка его дозируют при тощей глине в таком же количестве, как и тесто; при глине средней жирности его дозировку уменьшают по сравнению с объемом теста на 15 %, а при жирной глине — на 25 %.

Таблица 11.5. **Составы глиняных растворов**

Глина	Содержание песка, %	Плотность глиняного теста, кг/м^3	Составы растворов, в частях по объему
Жирная	5	1300...1400	1 : 4
Средняя нормальная	15	1400...1500	1 : 3
Тощая (суглинок)	30	1500...1600	1 : 2,5

Смешанные глиняные растворы. Для повышения водостойкости в глиняные растворы добавляют известь, реже цемент или черные вяжущие материалы (битумы, дегти). При этом получают глиноизвестковые, глиноцементные, глинобитумные и другие растворы. Рекомендуются следующие составы растворов в частях по объему:

Глиноизвестковые:	
на молотой негашеной извести	1 : 0,2 : (3—5)
на гашеной извести и известковом тесте	1 : 0,3 : (3 — 5)
Глиноцементные	1 : 0,15 : (4 — 5)
Глинобитумные (глинодегтевые, глинопековые) . .	1 : (0,01 — 0,05) : (2,5 — 4)

Приготовляют глиняный раствор в растворосмесительных установках. Сначала готовят глиняное молоко, для чего в смеситель загружают глину и воду примерно в равных объемах и перемешивают в течение 4...5 мин. Полученное тесто сливают через решетку, а оставшуюся в барабане глину перемешивают с новыми порциями воды и глины. Через 10...20 замесов очищают барабан смесителя от отходов (гальки, нераспадающихся комьев и т. п.).

Битумные вяжущие материалы для растворов поступают на стройку в жидком или твердом виде. При приготовлении растворов с жидкими вяжущими материалами в смеситель сначала подают воду, а затем глину

и битумный вяжущий материал и перемешивают их в течение 30...45 с. После этого загружают заполнитель и продолжают перемешивать массу еще не менее 1 мин. Если же битумные вяжущие материалы поступили в твердом виде, то их сначала нагревают до плавления, а потом смешивают с глиной.

Для приготовления известково-глиняных растворов известковое тесто добавляют в хорошо перемешанное и процеженное глиняное молоко и после тщательного смешивания вводят заполнитель.

Глиняные растворы можно долго хранить под мокрой рогожей и мешковиной. Глиноизвестковые растворы пригодны для использования в течение двух-трех суток с момента приготовления. Глиноцементные растворы нужно использовать до того, как начнет схватываться цемент, т. е. не позднее чем через 1...2 ч после их затворения.

Известковые растворы хорошо сцепляются с кирпичными, шлакобетонными и деревянными поверхностями, несколько хуже — с бетонными поверхностями. Поэтому при оштукатуривании бетонной поверхности первый слой (обрызг) выполняют цементным или известково-цементным раствором.

Известковые растворы на воздушной извести достаточно прочны при эксплуатации в сухих условиях, а растворы на гидравлической извести пригодны для оштукатуривания фасадов и других поверхностей, подвергающихся увлажнению. Работать с известковыми растворами легко благодаря их большой пластичности. Однако эти растворы медленно схватываются и твердеют.

Для штукатурных растворов используют хорошо выдержанную полностью погасившуюся известь. Если известь свежегашеная, ее пропускают через сито с ячейками размером 0,315...0,25 мм, чтобы в раствор не попали плохо погасившиеся частицы, которые могут вызвать в штукатурном слое отколы («дутики»).

Известь лучше вводить в раствор в виде известкового молока. Для этого известковое тесто размешивают в том количестве воды, которое необходимо для приготовления раствора, и полученную жидкость — известковое молоко — перемешивают с песком.

Поскольку известковые растворы твердеют медленно, их можно приготовлять большими порциями для работы в течение 2...3 сут. Загустевший раствор доводят до рабочей консистенции, добавляя в него воду и тщательно перемешивая.

Растворы для оштукатуривания под роспись фреской. Фреской называют роспись водными красками по свеженанесенной сырой известковой штукатурке (см. § 18.5). Для того чтобы роспись была долговечной, штукатурный слой должен быть пористым. Это способствует лучшему сцеплению с ним окрасочного слоя, а также проникновению в него влаги и углекислого газа, необходимых для твердения раствора. Известь применяют только 1-го сорта в виде теста, выдержанного в течение длительного времени. Заполнителем служит чистый, хорошо промытый песок.

Для лицевого слоя применяют кварцевый песок с зернами крупностью не более 0,6 мм. Соотношение между объемом извести и песка 1 : 2.

Накрывочные известковые смеси для бесшпатлевочной штукатурки применяют для отделки внутренних помещений жилых, культурно-бытовых и промышленных зданий. К таким смесям относятся жирные известковые растворы на мелком песке (бесшпатлевочная и беспесчаная накрывки и комбинированные отделочные составы). Их наносят на слои обрызга и грунта тонким слоем (не более 2 мм). После затвердевания их поверхность не требует шпатлевания и шлифования перед окрашиванием.

Раствор для бесшпатлевочной штукатурки приготовляют на хорошо выдержанном жирном известковом тесте и песке крупностью не более 0,5 мм. Если тесто очень жирное, то применяют раствор состава 1 : 2, а если тощее — состава 1 : 0,5. Очень часто приготовляют раствор состава 1 : 1. Для удобства работы с раствором в него добавляют гипсовое вяжущее (до 5 % от массы извести). Такой раствор следует использовать до начала схватывания гипсового вяжущего, иначе прочность его понижается. Подвижность раствора должна соответствовать погружению эталонного конуса на 6...7 см.

Известково-гипсовые растворы. Недостаток известковых растворов — их медленное твердение. Ускоряют твердение, добавляя гипсовое вяжущее. Рекомендуются следующие составы известково-гипсовых растворов (части по объему): для обрызга — 1: (0,3...1) : (2...3); для грунта — 1 : (0,5...1,5) : (1,5...2); для накрывки — 1 : (1...1,5) : 0.

Известково-гипсовые растворы без замедлителя схватывания начинают затвердевать через 4...5 мин после затворения водой. Поэтому при большом объеме штукатурных работ в такой раствор вводят замедлители схватывания: мездровый или костный (столярный) клей, квасцы, буру в виде водных растворов.

При использовании известково-гипсовых растворов, особенно для накрывочного слоя, следует помнить, что полностью поверхность штукатурки должна быть обработана до начала схватывания гипсового вяжущего.

Раствор для беспесчаной накрывки приготовляют из смеси извести с гипсовым вяжущим. Известь размешивают в воде, приготовляя известковое молоко. В молоко небольшими порциями добавляют при непрерывном перемешивании гипсовое вяжущее. Состав раствора (мас. ч.) для влажной штукатурки 1 : 3, слегка влажной — 1 : 2, сухой — 1 : 1. Начало схватывания таких растворов наступает через 5...15 мин. После приготовления их сразу укладывают в дело. Добавлять воду в раствор, чтобы повысить его подвижность, после начала схватывания нельзя, так как это понижает прочность раствора.

Растворы на негашеной порошкообразной извести. Такие растворы через 5...10 мин после затворения теряют подвижность, и

через 20...30 мин начинают схватываться. Кроме того, спустя 15...20 мин после затворения температура этих растворов поднимается и может доходить до 100° С. Для улучшения свойств в такие растворы вводят добавки, уменьшающие скорость гашения порошкообразной извести,— глину, гипсовое вяжущее, цемент (табл. 11.6).

Таблица 11.6. **Составы штукатурных растворов на молотой извести 1-го сорта (в частях по объему на 1 ч. извести)**

Обозначение состава	Глина	Гипсовое вяжущее	Цемент	Природный песок	Шлаковый песок
А	1	—	—	6...7	—
Б	0,5	—	—	3,5...4	—
В	0,3	—	—	4...5	—
Г	1	0,6	—	8...10	—
Д	—	—	—	—	4...5
Е	—	—	0,5	3,5...4	—
Ж	—	0,5...2	—	4	—

Примечания: 1. Зимой природный песок заменяют шлаковым или на одну часть уменьшают количество песка. 2. Растворы В и Г применяют только для отделки сухих помещений, Ж — *для вытягивания тяг.*

Применение молотой негашеной извести позволяет значительно быстрее получать достаточно прочный штукатурный слой, так как при гашении извести часть воды из раствора расходуется на образование $Ca(OH)_2$, а часть испаряется в результате разогрева смеси.

Цементные растворы. Растворы на цементах (портландцементе, шлакопортландцементе) стоят дороже, чем растворы на других вяжущих. Кроме того, они менее пластичны, следовательно, менее удобны в работе. Поэтому такими растворами оштукатуривают наружные стены и помещения с повышенной влажностью (более 60 %), а также конструкции, на которых требуется создать штукатурный слой повышенной прочности. Для штукатурных работ рекомендуются следующие составы цементных растворов (части по объему): для обрызга 1 : (2,5—4); для грунта 1 : (2—3); для накрывки 1 : (1—1,5).

Когда цементный раствор используют для накрывочного слоя, его нужно затирать до начала схватывания цемента.

Пластичность цементных растворов повышают, вводя в них пластифицирующие добавки: пластификаторы ЛСТ, СДБ, суперпластификатор, а также ПВА дисперсию или синтетический латекс. Последние добавки кроме пластифицирующего действия повышают адгезию растворных смесей и прочность штукатурного слоя. Также можно использовать добавку гидрофобизирующей жидкости — ГКЖ-94. В растворы марок 100 и выше пластификатор добавляют обязательно. Этим снижают расход цемента и повышают водоудерживающую способность смеси.

11.7. ДЕКОРАТИВНЫЕ РАСТВОРЫ

Декоративные растворы применяют в качестве штукатурок и для настилки полов в качестве замены отделки природным камнем или для создания художественно-декоративного эффекта на отделываемой поверхности. В XIX в. большой популярностью пользовался искусственный мрамор, получаемый на основе цветных гипсовых растворов. В настоящее время он используется редко. Декоративные штукатурки на основе портландцемента, пигментов и различных декоративных заполнителей из-за большой трудоемкости также находят ограниченное применение. Большую популярность начинают приобретать облицовочные изделия, получаемые из подобных смесей заводским методом. Во всех случаях они имитируют природный камень.

Как правило, применяют готовые сухие смеси. В качестве вяжущего используется белый или цветной портландцемент. Заполнителем служит чистый кварцевый песок и каменная крошка из декоративных горных пород. Пигменты, используемые для этих целей,— в основном природные земляные, отличающиеся щелочестойкостью и высокой атмосферостойкостью (см. § 18.3).

Террацовые штукатурки получают из рассмотренных смесей путем специальной обработки затвердевшей поверхности пескоструйным методом, металлическими щетками или ударным инструментом (выбор типа обработки зависит от желаемой фактуры и вида применяемого раствора). Вместо механической обработки возможна обработка поверхности штукатурки 10 %-ным раствором соляной кислоты с последующей промывкой водой. Кислота разрушает поверхностный слой затвердевшего цемента, обнажая поверхность заполнителя.

Составы с заполнителем из кварцевого песка имитируют природный песчаник, вновь приобретающий популярность в строительстве в последние годы. Составы с мраморной или гранитной крошкой имитируют соответственно мрамор и гранит. При правильно подобранном цвете вяжущего создается эффект монолитного камня.

Штукатурка сграффито (от итал. *sgraffito* — выцарапывать) — особый вид декоративно-художественной штукатурки. При оштукатуривании поверхности этим способом наносят два или три накрывочных слоя различного цвета. Затем частично срезают («выцарапывают») верхний слой (или слои), создавая рельефный красочный рисунок.

11.8. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

Кроме обычных штукатурных и кладочных растворов в строительстве используют много разнообразных растворов специального назначения: гидроизоляционных, теплоизоляционных, акустических, рентгенозащитных, кислотоупорных и т. п. Каждый из таких растворов является штукатурным раствором, выполняющим еще одну специаль-

ную функцию. Такие растворы используют для покрытия поверхностей специальных сооружений: хранилищ, отстойников, тоннелей и т. п.

Гидроизоляционные растворы — это, как правило, жирные цементные растворы (состава 1 : 1...1 : 3), приготовленные на специальных цементах или с добавками, снижающими до минимума капиллярную пористость и (или) придающими гидрофобные свойства растворам.

Растворы на расширяющихся и напрягающих (НЦ) цементах — наиболее распространенный простой по составу и надежный вид гидроизоляционных растворов. Минимальная пористость раствора достигается за счет эффекта расширения твердеющего цемента и связывания цементом большого количества воды затворения (см. § 8.12). При этом расширение и уплотнение цементного камня идет тем интенсивнее, чем больше на него действует вода из окружающей среды.

Растворы на жидком стекле дают не только водонепроницаемые, но и непроницаемые для нефтепродуктов покрытия. Чтобы получить водонепроницаемый раствор, жидкое стекло разводят в воде и этим составом затворяют сухую цементно-песчаную смесь. Затвердевая, жидкое стекло образует на поверхности штукатурного слоя водонепроницаемую пленку. Однако эта пленка может разрушаться под действием углекислого газа, содержащегося в воздухе, поэтому накрывку обычно выполняют жирным цементным раствором и поверхность железнят (посыпают сухим цементом и заглаживают).

Растворы с жидким стеклом схватываются уже через 1...2 мин после их затворения. Схватывание происходит тем быстрее, чем больше в растворе жидкого стекла. Поэтому приготовлять раствор надо малыми порциями, сразу же их используя. Быстрое схватывание растворов на жидком стекле позволяет заделывать ими такие трещины, из которых сочится вода.

Водонепроницаемые штукатурки получают также из *растворных смесей с алюминатом натрия* ($Na_2O \cdot Al_2O_3$). Эти растворы используют реже, чем растворы на жидком стекле, так как они раздражающе действуют на кожу и слизистые оболочки. Растворы с алюминатом натрия применяют для заделки трещин в бетоне, через которые просачивается вода, для устройства водонепроницаемых штукатурок по сырым, невысыхающим поверхностям бетона и каменной кладки, а также для устройства водонепроницаемых цементных стяжек в санузлах.

Для приготовления штукатурных растворов сухую цементно-песчаную смесь состава 1 : (2...3) затворяют 2...3 %-ным раствором алюмината натрия. Растворы эти приготовляют на портландцементе марки 400...500.

Растворы с органическими добавками. К таким растворам относятся полимерцементные растворы, содержащие 10...15 % (в пересчете на сухое вещество) водных дисперсий полимеров (поливинилацетата,

синтетических каучуков, акриловых полимеров и др.). Такие растворы имеют высокую адгезию к любым основаниям и низкую проницаемость для воды, нефтепродуктов и других жидкостей.

Предшественником полимерцементных растворов были *церезитовые растворы.* Церезит представляет собой водную дисперсию сметанообразной консистенции (концентрации 30...40 %), получаемую из олеиновой кислоты, извести и водного раствора сернокислого аммония. В раствор церезит вводят в виде церезитового молока (1 масс. ч. церезита на 10 масс. ч. воды). Церезит используют с жирными цементными растворами, в которых он заполняет поры и придает ему гидрофобные свойства. Церезитовые растворы используют не позднее чем через 1 ч после их приготовления. Недостаток церезитовых растворов — пониженные адгезионные свойства.

Аналогичные растворы могут быть получены добавкой *битумных эмульсий и паст* в растворные смеси на основе цементных вяжущих.

Гидрофобизированные растворы получают, вводя в состав растворной смеси кремнийорганические полимерные продукты (например, ГКЖ-94).

Растворы для оштукатуривания печей. Кирпичные печи в большинстве случаев оштукатуривают глиняными растворами. Состав этих растворов зависит от жирности глины. Так, для глины средней жирности оптимальный состав раствора 1 : 2.

Лучшие результаты дают смешанные растворы с добавкой асбеста; например, глиноизвестковые или глиноцементные состава 1 : 1 : 2 с добавкой 0,1 ч асбеста. При составлении таких растворов асбест перемешивают с песком или с цементно-песчаной смесью. Затворяют смесь глиняным или известковым молоком.

Теплоизоляционные растворы получают, используя в качестве заполнителя пористые материалы (вспученный перлит, керамзитовый песок, опилки и т. п.). Составы и способы их приготовления не отличаются от составов и способов приготовления растворов с песчаным заполнителем; обычно несколько увеличивается время перемешивания.

Акустические растворы. Чтобы снизить шумы в помещениях, например, радиостудиях, их стены оштукатуривают акустическими растворами (см. § 17.4). Для этого применяют легкие растворы плотностью 600...1200 кг/м^3, заполнителем в которых служат пористые пески крупностью 3...5 мм, получаемые из пемзы, шлаков, вспученного перлита, керамзита и др. Так, например, производят сухие гипсоперлитовые смеси для устройства теплоизоляционных и акустических штукатурок. В состав таких смесей входят песок из вспученного перлита, гипс и замедлитель схватывания.

Огнезащитные растворы имеют состав, аналогичный акустическим и теплоизоляционным растворам, но с добавлением асбеста или ми-

нераловатных гранул. В качестве связующего рекомендуется гипсовое вяжущее.

Рентгенозащитные растворы. Это тяжелые растворы с плотностью более 2200 кг/м^3, применяемые для оштукатуривания рентгеновских кабинетов и помещений, в которых ведутся работы, связанные с рентгеновским или γ-излучением. Такая штукатурка заменяет обшивку свинцовыми листами. В качестве вяжущих материалов используется портландцемент или шлакопортландцемент и *специальные тяжелые заполнители* — барит, железные руды — магнезит, лимонит и т. п. в виде песка и пыли крупностью не более 1,25 мм. Состав раствора и толщина штукатурного слоя зависят от мощности излучения и в каждом отдельном случае указывают в проекте. Удобоукладываемость и адгезионные свойства баритового раствора улучшают добавкой полимерных дисперсий. Может быть рекомендован такой состав баритового раствора (масс. ч.): молотый баритовый концентрат — 4; быстротвердеющий портландцемент — 1; поливинилацетатная дисперсия — 0,1; вода — до требуемой подвижности.

Рентгенозащитные растворы по своим свойствам близки к обычным штукатуркам, но схватываются медленнее и имеют значительно бóльшую среднюю плотность. В связи с этим штукатурный намет может сползать, поэтому наносят такие растворы тонкими слоями 4...6 мм.

Кислотоупорные растворы. Это растворы на кислотоупорном жидкостекольном вяжущем, применяемые для устройства антикоррозионных покрытий конструкций, которые в процессе эксплуатации подвергаются воздействию кислот.

В качестве вяжущего в этих растворах применяют жидкое стекло: натриевое с силикатным модулем 2,4...2,8 и плотностью 1,38...1,40 г/см^3 и калиевое с силикатным модулем 3...3,2 и плотностью 1,30...1,32 г/см^3 (см. § 8.5). Заполнителем служит природный кварцевый песок или искусственный песок, получаемый дроблением кислотостойких горных пород (андезита, бештаунита, гранита), смесь молотых диабазового литья (80 %) и природного базальта (20 %) или молотого боя керамических изделий. Предел прочности на сжатие природного камня, применяемого для изготовления песка, должен быть не менее 80 МПа, а водопоглощение — не более 2 %. В песке не должно быть глинистых примесей, зерен карбонатных пород и примесей органических веществ.

В кислотоупорные растворы кроме песка вводят тонкомолотый наполнитель — порошок из кислотостойких пород (андезита, диабаза). В наполнителе должно быть не менее 70 % зерен размером до 0,075 мм.

В качестве отвердителя растворов на жидком стекле применяют мелко измельченный кремнефтористый натрий, в количестве около 15 % от массы жидкого стекла.

Для повышения водостойкости используют специальные тонкомолотые добавки, содержащие реакционноспособный кремнезем — силикагель, опал, кремень, халцедон, диатомит, трепел. Содержание SiO_2 в добавках — 84...97 %, при этом активного (способного растворяться в щелочах и взаимодействовать с известью, увеличиваясь в объеме) кремнезема должно быть 5...22 %.

Для повышения непроницаемости кислотоупорных растворов применяют полимерные добавки, например фуриловый спирт.

Приготовляют кислотоупорные растворы непосредственно на объекте при температуре не ниже 10° С в специально отведенных для этой цели растворосмесителях. Все составляющие кислотоупорных растворов дозируют обязательно по массе, жидкое стекло можно дозировать по объему, но с учетом его плотности. В смеситель сначала загружают сухие составляющие (песок, смесь тонкомолотого наполнителя и при необходимости добавку активного кремнезема) и перемешивают их в течение 3...4 мин. Затем загружают жидкое стекло или его смесь с добавками и перемешивают состав дополнительно в течение 3...5 мин.

Готовая кислотоупорная смесь должна быть однородной, подвижностью 2...5 см. Добавлять в готовый замес жидкое стекло, воду или наполнитель не разрешается.

Приготовляют растворную смесь в таком количестве, которое может быть израсходовано не более чем за 40 мин. Если смесь загустевает до истечения 40 мин, это говорит об избытке кремнефтористого натрия и в следующих замесах его долю надо несколько уменьшить. Лучше всего заблаговременно приготовлять сухую смесь, которую можно хранить до трех суток. По мере надобности ее засыпают в смеситель с жидким стеклом в нужной пропорции.

Приготовление кислотоупорных растворов и работа с ними требуют соблюдения специальных мер безопасности. К этим работам допускаются только рабочие, обученные безопасным приемам работы и обеспеченные защитной одеждой, очками, респираторами, брезентовыми рукавицами.

Хранят жидкое стекло и кремнефтористый натрий в емкостях с плотно закрывающимися крышками.

При приготовлении сухой смеси следует по возможности избегать пыления кремнефтористого натрия. Если на кожу попадут брызги жидкого стекла, кремнефтористого натрия, фурилового спирта, эти места тщательно промывают водой.

Контрольные вопросы

1. Что называют строительными растворами? 2. Как достигают необходимой удобоукладываемости и водоудерживающей способности растворной смеси? 4. В чем заключается смысл смешанных растворов? 5. Области применения строительных растворов. 6. Какие виды декоративных растворов вы знаете?

ГЛАВА 12. БЕТОНЫ

12.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Бетон — искусственный каменный материал, получаемый в результате формования и затвердевания бетонной смеси. Бетонной смесью называют перемешанную до однородного состояния пластичную смесь, состоящую из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок.

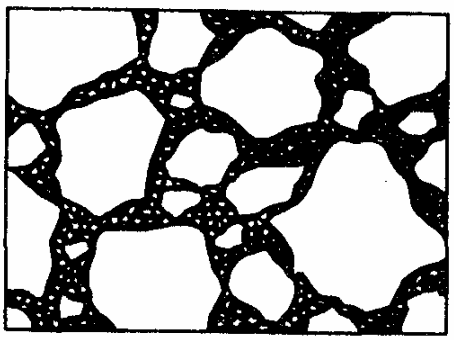
Состав бетонной смеси подбирают таким образом, чтобы при данных условиях твердения бетон обладал заданными свойствами (прочностью, морозостойкостью, плотностью и др.).

Бетон состоит из большого количества зерен заполнителя (до 80...85 % объема), связанных затвердевшим вяжущим веществом (рис. 12.1). Так как в качестве заполнителей применяют дешевые природные материалы или отходы промышленности, бетон экономически весьма эффективный материал.

Бетон известен давно. В Древнем Риме, например, из бетона на извести был построен ряд сложных инженерных сооружений. Существует мнение, что блоки внутренней части египетских пирамид также изготовлены из бетона, вяжущим в котором служила известь. Широкое применение бетона начинается после освоения промышленного производства портландцемента. Современное строительство немыслимо без бетона — бетон стал основным строительным материалом. Это объясняется его экономичностью, технологичностью и доступностью основных сырьевых материалов.

Бетонная смесь представляет собой пластично-вязкую массу, сравнительно легко принимающую любую форму и затем самопроизвольно переходящую в камневидное состояние. Таким образом легко получают каменные конструкции и изделия любой заданной формы.

В наше время получают бетоны с самыми разнообразными физико-механическими свойствами. Помимо обычного тяжелого бетона, производят легкий бетон плотностью меньшей, чем у кирпича. Такой бетон обладает хорошими теплоизолирующими свойствами и применяется для возведения стен жилых и промышленных зданий. И наоборот, при строительстве ядерных установок, например атомных электростанций, для защиты от ионизирующего излучения применяют особо тяжелые бетоны, плотность которых в 1,5...2 раза больше плотности гранита.



Р и с . 12.1. Структура бетона (частицы крупного и мелкого заполнителя — светлые, цементный камень — черный)

Прочность бетонов достигает 100 МПа, и для конструкционных бетонов предел

прочности служит основной характеристикой. Бетон —огнестойкий материал. В настоящее время получены бетоны, стойкие к самым разнообразным агрессивным воздействиям, и в том числе жароупорные бетоны, способные работать при температуре свыше 1000° С. При сочетании бетона и стали получается композиционный материал с еще более совершенными свойствами — железобетон.

По *плотности* бетоны делят на особо тяжелые (плотность более 2500 кг/м^3), тяжелые обыкновенные (2200...2500 кг/м^3), облегченные (1800...2200 кг/м^3), легкие (500...1800 кг/м^3), особо легкие теплоизоляционные (500 кг/м^3).

По *виду вяжущего* бетоны подразделяют на бетоны на неорганических и органических вяжущих. К бетонам на неорганических вяжущих относятся цементные (вяжущее — портландцемент и его разновидности), силикатные (известково-кремнеземистое вяжущее), гипсовые (гипсовые вяжущие); к бетонам на органических вяжущих: асфальтобетон (на битуме) и полимербетон (на синтетических смолах).

По *структуре* различают бетоны со слитной структурой, ячеистые и крупнопористые бетоны. Чаще других используются бетоны со слитной структурой — это обычный тяжелый бетон и легкие бетоны на пористых заполнителях. Легкие и особо легкие бетоны можно получить вспенивая тесто вяжущего — так получают бетоны ячеистой структуры (с равномерно распределенными порами размером 0,2...2 мм). Бетоны крупнопористой структуры, также относящиеся к легким бетонам, получают исключая из состава бетона мелкий заполнитель и скрепляя зерна крупного заполнителя вяжущим веществом.

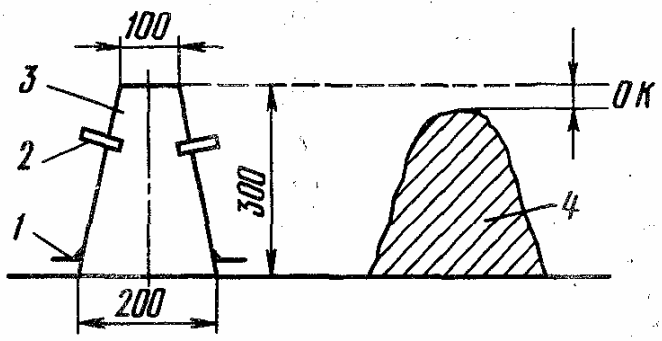
Бетоны — главнейший строительный материал. В нем сочетаются очень важные для строительства свойства: большая сырьевая база (до 85 % объема бетона — заполнители); простота технологии и достаточно высокие физико-механические свойства.

Наиболее распространен тяжелый цементный бетон. Ниже мы рассмотрим свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона на примере тяжелого цементного бетона и будем называть его просто бетон.

12.2. СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ

Бетонная смесь состоит из цементного теста, мелкого и крупного заполнителя. Каждый из этих компонентов влияет на вязкопластичные свойства смеси. Так, если увеличить содержание заполнителей, смесь становится более жесткой; если цементного теста — более пластичной и текучей. Существенно влияет на свойства бетонной смеси и вязкость цементного теста. Чем больше в цементном тесте воды, тем пластичнее получается тесто и соответственно пластичнее бетонная смесь.

Одно из основных свойств бетонной смеси — *тиксотропия* — способность разжижаться при периодически повторяющихся механиче-



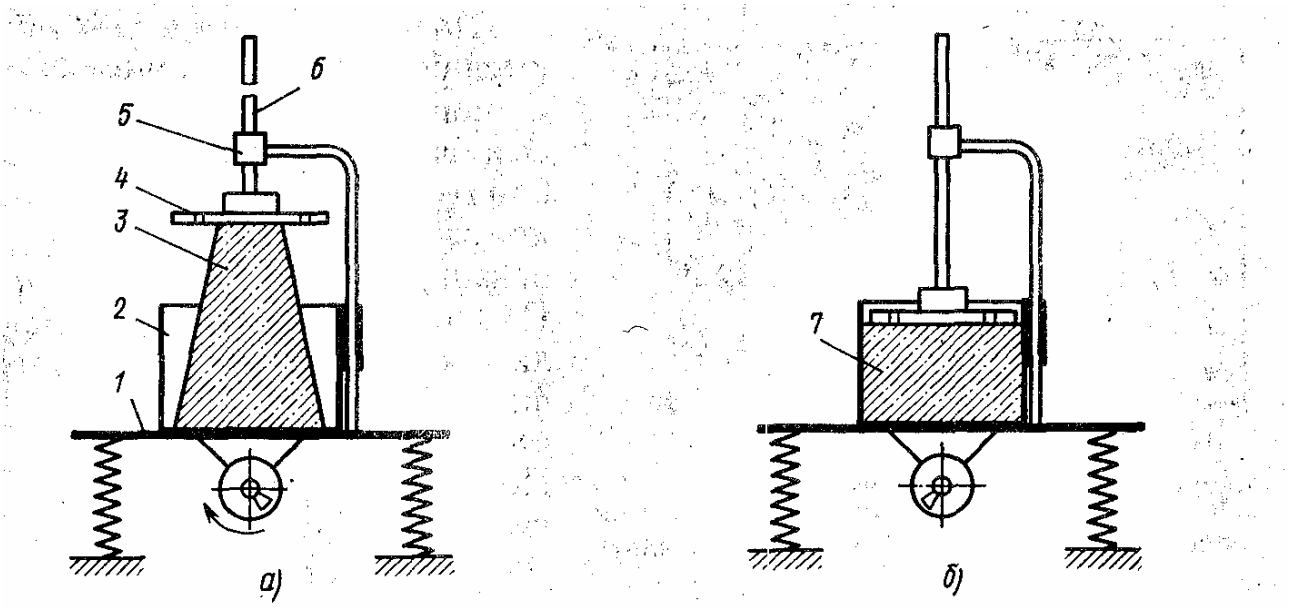
Р и с . 12.2. Определение подвижности пластичных бетонных смесей по осадке конуса (ОК):
1 — опоры; *2* — ручки; *3* — форма-конус; *4* — бетонная смесь

ских воздействиях (например, вибрации) и вновь загустевать при прекращении этого воздействия. Механизм тиксотропного разжижения заключается в том, что при вибрировании силы внутреннего трения и сцепления между частицами уменьшаются и бетонная смесь становится текучей. Это свойство широко используют при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Удобоукладываемость — обобщенная техническая характеристика вязкопластичных свойств бетонной смеси. Под удобоукладываемостью понимают способность бетонной смеси под действием определенных приемов и механизмов легко укладываться в форму и уплотняться, не расслаиваясь. Удобоукладываемость смесей в зависимости от их консистенции оценивают по подвижности или жесткости.

Подвижность служит характеристикой удобоукладываемости пластичных смесей, способных деформироваться под действием собственного веса. Подвижность характеризуется осадкой стандартного конуса, отформованного из испытуемой бетонной смеси. Для этого металлическую форму-конус, установленную на горизонтальной поверхности, заполняют бетонной смесью в три слоя, уплотняя каждый слой штыкованием. Избыток смеси срезают, форму-конус снимают и измеряют осадку конуса из бетонной смеси — ОК (рис. 12.2), значение которой (в сантиметрах) служит показателем подвижности.

Жесткость — характеристика удобоукладываемости бетонных смесей, у которых не наблюдается осадки конуса (ОК = 0). Ее определяют по времени вибрации (в секундах), необходимому для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса из бетонной смеси с помощью специального прибора (рис. 12.3), который представляет собой металлический цилиндр *2* диаметром 240 мм и высотой 200 мм со штативом и штангой *6* и металлическим диском *4* с шестью отверстиями. Прибор закрепляют на стандартной виброплощадке *1*, в него вставляют форму-конус *3*. Конус заполняют бетонной смесью в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Затем форму-конус снимают и, поворачивая штатив, опускают металлический диск *4* на поверхность бетонной смеси. После этого включают вибратор. Время, в течение которого смесь распределится в цилиндрической форме *2* равномерно



Р и с . 12.3. Схема определения жесткости (Ж) бетонной смеси:

а — прибор в начальном положении; *б* — то же, в момент окончания испытаний; *1* — виброплощадка; *2* — цилиндрическая форма; *3* — бетонная смесь; *4* — диск с отверстиями; *5* — втулка; *6* — штанга; *7* — бетонная смесь после вибрирования

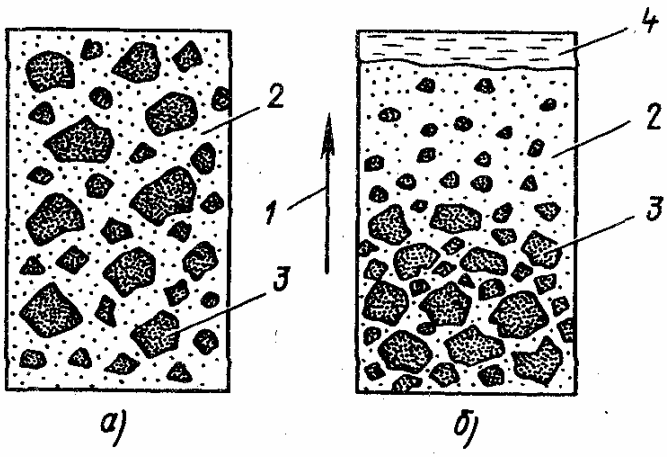
и хотя бы через два отверстия диска начнет выделяться цементное молоко, принимается за показатель жесткости смеси (Ж).

В зависимости от удобоукладываемости различают жесткие и подвижные бетонные смеси (табл. 12.1).

Жесткие бетонные смеси содержат небольшое количество воды и соответственно пониженное количество цемента в сравнении с подвижными смесями у бетонов равной прочности. Жесткие смеси требуют интенсивного механического уплотнения: длительного вибрирования, вибротрамбования и т. п. Используют такие смеси при изготовлении сборных железобетонных изделий в заводских условиях (например, на домостроительных комбинатах); в построечных условиях жесткие смеси применяют редко.

Таблица 12.1. **Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости**

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



Р и с . 12.4. Схема расслоения бетонной смеси при длительных вибрационных воздействиях:

а — свежеприготовленная смесь; *б* — расслоившаяся смесь; *1* — направление движения воды; *2* — цементно-песчаный раствор; *3* — крупный заполнитель; *4* — вода

Подвижные смеси отличаются бо́льшим расходом воды и соответственно цемента. Эти смеси представляют собой густую массу, которая легко разжижается при вибрировании. Смеси марок П3 и П4 текучие; под действием силы тяжести они заполняют форму, не требуя значительных механических усилий. Подвижные смеси можно транспортировать бетононасосами по трубопроводам.

Связность — способность бетонной смеси сохранять однородную структуру, т. е. не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения. При механических воздействиях на бетонную смесь в результате ее тиксотропного разжижения часть воды как наиболее легкого компонента отжимается вверх. Крупный заполнитель, плотность которого обычно больше плотности растворной части (смеси цемента, песка и воды), опускается вниз (рис. 12.4). Легкие заполнители (керамзит и др.), наоборот, могут всплывать. Все это делает бетон неоднородным, снижая его прочностные показатели и морозостойкость.

Указанные свойства бетонной смеси обеспечиваются правильным подбором состава бетона.

12.3. ОСНОВНОЙ ЗАКОН ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

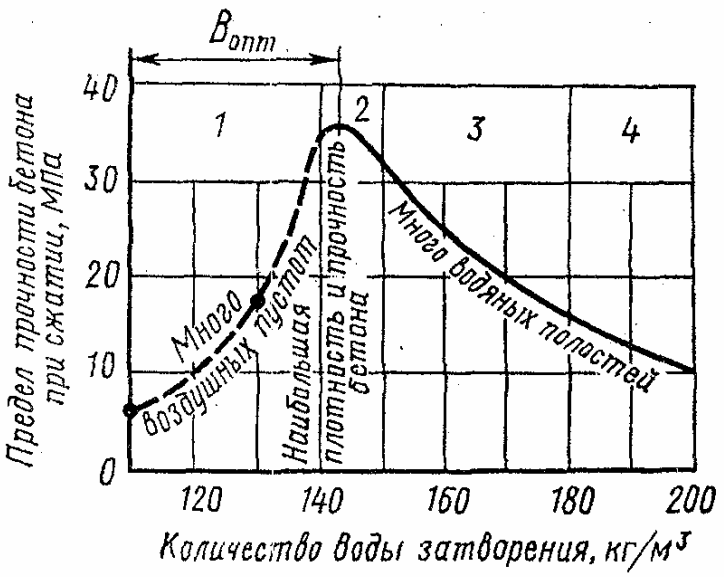
Бетон работает под нагрузкой как единый композиционный материал, и в формировании его прочности участвуют цементный камень (матрица), зерна заполнителя и контактный слой между ними. Иными словами, прочность бетона зависит от прочности составляющих его материалов и от прочности сцепления их друг с другом. Прочность заполнителя (песка, щебня, гравия) в тяжелом бетоне, как правило, выше заданной прочности бетона, поэтому мало влияет на последнюю. Таким образом, прочность бетона определяется в основном двумя факторами:

- прочностью затвердевшего цементного камня;
- прочностью его сцепления с заполнителем.

Прочность цементного камня зависит от двух факторов: активности (марки) используемого цемента ($R_ц$) и соотношения количеств цемента и воды (Ц/В).

Чем выше марка цемента, тем при прочих равных условиях будет прочнее цементный камень, так как марка цемента — это в действительности прочность модельного (мелкозернистого) бетона, отформованного и твердевшего в стандартных условиях (см. лабораторную работу № 7).

Зависимость прочности цементного камня от соотношения цемента и воды в бетонной смеси объясняется следующим. Цемент при твердении химически связывает не более 20...25 % воды от своей массы. Но чтобы обеспечить необходимую пластичность цементного теста и, соответственно, подвижность бетонной смеси, необходимо брать 40...80 % воды от массы цемента. Вода, кроме того, необходима для смачивания поверхности песка и крупного заполнителя: большая удельная поверхность заполнителя требует большего расхода воды (см. § 10.2). Естественно, чем больше в бетоне будет свободной, химически не связанной воды, тем больше впоследствии будет пор в цементном камне и соответственно ниже станет его прочность.

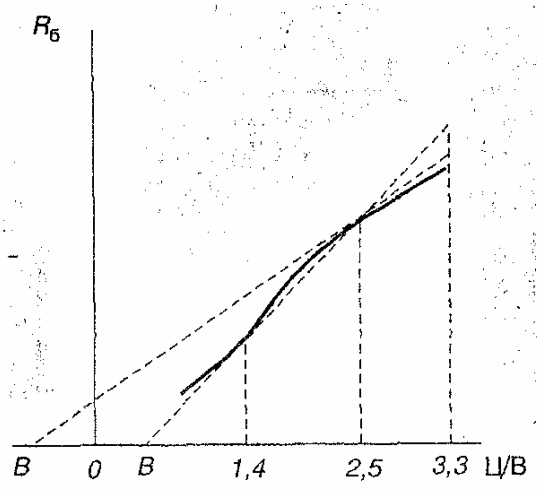


Р и с . 12.5. Кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (при неизменном расходе цемента и способе уплотнения):

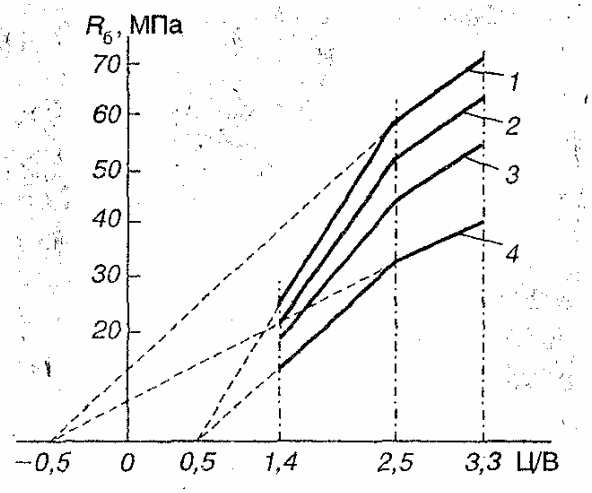
1 — слишком жесткие недоуплотненные бетонные смеси; *2* — смеси с оптимальным количеством воды затворения ($В_{опт}$); *3* — подвижные смеси; *4* — литые бетонные смеси

С другой стороны, если не обеспечить необходимую удобоукладываемость бетонной смеси, соответствующую принятому в данном конкретном случае методу уплотнения, то из-за недоуплотнения в структуре бетона появятся крупные пустоты и участки с нарушенной связью «цементный камень — заполнитель», что приведет к резкому снижению прочности бетона.

Экспериментально кривая зависимости прочности бетона от количества воды затворения (В) при постоянном расходе цемента (Ц) (т. е. фактически от В/Ц) и при одинаковом методе уплотнения (рис. 12.5) подтверждает сказанное выше. Левая ветвь кривой отвечает недоуплотненным бетонным смесям, слишком жестким для данного способа уплотнения. При возрастании количества воды затворения до известного предела бетонная смесь укладывается плотнее, уменьшается объем пустот, а прочность бетона повышается. При *оптимальном* (для данного способа уплотнения) количестве воды бетон имеет наибольшую прочность и плотность, что соответствует максимуму на кривой прочности.



Р и с . 12.6. Фактическая зависимость прочности бетона $R_б$ от цементно-водного отношения (Ц/В)



Р и с . 12.7. Прочность бетона на сжатие $R_б$ как функция Ц/В и марки цемента $R_ц$:

1 — $R_ц$ = 60 МПа; *2* — $R_ц$ = 55 МПа; *3* — $R_ц$ = 50 МПа; *4* — $R_ц$ = 40 МПа

Дальнейшее увеличение количества воды разжижает бетонную смесь, повышает ее подвижность. Однако добавляемая вода лишь частично связывается цементом, а избыток ее образует в бетоне поры — и в результате прочность бетона понижается (правая ветвь кривой).

Для каждой бетонной смеси существует оптимальное количество воды, которое позволяет получить при данном способе уплотнения бетон с минимальной пористостью и наибольшей прочностью.

Прочность сцепления между цементным камнем и заполнителем определяется в основном качеством поверхности заполнителя. Для обеспечения высокой прочности сцепления поверхность зерен заполнителя должна быть чистой и шероховатой. Например, бетон на щебне при прочих равных условиях прочнее бетона на гравии. В обобщенном виде этот показатель именуется коэффициентом качества заполнителей (*А*), а его численные значения приводятся ниже (см. лабораторную работу № 9).

Высказанные теоретические предпосылки были положены в основу экспериментальных исследований зависимости прочности бетона от Ц/В, марки цемента и качества заполнителей (под прочностью здесь и далее подразумевается марочная прочность, т. е. прочность после 28 сут твердения в стандартных условиях). Полученные экспериментальные зависимости R = (Ц/В) представляют довольно сложную кривую, имеющую точку перегиба (рис. 12.6). С некоторым приближением эту кривую в реальном интервале Ц/В (от 1,4 до 3,3) можно аппроксимировать двумя прямыми, описываемыми уравнением вида

$$R_б = AR_ц(Ц/В \pm b).$$

Приведенная формула предложена И. Боломеем и уточнена Б.Г. Скрамтаевым. Она выражает основной закон прочности бетона и используется для определения состава бетона по заданным параметрам.

Для обычных бетонов (марок ниже М500) в интервале Ц/В = =1,4...2,5 формула Боломея — Скрамтаева имеет вид

$$R_б = AR_ц(Ц/В - 0,5),$$

а для высокопрочных бетонов при Ц/В = 2,5...3,3

$$R_б = A_1R_ц(Ц/В + 0,5).$$

В графическом виде закон прочности бетона представлен на рис. 12.7.

Эта зависимость справедлива лишь при условии обеспечения плотной укладки бетонной смеси. Использование этой формулы при расчете состава бетона дано в лабораторной работе № 9.

12.4. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА

Изготовление бетонных и железобетонных конструкций включает в себя следующие технологические операции: подбор состава бетона, приготовление и транспортирование бетонной смеси, ее укладку и уплотнение и обеспечение требуемого режима твердения бетона.

Подбор состава бетона. Состав бетона должен быть таким, чтобы бетонная смесь и затвердевший бетон имели заданные значения свойств (удобоукладываемости, прочности, морозостойкости и т. п.), а стоимость бетона при этом была возможно более низкой.

Рассчитывают состав бетона для данных сырьевых материалов, используя зависимости, связывающие свойства бетона с его составом, в виде формул, таблиц и номограмм. Общая схема расчета следующая.

Требуемая подвижность бетонной смеси обеспечивается выбором (по таблицам и графикам) необходимого количества воды (В).

Требуемая прочность бетона достигается: 1) выбором марки цемента (она, как правило, принимается в 1,5...2,5 раза выше марки бетона); 2) расчетом требуемого соотношения цемента и воды (Ц/В) по формуле основного закона прочности бетона (см. § 12.3).

Количество цемента определяется по известным значениям В и В/Ц: Ц = В : (В/Ц).

Количество крупного и мелкого заполнителей рассчитывают так, чтобы расход цемента был минимальным. Это достигается в том случае, если количество крупного заполнителя будет максимально возможным (обычно оно составляет 0,75...0,85 от объема бетона), а мелкий заполнитель (песок) заполнит пустоты между зернами крупного заполнителя.

В этом случае цементное тесто должно будет заполнить пустоты в песке и покрыть поверхность заполнителей для обеспечения связи всех частиц друг с другом (подробнее см. лабораторную работу № 9).

Увеличивая или уменьшая содержание цементного теста (но не изменяя при этом рассчитанного Ц/В), т. е. увеличивая и уменьшая долю воды в бетонной смеси, можно соответственно повысить или снизить подвижность бетонной смеси, сохраняя заданную прочность бетона.

Полученный состав бетона может быть выражен двумя способами:

- количеством составляющих (кг) для получения 1 м^3 бетона (например, цемент — 300, вода — 200, песок — 650 и щебень — 1250);
- соотношением компонентов в частях по массе или по объему; при этом количество цемента принимают за 1 (например, запись 1 : 2 : 4 при В/Ц = 0,7 означает, что на 1 ч. цемента берется 0,7 ч. воды, 2 ч. песка и 4 ч. крупного заполнителя).

При использовании влажных заполнителей необходимо учитывать содержащуюся в них воду и соответственно уменьшать количество воды затворения, чтобы суммарное количество воды было равно расчетному.

Приготовление бетонной смеси осуществляют в специальных агрегатах — бетоносмесителях разных конструкций и различной вместимости (от 75 до 4500 дм^3).

Вместимость смесителя указывается по суммарному объему сухих компонентов бетонной смеси, который может быть загружен.

При перемешивании мелкие компоненты смеси входят в межзерновые пустоты более крупных (песок в пустоты между зерен крупного заполнителя, цемент — в пустоты песка). Этому способствует введение в смеситель воды затворения. В результате объем готовой бетонной смеси составляет не более 0,6...0,7 от объема исходных сухих компонентов. Этот показатель, называемый коэффициент выхода бетонной смеси β, рассчитывают по формуле:

$$\beta = V_{бс}/(V_ц + V_п + V_к),$$

где $V_{бс}$ — объем бетонной смеси; $V_ц$, $V_п$ и $V_к$ — объемы цемента, песка и крупного заполнителя соответственно.

Так, для бетона с коэффициентом выхода 0,65 за один замес в бетоносмесителе вместимостью 500 дм^3 получится 500 · 0,65 = 325 дм^3= = 0,325 м^3 бетонной смеси.

По принципу действия различают бетоносмесители свободного падения и принудительного перемешивания.

В *бетоносмесителях свободного падения (гравитационных)* материал перемешивается в медленно вращающихся вокруг горизонтальной или наклонной оси смесительных барабанах, оборудованных внутри короткими корытообразными лопастями (рис. 12.8). Лопасти захватывают

материал, поднимают его и при переходе в верхнее положение сбрасывают. В результате многократного подъема и падения смеси обеспечивается ее перемешивание. В таких смесителях приготовляют пластичные бетонные смеси с заполнителями из плотных горных пород, т. е. смеси обычного тяжелого бетона.

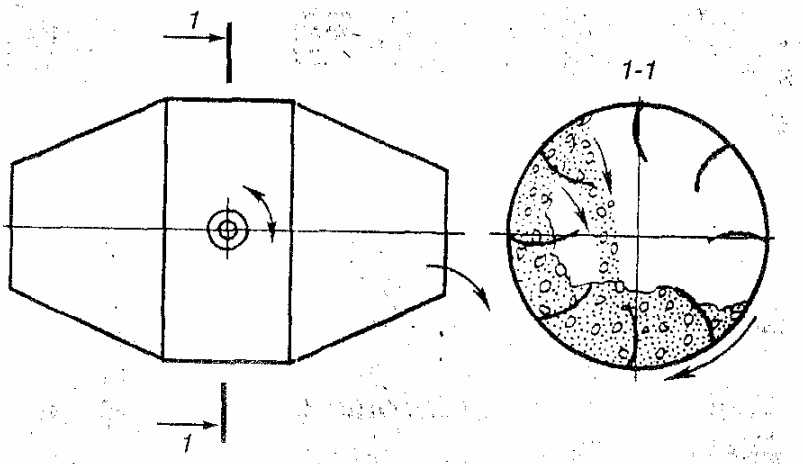


Рис. 12.8. Принцип действия бетоносмесителя свободного падения

Время перемешивания зависит от подвижности бетонной смеси и вместимости бетоносмесителя. Чем меньше подвижность бетонной смеси и больше вместимость бетоносмесителя, тем больше время, необходимое для перемешивания. Например, для бетоносмесителя 500 дм^3 оно составляет 1,5...2 мин, а для бетоносмесителя 2400 дм^3 — 3 мин и более.

Бетоносмесители принудительного перемешивания (рис. 12.9) представляют собой стальные чаши, в которых смешивание производится вращающимися лопатками, насаженными на вертикальные валы, которые также вращаются в этой чаше. Такие смесители целесообразны для приготовления смесей повышенной жесткости и смесей из легких бетонов на пористых заполнителях (пористые заполнители не могут эффективно участвовать в перемешивании смеси в гравитационных смесителях).

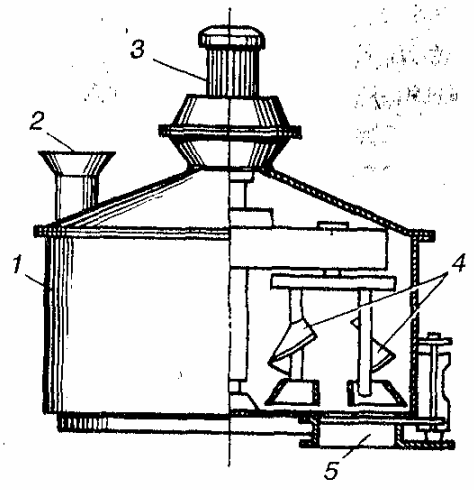


Рис. 12.9. Бетоносмеситель принудительного перемешивания:

1 — смесительный барабан; *2* — загрузочная воронка; *3* — электродвигатель; *4* — смесительные лопатки; *5* — выгрузочное устройство

Бетоносмесительные установки могут быть *передвижные* и *стационарные*. Чаще бетонные смеси приготовляют на специализированных бетонных заводах, имеющих высокую степень механизации и автоматизации. В этом случае будет выше стабильность свойств бетонной смеси и бетона. Такие готовые смеси называют товарным бетоном.

Транспортирование бетонной смеси. Обязательное требование ко всем видам транспортирования бетонной смеси — сохранение ее однородности и подвиж-

ности. На большие расстояния транспортирование осуществляется в специальных машинах — бетоновозах, имеющих грушевидную емкость. При движении емкость бетоновоза медленно вращается, постоянно подмешивая бетонную смесь. Это необходимо для того, чтобы смесь не расслаивалась от вибрации во время перевозки, что часто происходит, когда смесь транспортируют в кузовах самосвалов. В зимнее время должен быть предусмотрен подогрев перевозимой бетонной смеси.

На строительных объектах и заводах сборного железобетона смесь транспортируют в вагонетках, перекачивают бетононасосами и подают транспортерами.

Укладка бетонной смеси. Качество и долговечность бетона во многом зависят от правильности укладки, а методы укладки и уплотнения определяются видом бетонной смеси (пластичная или жесткая, тяжелый или легкий бетон) и типом конструкции. Укладка должна обеспечивать максимальную плотность бетона (отсутствие пустот) и неоднородность состава по сечению конструкции.

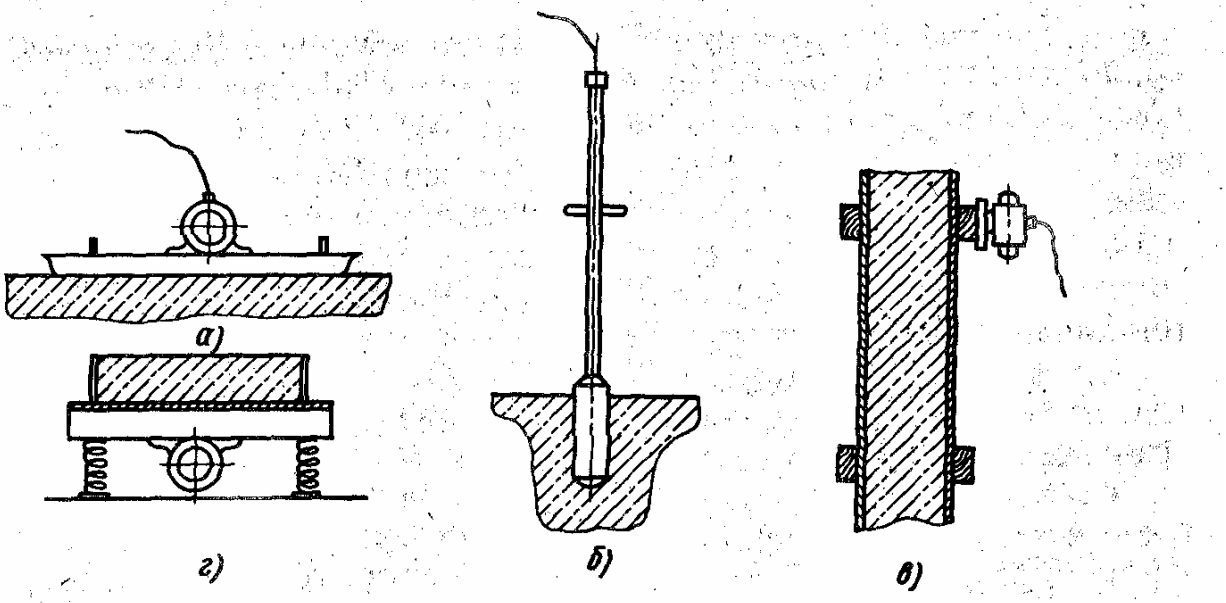
Пластичные текучие смеси уплотняются под действием собственного веса или путем штыкования, более жесткие смеси — вибрированием.

Вибрирование — наиболее эффективный метод укладки, основанный на использовании тиксотропных свойств бетонной смеси. При вибрировании частицам бетонной смеси передаются быстрые колебательные движения от источника колебаний — вибратора. Применяют главным образом электромеханические вибраторы, основная часть которых — электродвигатель. На валу электродвигателя эксцентрично установлен груз — дебаланс, при вращении которого возникают колебательные импульсы.

При вибрировании жесткая бетонная смесь как бы превращается в тяжелую жидкость, которая плотно заполняет все части формы, а воздух, содержащийся в бетонной смеси, при этом поднимается вверх и выходит из смеси. Бетонная смесь приобретает плотную структуру.

При недостаточном времени вибрирования бетонная смесь уплотняется не полностью, при слишком долгом — она может расслоиться: тяжелые компоненты — щебень, песок концентрируются внизу, а вода выступает сверху (см. рис. 12.4).

В зависимости от вида и формы бетонируемой конструкции применяют различные типы вибраторов. При бетонировании конструкций большой площади и небольшой толщины (до 200...300 мм), например бетонных покрытий дорог, полов промышленных зданий и т. п., используют *поверхностные* вибраторы (рис. 12.10, *а*), массивных элементов значительной толщины — *глубинные* вибраторы (рис. 12.10, *б*) с наконечниками различной формы и размеров. Часто применяют одновременно несколько вибраторов, которые собирают в пакеты.



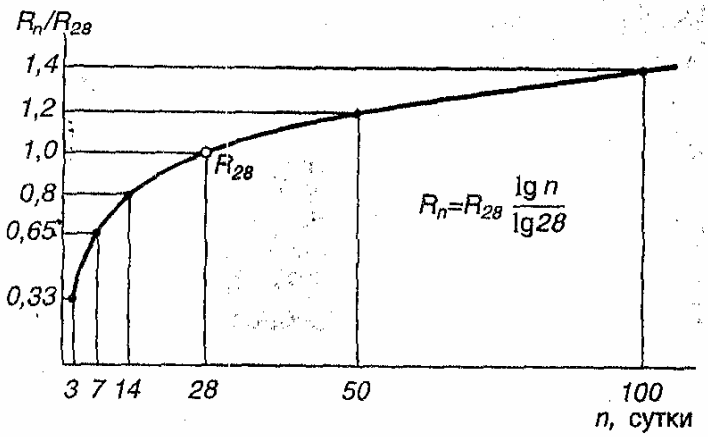
Р и с . 12.10. Вибраторы:
а — поверхностный; *б* — глубинный; *в* — навесной; *г* — стационарная виброплощадка

Тонкостенные бетонные конструкции, насыщенные арматурой (колонны, несущие стены), уплотняют *наружными* вибраторами, прикрепляемыми к поверхности опалубки (рис. 12.10, *в*). В заводских условиях при изготовлении бетонных камней, крупных блоков, панелей и других изделий пользуются *виброплощадками* (рис. 12.10, *г*), на которые устанавливают формы с бетонной смесью.

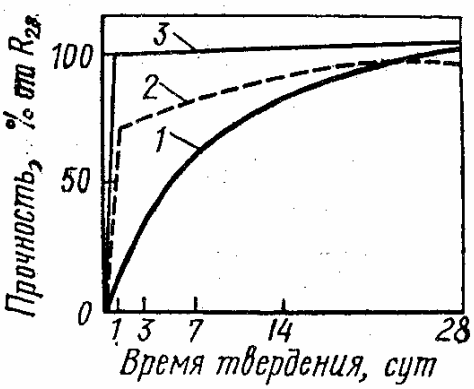
Твердение бетона. Нормальный рост прочности бетона происходит при положительной температуре (15...25° С) и постоянной влажности. Соблюдение этих условий особенно важно в первые 10...15 сут твердения, когда бетон интенсивно набирает прочность (рис. 12.11).

Чтобы поверхность бетона предохранить от высыхания, ее покрывают песком, опилками, периодически увлажняя их. Эффективна защита поверхности бетона от испарения влаги полимерными пленками, битумными и полимерными эмульсиями.

В зимнее время твердеющий бетон предохраняют от замерзания различными методами: методом термоса, когда подогретую бетонную смесь защищают теплоизо-



Р и с . 12.11. Изменение прочности бетона во времени в условиях нормального твердения (*R* — марочная прочность бетона; *n* — время твердения, сут)



Р и с . 12.12. Кривые нарастания прочности бетона:

1 — нормальное твердение при 20° С; *2* — пропаривание при 85° С; *3* — автоклавная обработка в среде насыщенного пара при 175° С (давление пара 0,8 МПа)

ляционными материалами, и подогревом бетона во время твердения (в том числе и электропрогрев).

На заводах сборного железобетона для ускорения твердения бетона применяют тепловлажностную обработку — прогрев при постоянном поддерживании влажности бетона насыщенным паром при температуре 85...90° С. При этом время твердения железобетонных изделий до набора ими отпускной прочности (70...80 % марочной) сокращается до 10...16 ч (при твердении в естественных условиях для этого требуется 10...15 дн).

Для силикатных бетонов используют автоклавную обработку в среде насыщенного пара высокой температуры 175...200° С и при давлении 0,8...1,3 МПа. В этом случае процесс твердения длится 8...10 ч (рис. 12.12).

Для ускорения набора прочности бетоном применяют быстротвердеющие (БТЦ) и особо быстротвердеющие (ОБТЦ) цементы. Быстрее других достигает марочной прочности (за три дня) бетон на глиноземистом цементе, однако последний нельзя использовать при температуре окружающей среды во время твердения выше 30...35° С.

12.5. ПРОЧНОСТЬ, МАРКА И КЛАСС БЕТОНА

Тяжелый бетон — основной конструкционный строительный материал, поэтому оценке его прочностных свойств уделяется большое внимание. Прочностные характеристики бетона определяются строго в соответствии с требованиями стандартов. Используется несколько показателей, характеризующих прочность бетона. Неоднородность бетона как материала учитывается в основной прочностной характеристике — классе бетона.

Прочность. Как и у всех каменных материалов, предел прочности бетона при сжатии значительно (в 10...15 раз) выше, чем при растяжении и изгибе. Поэтому в строительных конструкциях бетон, как правило, работает на сжатие. Когда говорят о прочности бетона, подразумевают его прочность на сжатие.

Бетон на портландцементе набирает прочность постепенно. При нормальной температуре и постоянном сохранении влажности рост прочности бетона продолжается длительное время, но скорость набора прочности со временем затухает (см. рис. 12.11).

Прочность бетона принято оценивать по среднему арифметическому значению результатов испытания образцов данного бетона через

28 сут нормального твердения. Для этого используют образцы-кубы размером 150 х 150 х 150 мм, изготовленные из рабочей бетонной смеси и твердевшие при (20 ± 2)° С на воздухе при относительной влажности 95 % (или в иных условиях, обеспечивающих сохранение влаги в бетоне). Методы определения прочности бетона регламентированы стандартом.

Марка бетона. По среднему арифметическому значению прочности бетона устанавливают его марку — округленное значение прочности (причем округление идет всегда в нижнюю сторону). Для тяжелого бетона установлены следующие марки по прочности на сжатие: 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800 кгс/см^2. При обозначении марки используют индекс «М»; так, например, марка бетона М350 означает, что его средняя прочность не менее 35 МПа (но не более 40).

Отличительная особенность бетона — *значительная неоднородность его свойств*. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья (песка, крупного заполнителя и даже цемента), нарушением режима приготовления бетонной смеси, ее транспортировки, укладки (степени уплотнения) и условии твердения. Все это приводит к разбросу прочности бетона одной и той же марки. Чем выше культура производства (лучше качество подготовки материалов, приготовления и укладки бетона и т. п.), тем меньше будут возможные колебания прочности бетона. Для строителя важно получить бетон не только с заданной средней прочностью, но и с минимальными отклонениями (особенно в низшую сторону) от этой прочности. Показателем, который учитывает возможные колебания качества бетона, является класс бетона.

Класс бетона — это численная характеристика какого-либо его свойства (в том числе и прочности), принимаемая с гарантированной обеспеченностью (обычно 0,95). Это значит, что установленное классом свойство, например прочность бетона, достигается не менее чем в 95 случаях из 100.

Понятие «класс бетона» позволяет назначать прочность бетона с учетом ее фактической или возможной вариации. Чем меньше изменчивость прочности, тем выше класс бетона при одной и той же средней прочности.

ГОСТ 26633—85 устанавливает следующие классы тяжелого бетона по прочности на сжатие (МПа): 3,5; 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 32,5; 40; 45; 50; 55 и 60. Класс по прочности на сжатие обозначают латинской буквой В, справа от которой приписывают его гарантированную прочность в МПа. Так, у бетона класса В15 предел прочности при сжатии не ниже 15 МПа с гарантированной обеспеченностью 0,95.

Соотношение между классами и марками бетона неоднозначно и зависит от однородности бетона, оцениваемой с помощью коэффициента вариации. Чем меньше коэффициент вариации, тем однороднее бетон.

Класс бетона одной и той же марки заметно увеличивается при снижении коэффициента вариации. Так, при марке бетона М300 и коэффициенте вариации 18 % класс бетона будет В15, а при коэффициенте вариации 5 % — В20, т. е. на целую ступень выше. Это показывает, как важно тщательное выполнение всех технологических операций и повышение культуры производства. Только в этом случае достигается высокая однородность бетона и более высокий класс его прочности при неизменном расходе цемента.

Строительными нормами принят нормативный коэффициент вариации прочности бетона, равный 13,5 % и характеризующий технологию бетонных работ как удовлетворительную.

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и его марками при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 %, приведено в табл. 12.2.

Таблица 12.2. **Соотношение между марками и классами тяжелого бетона по прочности при коэффициенте вариации 13,5 %**

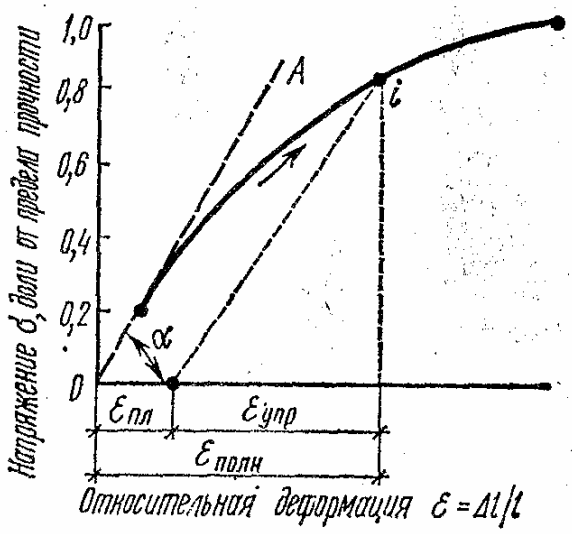
Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см^2	Ближайшая марка бетона	Класс бетона	Средняя прочность данного класса, кгс/см^2	Ближайшая марка бетона
В3,5	46	М50	В30	393	М400
В5	65	М75	В35	458	М450
В7,5	98	М100	В40	524	М550
В10	131	М150	В45	589	М600
В12,5	164	М150	В50	655	М600
В15	196	М200	В55	720	М700
В20	262	М250	В60	786	М800
В25	327	М350			

12.6. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

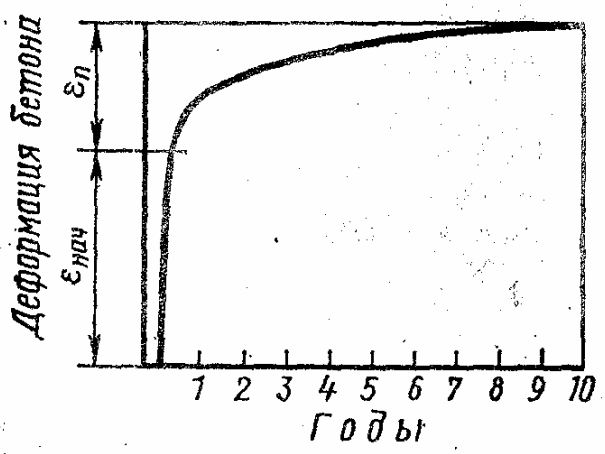
К основным свойствам тяжелого бетона, кроме прочности, относят: пористость, деформативность (модуль упругости, ползучесть, усадку), водопроницаемость, морозостойкость, теплофизические свойства и др.

Деформативность бетона. Бетон под нагрузкой ведет себя не как идеально упругое тело (например, стекло), а как упруго-вязко-пластичное тело (рис. 12.13). При небольших напряжениях (не более 0,2 от предела прочности) бетон деформируется, как упругий материал. При этом его начальный модуль упругости зависит от пористости и прочности и составляет для тяжелых бетонов (2,2...3,5) · 10^4 МПа (у сильнопористых ячеистых бетонов модуль упругости около $1 \cdot 10^4$ МПа).

При бо́льших напряжениях начинает проявляться пластическая (остаточная) деформация, развивающаяся в результате роста микро-



Р и с . 12.13. Кривая деформирования бетона в координатах σ — ε



Р и с . 12.14. Развитие деформаций бетона во времени:

$\varepsilon_{нач}$ — начальная деформация бетона в момент нагружения; $\varepsilon_{п}$ — деформация ползучести

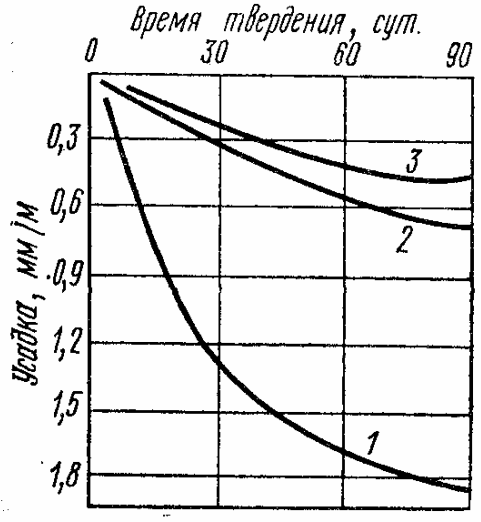
трещин и пластических деформаций гелевой составляющей цементного камня.

Ползучесть — склонность бетона к росту пластических деформаций при длительном действии статической нагрузки. Ползучесть бетона также связана с пластическими свойствами цементного геля и микротрещинообразованием. Она носит затухающий во времени характер (рис. 12.14). Абсолютные значения ползучести зависят от многих факторов. Особенно активно ползучесть развивается, если бетон нагружается в раннем возрасте. Ползучесть можно оценивать двояко: как положительный процесс, помогающий снижать напряжения, возникающие от термических и усадочных процессов, и как отрицательное явление, например, снижающее эффект от предварительного напряжения арматуры.

Усадка — процесс сокращения размеров бетонных элементов при их нахождении в воздушно-сухих условиях. Основная причина усадки — сжатие гелевой составляющей при потере воды. Усадка бетона тем выше, чем больше объем цементного теста в бетона (рис. 12.15). В среднем усадка тяжелого бетона составляет 0,3...0,4 мм/м.

Вследствие усадки бетона в бетонных и железобетонных конструкциях могут возникнуть большие усадочные напряжения, поэтому элементы большой протяженности разрезают усадочными швами во избежание появления трещин. При усадке бетона 0,3 мм/м в конструкции длиной 30 м общая усадка составит 10 мм. Усадочные трещины в бетоне на контакте с заполнителем и в самом цементном камне могут снизить морозостойкость и послужить очагами коррозии бетона.

Пористость. Как это ни покажется странным, такой плотный на вид материал имеет заметную пористость. Причина ее возникновения,



Р и с . 12.15. Кривые усадки при твердении на воздухе:
1 — цементного камня; *2* — раствора; *3* — бетона

как это уже не раз говорилось, кроется в избыточном количестве воды затворения. Бетонная смесь после правильной укладки представляет собой плотное тело. При твердении часть воды химически связывается минералами цементного клинкера (для портландцемента около 0,2 от массы цемента), а оставшаяся часть постепенно испаряется, оставляя после себя поры. В этом случае пористость бетона можно определить по формуле

$$П = [(В - \omega \cdot Ц)/1000]100,$$

где В и Ц — расходы воды и цемента на 1 м^3 (1000 дм^3); ω — количество химически связанной воды в долях от массы цемента.

Так, в возрасте 28 сут цемент связывает 17 % воды от своей массы; расход воды в этом бетоне — 180 кг, а цемента — 320 кг. Тогда пористость этого бетона будет:

$$П = [(180 - 0{,}17 \cdot 320)/1000]100 = 12{,}6\ \%.$$

Это общая пористость, включающая микропоры геля и капиллярные поры (объем вовлеченного воздуха мы не рассматриваем). С точки зрения влияния на проницаемость и морозостойкость бетона важно количество капиллярных пор. Относительный объем таких пор можно вычислить по формуле, %:

$$П_к = [(В - 2\omega Ц)/1000]100.$$

Для нашего случая количество капиллярных пор будет — 7,1 %.

Водопоглощение и проницаемость. Благодаря капиллярно-пористому строению бетон может поглощать влагу как при контакте с ней, так и непосредственно из воздуха. Гигроскопическое влагопоглощение у тяжелого бетона незначительно, но у легких бетонов (а в особенности у ячеистых) может достигать соответственно 7...8 и 20...25 %.

Водопоглощение характеризует способность бетона впитывать влагу в капельно-жидком состоянии; оно зависит, главным образом, от характера пор. Водопоглощение тем больше, чем больше в бетоне капиллярных сообщающихся между собой пор. Максимальное водопоглощение тяжелых бетонов на плотных заполнителях достигает 4...8 % по массе (10...20 % по объему). У легких и ячеистых бетонов этот показатель значительно выше.

Большое водопоглощение отрицательно сказывается на морозостойкости бетона. Для уменьшения водопоглощения прибегают к гидрофобизации бетона, а также к устройству паро- и гидроизоляции конструкций.

Водопроницаемость бетона определяется в основном проницаемостью цементного камня и контактной зоны «цементный камень — заполнитель»; кроме того, путями фильтрации жидкости через бетон могут быть микротрещины в цементном камне и дефекты сцепления арматуры с бетоном. Высокая водопроницаемость бетона может привести его к быстрому разрушению из-за коррозии цементного камня.

Для снижения водопроницаемости необходимо применять заполнители надлежащего качества (с чистой поверхностью), а также использовать специальные уплотняющие добавки (жидкое стекло, хлорное железо) или расширяющиеся цементы. Последние используются для устройства бетонной гидроизоляции.

По водонепроницаемости бетон делят на марки W2; W4; W6; W8 и W12. Марка обозначает давление воды (кгс/см^2), при котором образец-цилиндр высотой 15 см не пропускает воду при стандартных испытаниях.

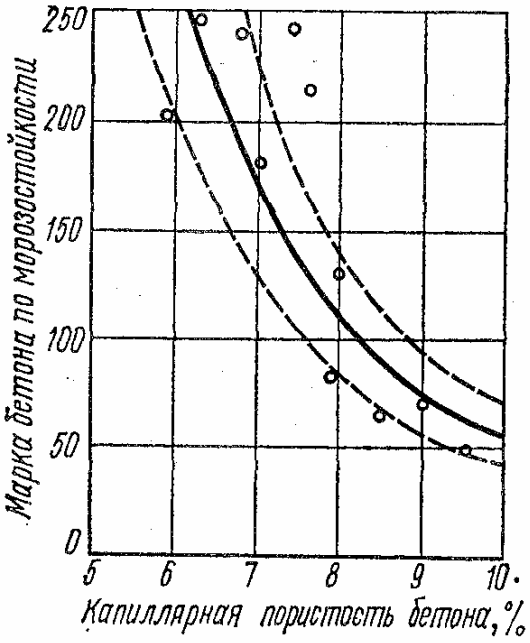
Морозостойкость — главный показатель, определяющий долговечность бетонных конструкций в нашем климате. Морозостойкость бетона оценивается путем попеременного замораживания при минус (18 ± 2)° С и оттаивания в воде при (18 ± 2)° С предварительно насыщенных водой образцов испытуемого бетона. Продолжительность одного цикла — 5...10 ч в зависимости от размера образцов.

За марку по морозостойкости принимают наибольшее число циклов «замораживания — оттаивания», которое образцы выдерживают без снижения прочности на сжатие более 5 % по сравнению с прочностью контрольных образцов в начале испытаний. Установлены следующие марки бетона по морозостойкости: F25; F35; F50; F75; F100...F1000. Стандартом предусмотрены и ускоренные методы испытаний в растворе соли или глубоким замораживанием до минус (50 ± 5)° С.

Причиной разрушения бетона в рассматриваемых условиях является капиллярная пористость (рис. 12.16). Вода по капиллярам попадает внутрь бетона и, замерзая там, постепенно разрушает его структуру. Так, бетон, пористость которого мы рассчитывали выше, в соответствии с рис. 12.16 должен иметь морозостойкость F150...F200.

Для получения бетонов высокой морозостойкости необходимо добиваться минимальной капиллярной пористости (не выше 6,5...6 %). Это возможно путем снижения содержания воды в бетонной смеси, что, в свою очередь, возможно путем использования:

- жестких бетонных смесей, интенсивно-уплотняемых при укладке;



Р и с . 12.16. Зависимость морозостойкости от капиллярной пористости:

—— — усредненная кривая; ----- — область возможных значений

• пластифицирующих добавок, повышающих удобоукладываемость бетонных смесей без добавления воды.

Есть еще один путь повышения морозостойкости бетона — гидрофобизация (объемная или поверхностная); в этом случае снижается водопоглощение бетона и соответственно повышается его морозостойкость.

Теплофизические свойства. Из них важнейшими являются теплопроводность, теплоемкость и температурные деформации.

Теплопроводность тяжелого бетона даже в воздушно-сухом состоянии велика — около 1,2...1,5 Вт/(м · К), т. е. в 1,5...2 раза выше, чем у кирпича. Поэтому использовать тяжелый бетон в ограждающих конструкциях можно только совместно с эффективной теплоизоляцией. Легкие бетоны (см. § 12.7), в особенности ячеистые, имеют невысокую теплопроводность 0,1...0,5 Вт/(м · К), и их применение в ограждающих конструкциях предпочтительнее.

Теплоемкость тяжелого бетона, как и других каменных материалов, находится в пределах 0,75...0,92 Дж/(кг · К); в среднем — 0,84 Дж/(кг · К).

Температурные деформации. Температурный коэффициент линейного расширения тяжелого бетона (10...12) · $10^{-6}К^{-1}$. Это значит, что при увеличении температуры бетона на 50° С расширение составит примерно 0,5 мм/м. Поэтому во избежание растрескивания сооружения большой протяженности разрезают температурными швами.

Большие колебания температуры могут вызвать внутреннее растрескивание бетона из-за различного теплового расширения крупного заполнителя и цементного камня.

12.7. ЛЕГКИЕ БЕТОНЫ

Существенный недостаток обычно тяжелого бетона — большая плотность (2400...2500 кг/м^3). Снижая плотность бетона, строители достигают как минимум двух положительных результатов:

• снижается масса строительных конструкций;

• повышаются их теплоизоляционные свойства.

Легкие бетоны (в начале XX в. их называли «теплые бетоны») — бетоны с плотностью менее 1800 кг/м^3 — универсальный материал для ограждающих и несущих конструкций жилых и промышленных зданий.

Из них изготовляют большинство стеновых панелей и блоков, плит кровельных покрытий и камней для укладки стен. Термин «легкие бетоны» объединяет большую группу различных по составу, структуре и свойствам бетонов.

По *назначению* легкие бетоны подразделяют на:

- конструктивные (класс прочности — В7,5...В35; плотность — 1400...1800 кг/м^3);
- конструктивно-теплоизоляционные (класс прочности не менее В3,0, плотность — 600...1400 кг/м^3);
- теплоизоляционные — особо легкие (плотность < 600 кг/м^3).

По *строению и способу получения* пористой структуры легкие бетоны подразделяют на следующие виды:

- бетоны слитного строения на пористых заполнителях;
- ячеистые бетоны, в составе которых нет ни крупного, ни мелкого заполнителя, а их роль выполняют мелкие сферические поры (ячейки);
- крупнопористые, в которых отсутствует мелкий заполнитель, в результате чего между частицами крупного заполнителя образуются пустоты.

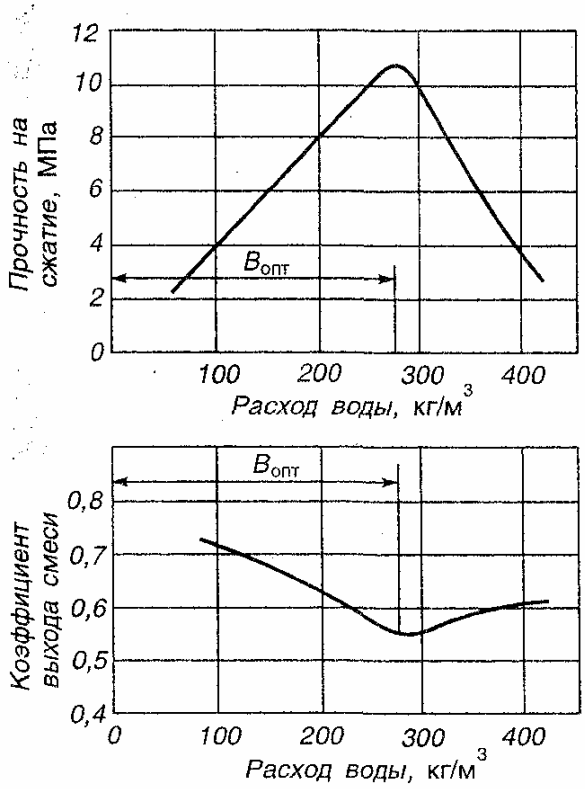
Легкие бетоны на пористых заполнителях — наиболее распространенный вид легких бетонов. Свидетельства их применения известны еще в Древнем Риме. Для получения легких бетонов тогда использовали природный заполнитель — пемзу и туф, а также бой керамики и даже пустые глиняные сосуды. В настоящее время эти заполнители также используют как местный материал.

Широкое развитие легкие бетоны получили во второй половине XX в., когда началось массовое производство искусственных пористых заполнителей: керамзита, аглопорита, шлаковой пемзы и др. (подробнее см. § 10.3).

Теория легких бетонов. Легкие бетоны существенно отличаются от тяжелых тем, что пористые заполнители активно поглощают воду. Связь прочности и В/Ц у легких бетонов носит более сложный характер, чем у тяжелых.

Теория легких бетонов была разработана Н.А. Поповым в 30-х годах. Суть ее сводится к следующему. Наивыгоднейшее сочетание показателей плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для легких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что требует максимально сближенного размещения зерен заполнителя в объеме бетона. В этом случае будет достигнуто минимальное содержание цементного камня, являющегося самой тяжелой частью легкого бетона.

Наибольшее насыщение объема бетона пористым заполнителем возможно только при правильном подборе зернового состава крупного и мелкого заполнителей с одновременным использованием техноло-



Р и с . 12.17. Зависимость прочности легкого бетона и коэффициента его выхода от расхода воды затворения ($B_{опт}$ — оптимальный расход воды)

гических факторов (пластификаторов и интенсивного уплотнения), обеспечивающих плотную упаковку зерен.

Показателем плотности упаковки зерен в бетонной смеси служит коэффициент выхода β, определяемый как отношение объема бетонной смеси $V_{б.с}$ к сумме объемов (в рыхло-насыпном состоянии) цемента $V_ц$, мелкого $V_м$ и крупного $V_к$ заполнителей

$$\beta = V_{б.с}/(V_ц + V_м + V_к).$$

Коэффициент выхода всегда меньше единицы и составляет 0,6...0,8.

Для определения оптимального для данных конкретных условий количества воды затворения определяют расход воды, при котором коэффициент выхода будет минимальным. Этому количеству воды соответствует максимальная прочность бетона при минимальной плотности и теплопроводности (см. рис. 12.17).

Для такого оптимального количества воды прочность легкого бетона зависит от марки цемента $R_ц$ и его расхода Ц:

$$R_б = kR_ц(Ц - Ц_0),$$

где k и $Ц_0$ — параметры, определяемые опытным путем и зависящие от качества применяемого заполнителя.

Особенности технологии легких бетонов связаны со спецификой пористых заполнителей: их плотность меньше плотности воды, поверхность частиц шероховатая и они активно поглощают воду.

Низкая плотность не позволяет эффективно использовать традиционные бетоносмесители «свободного падения» (см. рис. 12.8), в которых перемешивание интенсифицируется за счет падения тяжелых зерен заполнителя. Шероховатая поверхность также затрудняет перемешивание. Поэтому для приготовления легкобетонных смесей желательно использовать смесители принудительного перемешивания.

При вибрировании легких бетонов расслоение смеси имеет обратный характер в сравнении с тяжелым. Вверх всплывают легкие зерна заполнителя, а вниз опускается цементное тесто.

Твердение цемента в легких бетонах происходит в более благоприятных условиях, чем в тяжелом бетоне, так как заполнитель, поглотивший воду во время приготовления смеси, служит как бы аккумулятором воды, обеспечивающим влажное твердение бетона в длительные сроки.

Структура и свойства легких бетонов. Пористые заполнители имеют шероховатую поверхность, поэтому сцепление цементного камня с заполнителем не является слабым звеном легких бетонов. Этому способствует также химическая активность вещества заполнителей, содержащих аморфный SiO_2, способный взаимодействовать с $Ca(OH)_2$ цементного камня. Плотность и прочность контактной зоны «цементный камень — пористый заполнитель» объясняют парадоксально высокую водонепроницаемость и прочность легких бетонов на пористых заполнителях.

Для легких бетонов установлены следующие классы по прочности (МПа) от В2 до В40. Прочность легких бетонов зависит от качества заполнителей, марки и количества использованного цемента. При этом, естественно, изменяется и плотность бетона.

Для легкого бетона установлены 19 марок по плотности (кг/м^3) от D200 до D2000 (с интервалом 100 кг/м^3). Пониженная плотность легких бетонов может быть достигнута поризацией цементного камня.

Теплопроводность легкого бетона зависит от его плотности и влажности (табл. 12.3). Увеличение объемной влажности на 1 % повышает теплопроводность бетона на 0,015...0,035 Вт/(м · К).

Таблица 12.3. **Средние значения теплопроводности легких бетонов**

Бетон	Теплопроводность, Вт/(м · К), при средней плотности бетона, кг/м^3, равной						
	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
Шлакопемзобетон	—	—	—	0,35	0,4	0,5	0,6

Морозостойкость легких бетонов при их пористой структуре довольно высокая. Рядовые легкие бетоны имеют морозостойкость в пределах F25...F100. Для специальных целей могут быть получены легкие бетоны с морозостойкостью F200, F300 и F400.

Водонепроницаемость у легких бетонов высокая и увеличивающаяся по мере твердения бетона за счет уплотнения контактной зоны «цементный камень — заполнитель», являющейся самым уязвимым местом для проникновения воды в обычном бетоне. Установлены следующие марки легких бетонов по водонепроницаемости: W0,2; W0,4; W0,6; W0,8; W1; W1,2 (давление воды, МПа, не вызывающее фильтрации при стандартных испытаниях).

Ячеистые бетоны на 60...85 % по объему состоят из замкнутых пор (ячеек) размером 0,2...2 мм. Ячеистые бетоны получают при затверде-

вании насыщенной газовыми пузырьками смеси вяжущего, кремнезимистого компонента и воды. Благодаря высокопористой структуре средняя плотность ячеистого бетона невелика — 300...1200 кг/м^3; он имеет низкую теплопроводность при достаточной прочности. Бетоны с желаемыми характеристиками (плотностью, прочностью и теплопроводностью) сравнительно легко можно получать, регулируя их пористость в процессе изготовления.

Состав и технология ячеистых бетонов. *Вяжущим* в ячеистых бетонах может служит портландцемент (или известь) с кремнеземистым компонентом. При применении известково-кремнеземистых вяжущих получаемые бетоны называют газо- и пеносиликаты.

Кремнеземистый компонент — молотый кварцевый песок, гранулированные доменные шлаки, зола ТЭС и др. Кремнеземистый компонент снижает расход вяжущего и уменьшает усадку бетона. Применение побочных продуктов промышленности (шлаков и зол) для этих целей экономически выгодно и экологически целесообразно.

Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим устанавливается опытным путем.

Для получения ячеистых бетонов используют как естественное твердение вяжущего, так и активизацию твердения с помощью пропаривания ($t = 85...90°C$) и автоклавной обработки ($t = 175°$ С). Лучшее качество имеют бетоны, прошедшие автоклавную обработку. В случае применения извести в составе вяжущего автоклавная обработка обязательна.

По способу образования пористой структуры (методу вспучивания вяжущего) различают: газобетоны и газосиликаты; пенобетоны и пеносиликаты.

Газобетон и газосиликат получают, вспучивая тесто вяжущего газом, выделяющимся при химической реакции между веществом-газообразователем и вяжущим. Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реагируя с гидратом оксида кальция, выделяет водород

$$3Ca(OH)_2 + 2Al + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + H_2\uparrow$$

Согласно уравнению химической реакции, 1 кг алюминиевой пудры выделит до 1,25 м^3 водорода, т. е. для получения 1 м^3 газобетона требуется 0,5...0,7 кг пудры.

Пенобетоны и пеносиликаты получают, смешивая тесто вяжущего с заранее приготовленной устойчивой технической пеной. Для образования пены используют пенообразователи, получаемые как модификацией побочных продуктов других производств (гидролизованная кровь, клееканифольный пенообразователь), так и синтезируемые специально (сульфанол и т. п.).

Свойства ячеистых бетонов определяются их пористостью, видом вяжущего и условиями твердения.

Как уже говорилось, пористость ячеистых бетонов — 60...85 %. Характер пор — замкнутый, но стенки пор состоят из затвердевшего цементного камня, который, как известно, пронизан порами, в том числе и капиллярными. Для движения воздуха поры в ячеистом бетоне замкнуты, а для проникновения воды — открыты. Поэтому водопоглощение ячеистого бетона довольно высокое (табл. 12.4) и морозостойкость соответственно пониженная по сравнению с бетонами слитной структуры.

Гидрофильность цементного камня и большая пористость обусловливают высокую сорбционную влажность. Это сказывается на теплоизоляционных показателях ячеистого бетона (табл. 12.4). Поэтому при использовании ячеистого бетона в ограждающих конструкциях его наружную поверхность необходимо защищать от контакта с водой или гидрофобизировать.

Таблица 12.4. **Зависимость свойств ячеистых бетонов от плотности (средние показатели)**

Характеристики	Средняя плотность бетона, кг/м^3					
	600	700	800	900	1000	1100
Прочность на сжатие, МПа	2,5	3,5	5,0	7,5	10,0	15,0
Модуль деформации, 10^{-3} МПа	1,7	2,5	3,8	5,0	7,5	10
Пористость, %	73	70	67	63	60	56
Водопоглощение (по объему), %	40	38	35	33	30	28
Теплопроводность, Вт/(м · К):						
в сухом состоянии	0,14	0,16	0,2	0,23	0,26	0,3
при влажности 8 %	0,22	0,24	0,28	0,32	0,34	0,37

Прочность ячеистых бетонов зависит от их средней плотности и находится в пределах 1,5...15 МПа. Модуль упругости ячеистых бетонов ниже, чем у обычных бетонов, т. е. они более деформативны. Кроме того, у ячеистого бетона повышенная ползучесть.

Ячеистые бетоны и изделия из них обладают хорошими звукоизоляционными свойствами, они огнестойки и легко поддаются механической обработке (пилятся и сверлятся).

Наиболее рациональная область применения ячеистых бетонов — ограждающие конструкции (стены) жилых и промышленных зданий: несущие — для малоэтажных зданий и ненесущие — для многоэтажных, имеющих несущий каркас.

Крупнопористый бетон получают при затвердевании бетонной смеси, состоящей из вяжущего (обычно портландцемента), крупного заполнителя и воды. Благодаря отсутствию песка и пониженному расходу цемента (70...150 кг/м^3), используемого лишь для склеивания

зерен крупного заполнителя, плотность крупнопористого бетона на 600...700 кг/м^3 ниже, чем у аналогичного бетона слитного строения.

Крупнопористый бетон целесообразно изготовлять на основе пористых заполнителей (керамзитового гравия, шлаковой пемзы и др.). В этом случае средняя плотность бетона составляет 500...700 кг/м^3 и плиты из такого бетона эффективны для теплоизоляции стен и покрытий зданий.

12.8. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ БЕТОНОВ

Специальные бетоны способны работать в экстремальных условиях или обладают свойствами, не характерными для обычных бетонов. Но при этом их технология и принципиальный состав остаются «бетонными».

Особо тяжелые бетоны используют для устройства конструкций, защищающих людей от рентгеновского и γ-*излучения*. Для этого в состав бетона вводят заполнители, содержащие железо, барий и другие тяжелые элементы, хорошо поглощающие жесткое ионизирующее излучение. В качестве заполнителей используют: железные руды (магнетит, лимонит), барит, металлическую дробь и т. п. Плотность таких бетонов достигает 4000...5000 кг/м^3.

Гидратные бетоны предназначены для защиты от *нейтронного* излучения. Как известно из физики, потоки нейтронов лучше всего поглощают атомы легких элементов (водорода, лития, бора). Для этих целей чаще всего используют бетоны, содержащие большое количество химически связанной воды. Этого можно добиться, используя вяжущие, образующие при твердении эттрингит — $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, а также применяя заполнители, содержащие кристаллизационную воду, например, серпентин (змеевик) $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Жаростойкие бетоны характеризуются способностью сохранять в определенных пределах физико-механические свойства при длительном воздействии высоких температур.

Для изготовления жаростойких бетонов в качестве вяжущих используют глиноземистый цемент, шлакопортландцемент и жидкое стекло. Заполнителями и тонкомолотыми наполнителями служат металлургические шлаки, бой керамических и огнеупорных изделий, базальт, андезит и т. п.

Жаростойкие бетоны приготовляют по обычной технологии, а затем в процессе работы при высоких температурах превращают в монолитный керамический материал. Из таких бетонов выполняют футеровку промышленных печей, фундаменты доменных и мартеновских печей и т. п. Применение жаростойких бетонов взамен штучных материалов снижает стоимость и ускоряет строительство.

Кислотоупорные бетоны получают на кислотоупорном цементе и кислотостойких заполнителях (подробнее см. § 8.5). Применяют кислотоупорные бетоны на химических предприятиях для облицовки несущих конструкций, устройства бетонных полов и т. п.

Пи-бетоны — группа бетонов, в которых полностью или частично в роли вяжущего выступают полимеры. К ним относятся полимерцементные бетоны, бетонополимеры и полимербетоны.

Полимерцементные бетоны — цементные бетоны, в которые на стадии приготовления смеси вводится полимерная добавка. Добавки представляют собой водные дисперсии (эмульсии, латексы) или редиспергируемые сухие порошки (как сухое молоко) тех же полимеров. Содержание полимера в полимерцементных бетонах — 5...15 % от массы цемента. Чаще других используют дисперсии полиакрилатов, поливинилацетата и его сополимеров и латексы синтетических каучуков. Полимерные добавки, образуя в бетоне самостоятельные структуры, придают бетонам высокие адгезионные свойства, значительно повышают их износостойкость, ударную прочность и прочность при изгибе. Большее распространение, чем бетоны находят полимерцементные растворы.

Бетонополимеры — бетоны, поры которых заполнены полимерами. Для достижения этого эффекта затвердевшие и высушенные бетонные элементы пропитывают жидкими мономерами или полигомерами, которые затем полимеризуются в порах бетона, переходя в твердое состояние.

После такой обработки бетон приобретает высокую прочность до 100...200 МПа, полную водонепроницаемость и очень высокую морозостойкость (F500 и выше).

В настоящее время этот метод применяют для восстановления гидроизоляционных свойств у бетонных и других каменных (например, кирпичных) конструкций. Для этого пропускающие воду бетонные конструкции пропитывают мономером, отверждающимся в порах и трещинах материала. Разработаны пропитывающие составы, проникающие во влажный бетон и вытесняющие из него воду.

Полимербетоны — бетоны, в которых вместо минерального вяжущего используется полимерное. Вяжущим, как правило, служат жидковязкие олигомеры (например, эпоксидные и полиэфирные смолы). Смола играет роль и вяжущего, и воды, обеспечивая удобоукладываемость бетонной смеси. Твердение полимербетонов происходит в результате сшивки олигомера до состояния пространственного полимера. Полимерные вяжущие придают бетону специфические свойства:

- высокую и универсальную химическую стойкость (самое важное свойство полимербетонов);
- высокую прочность (50...100 МПа) при нормальных температурах;
- водостойкость и водонепроницаемость;
- высокую износостойкость;
- низкую теплостойкость (они размягчаются при 100...200° С).

Для получения полимербетонов главным образом применяют эпоксидные и полиэфирные олигомеры (смолы). Для снижения расхода дорогого полимерного вяжущего в него вводят тонкомолотый минеральный порошок (кварц, мрамор, полевые шпаты и т. п.).

Отверждаются полимербетоны с помощью специальных веществ — отвердителей: для эпоксидной смолы обычно используют амины, а для полиэфирных смол — перекиси совместно с ускорителями. Более полного и быстрого отверждения можно добиться нагревом до 60...90° С. После отверждения полимербетоны становятся биологически инертными материалами.

Используют полимербетоны главным образом в химической промышленности, в конструкциях, где необходима высокая химическая стойкость, и при ремонте облицовок и изделий из декоративных горных пород (например, восстановление изношенных гранитных ступеней в метро). Используя отходы различной крупности, образующиеся при обработке декоративных горных пород, на полимерных вяжущих делают плиты и блоки (см. § 4.6). Эти блоки и камни можно распиливать и обрабатывать как цельный природный камень. Полимерные вяжущие при этом наполняют порошком из горной породы, чтобы слои вяжущего не были заметны.

Кроме того, из таких бетонов делают подоконные плиты, прилавки в магазинах и даже санитарно-технические приборы (раковины, ванны, джакузи и т. п.). Цвет полимербетонов может быть любой: они хорошо окрашиваются различными пигментами (в том числе и органическими) и защищают их от агрессивных воздействий внешней среды.

Асфальтовые бетоны — бетоны, широко применяемые в дорожном строительстве и часто, но не совсем верно называемые асфальтом. Термин «асфальт» (от греч. *asphaltos* — горная смола) имеет два значения:

- горная порода пористая (известняк и т. п.) или рыхлая (песок и т. п.), пропитанная природным битумом (содержание битума 2...20 %);
- искусственная смесь тонкоизмельченного минерального наполнителя (обычно порошка известняка) с битумом (12...60 %).

Природные асфальты применялись еще в глубокой древности для гидроизоляционных и дорожных работ (см. § 9.2). Искусственный асфальт используется как вяжущее для приготовления асфальтовых бетонов. Роль минерального порошка в таком вяжущем заключается не только в снижении расхода битума, но и в повышении температуры его размягчения. Это важно, например, для сохранения прочности асфальтобетона в летнее время.

Асфальтовые растворы — смесь асфальтового вяжущего с песком. Расход вяжущего — асфальта — должен быть таким, чтобы заполнить

пустоты в песке с некоторым избытком (10...15 %), необходимым для обволакивания песчинок.

Асфальтовые бетоны можно представить как смесь асфальтового раствора и крупного заполнителя; в этом случае количество асфальтового раствора берут таким, чтобы заполнить пустоты в щебне с некоторым избытком (10...15 %) для получения плотного бетона.

Плотность асфальтобетона — важная характеристика. Обычно пористость асфальтобетона — 5...7 %. Чем выше пористость, тем меньше долговечность асфальтобетона, так как при этом возрастает водопоглощение, снижается коррозионная стойкость и морозостойкость (последнее — главный фактор разрушения дорожных покрытий). Плотные асфальтобетоны (пористость < 5 %) практически водонепроницаемы и могут применяться как гидроизоляционный материал.

В отличие от бетонов на минеральных вяжущих прочность асфальтовых бетонов и растворов заметно изменяется при колебаниях температуры. Так, если при 20° С прочность асфальтобетона составляет 2,2...2,4 МПа, то при 50° С — только 0,8...1,2 МПа. При этом снижается модуль упругости и возрастает ползучесть асфальтобетона.

Асфальтовые бетоны значительно более стойки к коррозионным воздействиям, чем цементные, но боятся воздействий жидких топлив и масел. Износостойкость асфальтовых бетонов выше, чем цементных.

Асфальтовые бетоны и растворы применяют для устройства верхних покрытий дорог, аэродромов, полов промышленных зданий, плоских кровель, стяжек, а также в гидротехнике для создания гидроизоляционных слоев и экранов и заполнении компенсационных швов.

Технология асфальтобетона. Для получения пластичной удобоукладываемой асфальтобетонной смеси используют два метода:

- нагрев смеси до 140...170° С для полного разжижения битума;
- приготовление смеси на жидких битумах, гудронах (с последующим их отвердеванием за счет испарения летучих компонентов) или на битумных эмульсиях (отвердевание происходит после испарения воды).

Лучшее качество имеют «горячие» асфальтобетоны.

Укладывают и уплотняют асфальтобетонные смеси при помощи специальных асфальтоукладчиков и тяжелых катков. При малых объемах работ возможно ручное уплотнение.

> Долговечность асфальтобетона во многом зависит от качества укладки и обеспечения его сцепления с нижележащими слоями; на долговечность существенно влияет также качество основания.

Бетоны, аналогичные асфальтовым, могут быть получены на *дегтевых вяжущих,* но их использование разрешено лишь для дорожных покрытий вне населенных пунктов (см. § 9.2).

Для повышения качества асфальтобетонов битумы модифицируют полимерами (полиэтиленом, полипропиленом, синтетическими каучуками); для этой цели рационально использовать вторичное полимерное сырье и промышленные отходы.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о составе бетона. 2. Каковы физико-механические свойства бетона? 3. Расскажите о свойствах бетонной смеси. 4. Как оценивают прочность бетона? 5. Чем отличается класс бетона от его марочной прочности? 6. Почему бетон всегда имеет некоторую пористость? 7. Как подбирают состав бетона? 8. Расскажите о приготовлении бетонной смеси. 9. Как происходит твердение бетона? 10. Какие существуют способы получения легких бетонов? 11. Какой бетон используют в современном строительстве?

Лабораторная работа № 9
Подбор состава и приготовление тяжелого бетона

Цель: научиться рассчитывать соотношения цемента, воды, песка и крупного заполнителя для получения бетонной смеси с заданной удобоукладываемостью и бетона с заданной маркой и проверить проведенный расчет.

Материалы: цемент — 2 кг, песок кварцевый — 4 кг, щебень (гравий) — 8 кг, вода.

Приборы и приспособления: боек для приготовления бетонной смеси, две лопаты, стандартный конус, штыковка, форма на три образца-куба 10 х 10 х 10 см (или 15 х 15 х 15), виброплощадка, весы.

Ход работы

Работа состоит из двух частей: I — расчетной — «Подбор состава тяжелого бетона» и II — практической — «Приготовление бетонной смеси и проверка свойств смеси и бетона».

Часть I
Подбор состава тяжелого бетона

Меняя расход воды и цемента, марку используемого цемента, вид и количество крупного и мелкого заполнителя, можно получить бетоны, значительно различающиеся между собой по строительным свойствам — прочности, морозостойкости, водопоглощению, усадке и стоимости. Оптимальным для конкретных условий строительства и последующей эксплуатации будет такой состав бетона, который, удовлетворяя техническим требованиям строительства, имеет наименьшую стоимость. Наиболее дефицитной и дорогостоящей частью бетона является цемент. Поэтому обычно стремятся подобрать состав с минимальным расходом цемента.

Оптимальный состав бетона определяют расчетно-экспериментальным методом в три этапа:

1. Проектирование состава бетона на основе исходных данных с помощью формул, графиков и таблиц.

2. Уточнение состава бетона на пробных замесах.

3. Определение фактического расхода составляющих материалов на 1 м^3 бетона, исходя из расхода материалов на оптимальный пробный замес и объема этого замеса, вычисленного по экспериментально определенной средней плотности бетонной смеси.

Окончательно состав бетона может быть выражен в виде расхода материалов на 1 м^3 бетона или в частях по массе или по объему по отношению к цементу (В/Ц при этом всегда выражается по массе).

Для проектирования состава бетона необходимо иметь следующие исходные данные: назначение бетона; требуемую марочную прочность бетона на сжатие (в возрасте 28 дн); требуемую удобоукладываемость бетонной смеси; вид и марку (активность) цемента; плотность истинную, среднюю и насыпную всех компонентов; зерновой состав заполнителей и пустотность крупного заполнителя*.

Рассчитывают состав тяжелого бетона в следующем порядке.

1. *Обеспечение требуемой прочности бетона.* Зависимость прочности бетона через 28 сут твердения от его состава имеет вид:

$$R_б = AR_ц\ (Ц/В \pm 5),$$

где $R_ц$ — активность (марка) цемента, кгс/см^2; Ц/В — соотношение цемента и воды; A — коэффициент, зависящий от вида бетона и качества заполнителей.

При возможности выбора марки (активности) цемента рекомендуется, чтобы его марка (активность) была в 2...2,5 раза выше требуемой прочности бетона. Меньшая разница в этих показателях ведет к увеличению расхода цемента, при большей разнице необходимо в цемент вводить тонкомолотые минеральные добавки (молотые гранулированные шлаки, золы ТЭС, молотый известняк и т. п.).

Указанная формула позволяет определить соотношение воды и цемента В/Ц, которое при данном качестве заполнителей A и данной активности цемента $R_ц$ обеспечивает получение требуемой прочности бетона: для пластичных смесей (при В/Ц $\geq 0{,}4$) $В/Ц = A_1R_ц/(R_б + 0{,}5A_1R_ц)$, для особо жестких смесей (при В/Ц $< 0{,}4$) $В/Ц = AR_ц(R_б - 0{,}5A_2R_ц)$.

---

* Для проведения учебного замеса в лабораторных условиях целесообразно принять расчетную прочность бетона (марку) 200 кгс/см^2, а подвижность бетонной смеси (ОК) — 2...4 см.

Значение коэффициентов A_1 и A_2

Заполнитель:	A_1	A_2
высококачественный	0,65	0,43
рядовой	0,60	0,40
пониженного качества	0,55	0,37

2. *Расход воды* определяют, исходя из заданной удобоукладываемости (подвижности или жесткости) бетонной смеси по графикам или справочным таблицам (табл. 12.5). Расход воды выражают в л (кг) на 1 м^3 бетонной смеси.

3. *Расход цемента* (Ц (кг). Зная расход воды, определяют Ц = В : (В/Ц).

Если рассчитанный расход цемента окажется ниже допустимого (табл. 12.5), его увеличивают; при этом добавляют соответствующее количество воды с таким расчетом, чтобы сохранилось принятое значение В/Ц.

4. *Расход заполнителей* (песка и крупного заполнителя) рассчитывают, решая совместно два уравнения, характеризующие строение бетонной смеси.

Таблица 12.5. **Расход воды, л, на 1 м^3 бетонной смеси**

Характеристика бетонной смеси		Наибольшая крупность заполнителя, мм					
		гравия			щебня		
осадка конуса (ОК), см	жесткость, с	10	20	40	10	20	40
—	40...50	150	135	125	160	150	135
—	25...35	160	145	130	170	160	145
—	15...20	165	150	135	175	165	150
—	10...15	175	160	145	185	175	160
2...4	—	190	175	160	200	190	175
5...7	—	200	185	170	210	200	185
8...10	—	205	190	175	215	205	190
10...12	—	215	205	190	225	215	200
12...16	—	220	210	197	230	220	207
16...20	—	227	218	203	237	228	213

Примечания: 1. Табличные данные справедливы для бетона с песком средней крупности $М_К$ = 2,25 и водопотребностью 7 %. При применении песка иной крупности и водопотребности расход воды увеличивают (или уменьшают) на 5 л на каждый процент увеличения (или уменьшения) водопотребности:

Модуль крупности $М_К$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Водопотребность $В_П$, %	10	8	6	5	4

2. При применении пуццолановых цементов расход воды увеличивается на 15...20 л. 3. При расходе цемента свыше 400 кг на 1 м^3 бетона расход воды увеличивают на 1 л на каждые 10 кг цемента сверх 400 кг.

Объем 1 м^3 (1000 дм^3) плотно уложенной бетонной смеси слагается из абсолютных (без воздушных пустот) объемов цемента, воды, мелкого и крупного заполнителя:

$$Ц/\rho_ц + В + П/\rho_п + К/\rho_к = 1,$$

где Ц, В, П, К — расходы соответственно цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг; $\rho_ц$, $\rho_п$, $\rho_к$ — соответственно истинные плотности цемента, песка, крупного заполнителя, кг/м^3.

Таблица 12.6. **Минимально допустимые расходы цемента, кг, в бетоне и зависимости от способа его уплотнения и условий эксплуатации**

Условия эксплуатации бетона	Уплотнение вибрацией	Без вибрации
Постоянно соприкасается с водой, подвержен частому замораживанию и оттаиванию	240	265
Не защищен от атмосферных воздействий	220	250
Защищен от атмосферных воздействий	200	220

Пустоты между зернами крупного заполнителя должны быть заполнены растворной смесью с учетом некоторой раздвижки зерен, значение которой определяется коэффициентом раздвижки

$$\alpha K_{раз} К/\rho^{нас}_к = Ц/\rho_ц + П/\rho_п + В,$$

где $\rho^{нас}_к$ — насыпная плотность крупного заполнителя; α — межзерновая пустотность крупного заполнителя; $K_{раз}$ — коэффициент раздвижки зерен заполнителя.

Коэффициент раздвижки зерен для жестких бетонных смесей принимают равным 1,05...1,15, в среднем — 1,1; для пластичных смесей $K_{раз}$ принимают по табл. 12.7.

Таблица 12.7. **Коэффициент раздвижки зерен $K_{раз}$ в зависимости от расхода цемента и В/Ц**

Расход цемента, кг, на 1 м^3 бетона	В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	—	1,30	1,36	1,42	—
350	—	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,31	1,40	1,46	—	—	—
500	1,44	1,52	1,56	—	—	—
550	1,52	1,56	—	—	—	—

Решая совместно приведенные выше уравнения, получаем формулы для определения расхода (в кг на 1 м^3 бетона):

крупного заполнителя

$$К = 1/(\alpha К_{раз}/\rho_{нас} + 1/\rho_к),$$

песка

$$П = [1 - (Ц/\rho_ц + В + К/\rho_к)]\rho_п.$$

Таким образом, получают расчетный состав бетона в виде расхода материалов Ц, В, П, К в кг для получения 1 м^3 бетона. Расчетная плотность бетонной смеси (кг/м^3)

$$\rho^р_{б.с} = Ц + В + П + К.$$

Часть II
Приготовление бетонной смеси и проверка свойств смеси и бетона

Приготовление смеси. Исходя из рассчитанного состава бетона, определяют расход материалов на пробный замес объемом $V_{зам}$ = = 7...12 дм^3 =0,007...0,012 м^3. Точное значение объема пробного замеса рассчитывается из необходимости заполнить стандартный конус ($V \approx 7$ дм^3), а затем из той же смеси отформовать три образца-куба размером 10 х 10 х х 10 см ($V = 3$ дм^3) или размером 15 х 15 х 15 см ($V = 11$ дм^3).

Расход материалов на замес объемом $V_{зам}$ (м^3) рассчитывают, умножая расход материалов на 1 м^3 бетона на объем замеса; например, $Ц_{зам} = Ц V_{зам}$ (кг) и т. д.

Рассчитанные на замес количества сухих материалов отвешивают на торговых весах с погрешностью для цемента не более 10 г, для заполнителей — не более 50 г. Воду отмеряют мерным цилиндром с погрешностью не более 10 г.

Сухие компоненты высыпают в боек (мелкое плоскодонное корыто), предварительно смочив его поверхность, и перемешивают. Затем в несколько приемов при постоянном перемешивании добавляют воду и продолжают перемешивание. Общая продолжительность перемешивания не менее 5 мин.

Оценка подвижности смеси. Готовую бетонную смесь для определения ее подвижности загружают в стандартный конус, установленный на металлический поддон. Перед испытанием конус и все приспособления очищают и протирают влажной тканью. Загрузку бетонной смесью производят в три слоя, штыкуя каждый слой 25 раз. Конус во время наполнения должен быть плотно прижат к поддону. После уплотнения бетонной смеси ее избыток срезают вровень с верхним краем конуса.

Далее конус плавно снимают с бетонной смеси и ставят рядом с ней. Осадку конуса бетонной смеси (ОК) определяют, укладывая

металлическую линейку ребром на верх конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см.

Если ОК отличается более чем на 1 см от запроектированной, то необходимо ввести добавки, корректирующие подвижность смеси, но не изменяющие прочность бетона.

Если ОК менее заданного значения (смесь жесткая), необходимо добавить воду и одновременно цемент, чтобы рассчитанное В/Ц смеси не изменилось. Обычно добавляют по 10 % от расчетного количества воды и цемента. Массу добавок фиксируют в тетради. Затем смесь повторно перемешивают и вновь определяют ОК. Если смесь не достигнет требуемой подвижности, то вводят добавки, пока не получат желаемого результата.

Если ОК более заданной величины, можно снизить подвижность, добавив песок и крупный заполнитель (в соотношении, принятом при расчете смеси). Количество добавок и порядок действий с ними такой же, как и при добавке воды и цемента.

Изготовление образцов. Из смеси, имеющей требуемую подвижность, формуют образцы для определения прочности бетона. Для этого используют разборные металлические формы размером 10 х 10 х 10 или 15 х 15 х 15 см (последние являются стандартными), позволяющие получить образцы правильной геометрической формы.

Форму перед заполнением смазывают и взвешивают с погрешностью не более 50 г ($m_ф$, кг). Бетонную смесь укладывают в форму в два-три слоя, уплотняя каждый слой штыкованием 10...20 раз от краев к центру. Затем формы с некоторым избытком смеси устанавливают на виброплощадку и вибрируют 1...2 мин (до появления жидкости на поверхности). По окончании уплотнения поверхность бетона выравнивают кельмой, срезая избыток смеси, и очищают от смеси, налипшей на боковые поверхности формы. Форму с бетоном взвешивают с погрешностью не более 50 г ($m_{ф+б}$, кг).

Зная объем бетонной смеси в форме $V_{б.с}$ (дм^3), можно определить фактическую плотность бетонной смеси $\rho^{ф}_{б.с}$ (кг/м^3):

$$\rho^{ф}_{б.с} = 1000(m_{ф+б} - m_ф)/V_{б.с}$$

и сравнить ее с рассчитанной $\rho^{р}_{б.с}$.

Отформованные образцы хранятся в формах 24...30 ч, затем распалубливаются и хранятся до испытаний на воздухе, но так, чтобы исключить высыхание бетона (обычно их покрывают влагоемкой тканью, которую периодически увлажняют).

Определение прочности бетона. Марочная прочность бетона в соответствии со стандартами определяется после 28 сут нормального твердения. Однако при необходимости можно испытать бетонные образцы

в другом возрасте (не ранее чем через три дня после изготовления) и с достаточной точностью рассчитать 28-дневную прочность по формуле

$$R_{28} = R_{\text{п}}(\lg 28/\lg n),$$

где $R_{\text{п}}$ — прочность бетона, МПа, в возрасте n дней.

Испытания бетона проводят на прессах с максимальным усилением для образцов 10 х 10 х 10 см — 500 кН, а 15 х 15 х 15 см — 1000 кН.

Образцы очищают от пыли и устанавливают строго в центре нижней плиты пресса так, чтобы верхняя (при формовании) грань образца оказалась в вертикальной плоскости. Верхнюю плиту пресса опускают до соприкосновения с образцом для выравнивания плоскостности, а затем немного приподнимают так, чтобы образовался зазор 2...5 мм. После этого включают пресс и нагружают образец со скоростью 0,4...0,8 МПа/с до его разрушения. Разрушающая нагрузка $F_{\text{р}}$ (кН) фиксируется на силоизмерительной шкале по показанию пассивной стрелки, отмечающей максимальное усилие пресса в ходе испытания.

Предел прочности при сжатии $R_{\text{сж}}$ (МПа) испытуемого образца рассчитывают по формуле

$$R_{\text{сж}} = 10F_{\text{р}}/A,$$

где A — площадь поперечного сечения образца, см^2. Если шкала пресса градуирована в кгс, то вместо коэффициента 10 в формуле следует использовать коэффициент 0,1.

При испытании образцов, твердевших не 28 дн, делают перерасчет их прочности на 28-дневную по указанной ранее формуле.

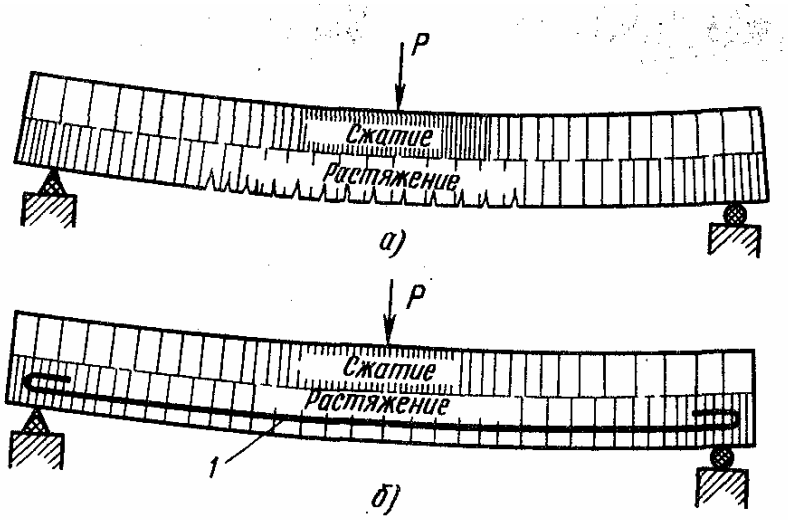
Прочность бетона данного замеса устанавливают, рассчитывая среднее арифметическое результатов испытания (при испытании трех образцов для расчета берут два наибольших значения). При размере образцов 15 х 15 х 15 см рассчитанная прочность является марочной прочностью бетона, если размер образцов был 10 х 10 х 10 см, то полученное значение умножают на коэффициент 0,91.

ГЛАВА 13. ЖЕЛЕЗОБЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

13.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Бетон имеет недостаток, присущий всем каменным как природным, так и искусственным материалам,— он хорошо работает на сжатие, но плохо сопротивляется изгибу и растяжению. Прочность бетона при растяжении составляет всего около $^1/_{10}...^1/_{15}$ его прочности на сжатие. Чтобы повысить прочность бетонных конструкций на растяжение и изгиб, в бетон укладывают стальную проволоку или стержни, называ-

емые арматурой. Арматура в переводе с латинского означает «вооружение», т. е. стальная арматура как бы вооружает, укрепляет бетон. Армированный стальными стержнями бетон называют железобетоном.



Р и с . 13.1. Неармированная бетонная (*а*) и армированная железобетонная (*б*) балка:

1 — арматура

Каменные конструкции, армированные металлом, были известны давно, но в современном виде железобетон появился лишь во второй половине XIX в., когда было освоено промышленное производство портландцемента. Патент на изобретение железобетона был выдан французу Ж. Монье в 1867 г., хотя известны попытки использования железобетона и до него (например, в 1849 г. инженером Г.Е. Паукером в России и в 1845 г. В. Уилкинсоном в Англии). Первоначально железобетон применялся довольно ограниченно. В настоящее время это основной конструкционный материал в жилищном и промышленном строительстве.

Железобетон — это не два разнородных материала: бетон и сталь, а новый материал, в котором сталь и бетон работают совместно, помогая друг другу. Это объясняется следующим. Бетон при твердении на воздухе уменьшается в объеме, плотно охватывая арматуру. Прочность сцепления арматуры с бетоном достигает больших значений. Так, чтобы выдернуть из бетона стержень диаметром 30 мм, введенный в бетон на глубину 300 мм, требуется сила не менее 10 кН. Сцепление стали с бетоном не нарушается и при сильных перепадах температуры, так как коэффициенты теплового расширения стали и бетона почти одинаковы. Хорошее сцепление стали с бетоном приводит к тому, что под нагрузкой эти два материала работают как одно целое.

Смысл армирования можно пояснить на элементах, работающих на изгиб (балках, ригелях). В таких элементах часть поперечного сечения элемента подвергается сжатию, а другая — растяжению. Если балку изготовить из неармированного бетона, то вследствие низкой его прочности на растяжение (1...4 МПа) уже под небольшой нагрузкой бетон в растянутой зоне растрескивается (рис. 13.1, *а*) и балка разрушится. Если же в растянутую зону ввести стальную арматуру, то она примет на себя растягивающие напряжения (прочность стали при растяжении более 200 МПа), и балка, хотя на ней могут появиться трещины, не разрушится даже при больших нагрузках (рис. 13.1, *б*). В

ряде случаев армируют элементы, работающие и на сжатие (колонны, сваи), так как и на сжатие сталь в 5...10 раз прочнее бетона.

Причиной, почему арматура принимает на себя бо́льшую часть нагрузки, является различие в модулях упругости стали $2 \cdot 10^5$ МПа и бетона (2...3) х 10^4 МПа. Из-за того, что модуль упругости стали в 10 раз выше модуля упругости бетона, при нагружении железобетонного элемента напряжения, возникающие в стали, приблизительно в 10 раз выше, чем напряжения в бетоне, т. е. в материале происходит как бы перераспределение нагрузки.

Бетон благодаря своей плотности и водонепроницаемости, с одной стороны, и щелочной реакции цементного камня в бетоне, с другой, защищает сталь от коррозии. Кроме того, бетон как сравнительно плохой проводник теплоты защищает сталь от быстрого нагрева при пожарах. Стальные конструкции при пожаре быстро нагреваются, сталь размягчается и вся конструкция начинает деформироваться даже под собственным весом. В железобетонных конструкциях стальная арматура защищена от огня слоем бетона. Так, опыты показали, что при температуре поверхности бетона 1000° С арматура, находящаяся на глубине 50 мм, через 2 ч нагреется лишь до 500° С.

В современном строительстве все большее применение находит *напряженно-армированный бетон.* Попытаемся объяснить, почему появился такой метод армирования. Как уже говорилось, прочность бетона на растяжение в 10...20 раз ниже, чем на сжатие. В железобетоне этот недостаток устраняют введением в растянутую зону арматуры. Однако вследствие малой растяжимости бетона в растянутой его зоне возникают трещины, после чего всю нагрузку воспринимает только арматура. Пока ширина трещины менее 0,1...0,2 мм (так называемые волосяные трещины), они не опасны с точки зрения сцепления арматуры с бетоном и коррозии арматуры.

При применении для армирования высокопрочных сталей полное использование их прочности сопровождается относительно большим удлинением арматуры, что приводит к сильному растрескиванию бетона, а это, в свою очередь,— к коррозии арматуры из-за обнажения ее поверхности. Отсюда следует, что при обычном способе армирования применение высокопрочной арматуры нерационально. При армировании такой арматурой применяют метод предварительного натяжения арматуры.

Сущность этого метода состоит в том, что до загрузки железобетонной конструкции полезной нагрузкой ее арматуру растягивают наподобие резинового жгута; упором при этом служит бетон. Естественно, что чем сильнее растянута арматура, тем больше будет сжат бетон. Когда же к конструкции приложена полезная нагрузка, напряжения от нее, возникающие в растянутой зоне бетона, частично компенсируются предварительно созданными сжимающими напряжениями. Поэтому в растянутой зоне бетона не возникнут трещины, а

предварительно напряженная арматура получит от нагрузки дополнительное напряжение и ее высокая прочность будет реализована в большой степени.

В настоящее время применяют два способа получения напряженно-армированного бетона. Один из них заключается в том, что арматуру натягивают и закрепляют на специальных анкерах, а затем укладывают бетон. После того как бетон достаточно затвердеет, арматуру освобождают и она, сжимаясь, сжимает бетон. Другой способ: в бетоне оставляют специальные каналы для напрягаемой арматуры. После затвердевания бетона арматуру вводят в каналы и натягивают, используя в качестве опоры затвердевший бетон. При этом в бетоне возникают сжимающие напряжения. После натяжения арматуры каналы заполняют цементным раствором.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях более полно используется прочность стали и бетона, поэтому уменьшается масса изделий. Кроме того, предварительное обжатие бетона, препятствуя образованию трещин, повышает его долговечность.

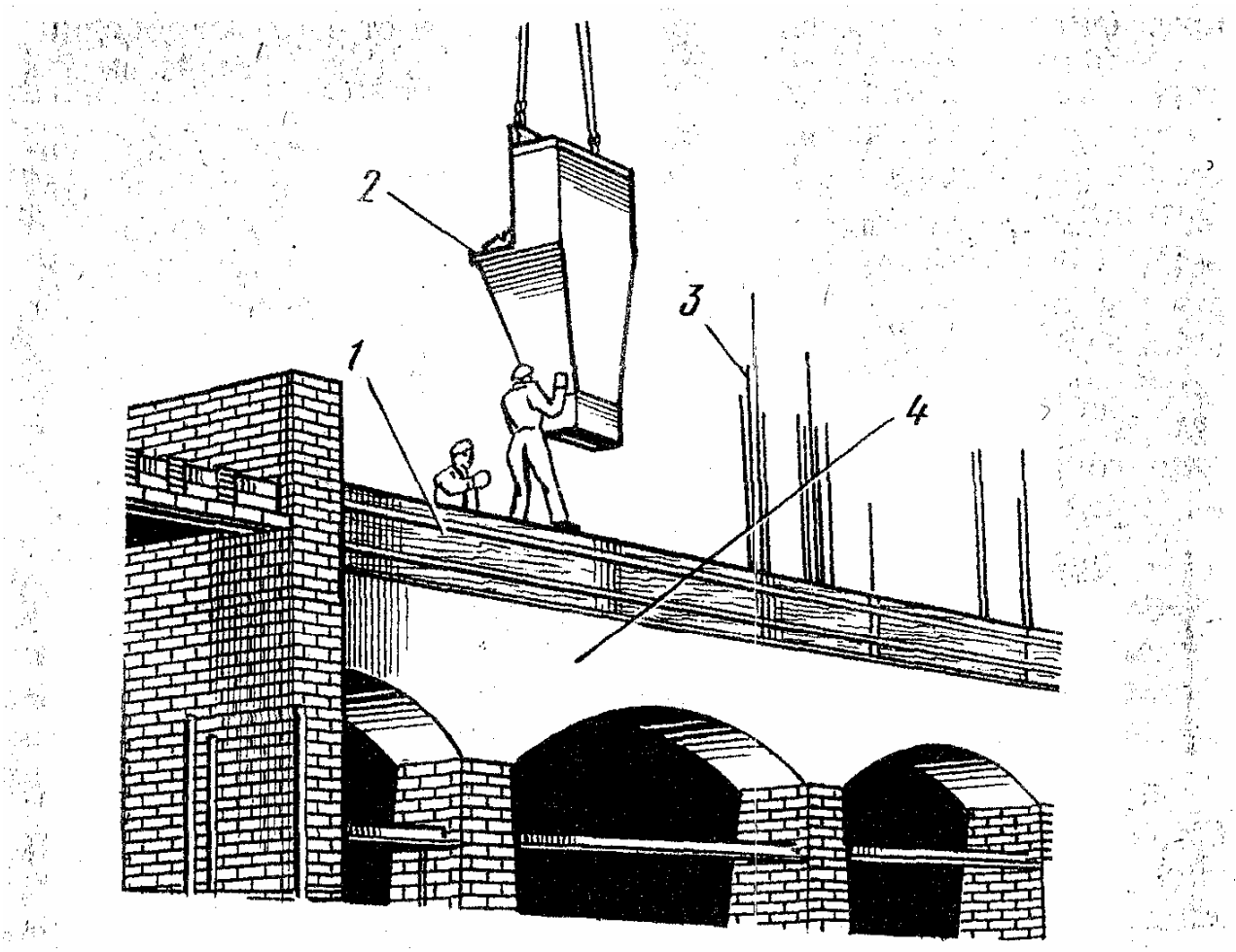
Благодаря универсальности и комплексу ценных свойств железобетон на тяжелом и легком бетоне используют для строительства всех типов зданий и инженерных сооружений. Так, массовое строительство жилых зданий осуществляется из сборного железобетона, причем из него выполняют все элементы здания. В многоэтажных кирпичных зданиях фундаменты и перекрытия — железобетонные. Промышленные здания и инженерные сооружения в основном возводят из железобетона.

В зависимости от способа изготовления железобетонные конструкции могут быть монолитными или сборными.

13.2. МОНОЛИТНЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Монолитным называют железобетон, изготовляемый непосредственно на строительной площадке (рис. 13.2). На месте возведения конструкции устанавливают опалубку *1*. Назначение опалубки — придать бетонной смеси при ее укладке форму будущей конструкции. Опалубку выполняют из дерева, фанеры, стали или различных их комбинаций. Обычно применяют разборно-переставную опалубку из мелких или крупных щитов.

Для возведения высоких сооружений (резервуаров, труб, башен) применяют скользящую или подъемно-переставную опалубку. Когда бетон, уложенный в скользящую опалубку, достаточно затвердеет, опалубку вместе с рабочими подмостями двигают вверх и цикл повторяют. Такая опалубка была использована при строительстве Останкинской телевизионной башни.



Р и с . 13.2. Устройство элементов из монолитного железобетона в кирпичном здании:
1 — опалубка; *2* — бункер с бетонной смесью; *3* — арматура; *4* — затвердевший бетон

В опалубку укладывают арматуру *3*, а затем бетонную смесь *2*. Бетонную смесь уплотняют глубинными или поверхностными вибраторами, навешиваемыми на опалубку.

Бетон после укладки первые 7...10 дн необходимо защищать от высыхания, а зимой — от замерзания. В противном случае мы не получим требуемой прочности бетона. Бетон твердеет обычно естественным путем, зимой возможен его подогрев.

Опалубку снимают по достижении бетоном достаточной прочности, чаще всего через 7...10 дн.

В последние годы монолитный железобетон применяют все шире (в начальный период своего развития железобетон в строительстве использовали только в монолитном варианте). Из монолитного бетона возводят здания и сооружения, не поддающиеся разделению на однотипные элементы, при особенно больших или динамических нагрузках на конструкции зданий и сооружений (например, фундаменты и каркасы многоэтажных жилых и промышленных зданий, особенно в сейсмических районах), гидротехнические сооружения и т. п.

С каждым годом расширяется строительство из монолитного бетона городских и сельских жилых зданий. Особенно эффективно такое строительство в случае применения специально изготовленной металлической опалубки многократного использования, что позволяет добиться большой точности изготовления строительных конструкций при низких трудозатратах.

Для монолитного строительства используют тяжелые и легкие бетоны на быстротвердеющих цементах. При правильной организации труда скорость строительства из монолитного бетона не уступает скорости монтажа из сборных элементов.

За последние годы в городах России построено много нестандартных сооружений из монолитного бетона, в том числе и такие уникальные, как храм Христа Спасителя, подземный торговый комплекс на Манежной площади в Москве и др.

13.3. СБОРНЫЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Сборные железобетонные изделия и конструкции (сборный железобетон) представляют собой крупноразмерные железобетонные элементы, изготовляемые на заводе или полигоне домостроительного комбината. Основное преимущество таких конструкций — высокомеханизированные и автоматизированные методы их изготовления; на строительной площадке эти элементы только монтируют, что резко сокращает сроки строительства, повышает производительность труда и позволяет широко применять новые эффективные материалы (легкие и ячеистые бетоны, отделочную керамику, пластмассы и т. п.).

Развитие сборного строительства нашло свое выражение в организации домостроительных комбинатов (ДСК). ДСК выпускают все необходимые для строительства здания железобетонные элементы, транспортируют их на стройку и осуществляют монтаж и окончательную отделку здания. Главнейшее звено ДСК — заводы, выпускающие железобетонные конструкции и детали.

Основные операции при производстве железобетонных изделий: приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры, армирование и формование изделий и их ускоренное твердение.

Бетонную смесь приготовляют в бетоносмесительном цехе завода, арматуру — в арматурном цехе. Поступающую на завод арматурную сталь (в бухтах или прутках) на специальных станках очищают от ржавчины, правят и режут на стержни заданной длины. Необходимую форму стержням придают на гибочных станках. Отдельные стержни и проволоку соединяют в сетки и каркасы контактной сваркой на станках-автоматах. Готовые сетки и каркасы передают в формовочный цех.

Напрягаемую арматуру натягивают на анкеры форм с помощью специальных механизмов или реже методом термического натяжения.

Перед укладкой арматуры и бетона формы очищают и покрывают смазочным материалом, препятствующим сцеплению бетона с металлом форм. Бетонная смесь из бетоносмесительного цеха поступает в приемный бункер бетоноукладчика, который подает ее в форму и разравнивает.

Уплотняют бетонную смесь на заводах центрифугированием, вибропрессованием, прокатом, но чаще на виброплощадках большой грузоподъемности (до 5...10 т) с электромеханическим или электромагнитным приводом. Пустоты в изделиях формуют с помощью вибровкладышей.

Для ускорения твердения бетона его подвергают тепловлажностной обработке: нагреву до температуры 80...180° С таким образом, чтобы в бетоне сохранялась вода в жидком состоянии, необходимая для твердения цемента.

Применяют следующие виды тепловлажностной обработки: пропаривание при нормальном давлении и температуре 80...95° С; контактный нагрев и электроподогрев до 100° С; запаривание в автоклавах при давлении 0,9...1,6 МПа (оно необходимо, чтобы вода в бетоне оставалась жидкой) и температуре 175...200° С.

Наиболее распространено *пропаривание* при нормальном давлении в камерах непрерывного или периодического действия. Изделия нагревают насыщенным паром.

Камеры непрерывного действия представляют собой туннель, в котором изделия в формах, установленных на вагонетках, проходят последовательно зоны подогрева, изотермичесокй выдержки и охлаждения.

В камеры периодического действия изделия загружают краном и устанавливают в несколько рядов по высоте. Затем камеру закрывают крышкой и подают насыщенный пар. Продолжительность пропаривания 10...16 ч. За это время бетон набирает не менее 70 % марочной прочности.

После извлечения из форм изделия проходят технический контроль на соответствие требованиям ГОСТа или ТУ.

Изделия, удовлетворяющие требованиям стандарта, маркируют несмываемой краской. В маркировке указывают паспортный номер изделия, его индекс, марку завода-изготовителя и пр. На каждую партию изделий составляют паспорт в двух экземплярах: для потребителя и завода-изготовителя.

Способы производства железобетонных изделий. Железобетонные изделия изготовляют способами: стендовым, кассетным, поточно-агрегатным, конвейерным и вибропрокатным.

При *стендовом способе* изделия получают в неподвижных формах (на стенде). Механизмы (бетоноукладчики, вибраторы и др.) поочередно подходят к стенду для выполнения необходимых операций. Этим способом изготовляют, как правило, крупногабаритные изделия (фермы, колонны, балки) на полигонах.

Касетный способ — вариант стендового способа, основой которого является формование изделий в стационарно установленных кассетах, состоящих из нескольких вертикальных металлических форм-отсеков. В форму закладывают арматурный каркас и заполняют ее бетонной смесью. Тепловую обработку производят контактным обогревом через стенки форм. После тепловой обработки стенки форм раздвигают и изделия вынимают мостовым краном. Кассетным способом изготовляют плоские изделия (панели перекрытий, стеновые панели и т. п.).

При *поточно-агрегатном способе* формы с изделиями перемещаются от одного технологического агрегата к другому краном, а при *конвейерном* они стоят на вагонетках, движущихся по рельсовому пути. При конвейерном способе тепловлажностную обработку осуществляют непрерывном методом. Конвейерный способ высокопроизводительный, но на каждой нитке конвейера можно выпускать изделие только одного типоразмера.

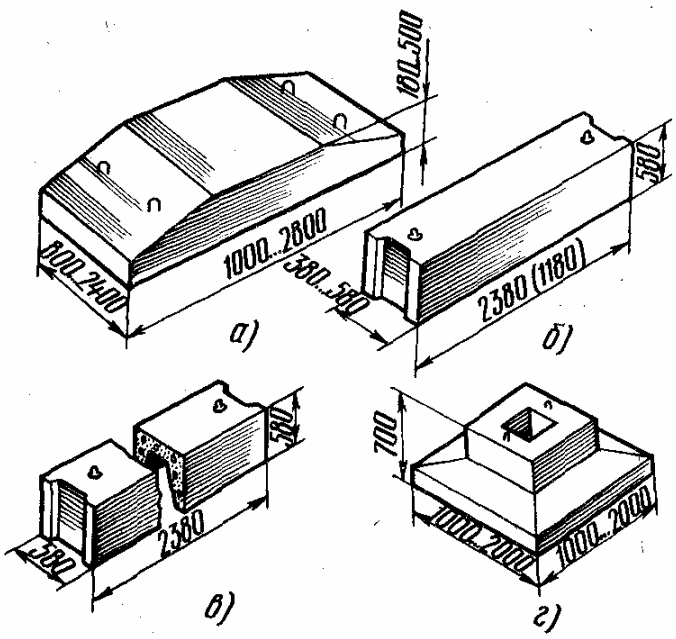
При *вибропрокатном способе* процессы получения железобетонного изделия происходят на одной установке непрерывного действия — вибропрокатном стане. Вибропрокатный стан — это конвейер из стальной обрезиненной формующей ленты, движущейся вдоль постов укладки арматуры и бетона, виброуплотнения бетона и контактной тепловой обработки. Вибропрокатным способом получают плиты перекрытий, легкобетонные панели наружных стен, перегородочные панели. Этот способ самый производительный, но переход с выпуска одного вида изделий на другой затруднен, так как связан с полной переоснасткой стана.

13.4. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Классификация. Сборные железобетонные изделия и конструкции широко применяют во всех областях современного строительства. Промышленность выпускает большое число различных видов сборных железобетонных изделий и конструкций. В основу классификации железобетонных изделий положены следующие признаки: вид армирования, плотность и вид бетона, из которого изготовлено изделие, внутреннее строение изделия и его назначение.

По *виду армирования* железобетонные изделия подразделяют на предварительно напряженные и с обычным армированием.

По *плотности и виду бетона* различают изделия из особо тяжелых ($\rho_m > 2500$ кг/м^3), тяжелых ($\rho_m = 1800...2500$ кг/м^3), легких ($\rho_m < 1800$ кг/м^3)



Р и с . 13.3. Изделия для фундаментов:
а — блок-подушка; *б* — блок для стен подвалов сплошной; *в* — то же, пустотелый; *г* — блок стаканного типа

и особо легких (ρ_m = 700 кг/м^3) бетонов. Легкобетонные изделия, в свою очередь, могут быть получены на пористых заполнителях и из ячеистых бетонов.

В *зависимости от вида вяжущего* различают изделия из цементного бетона, силикато- и гипсобетонные.

По *внутреннему строению* изделия могут быть сплошными и пустотелыми, изготовленными из бетона одного вида (однослойные изделия) или из нескольких видов бетона (например, трехслойные — из ячеистого бетона, с двух сторон покрытого плотным мелкозернистым бетоном).

По *назначению* железобетонные изделия подразделяют на три группы: для жилых и общественных зданий, для промышленных зданий и для инженерных сооружений. В свою очередь, изделия для жилых, общественных и промышленных зданий подразделяют на изделия для фундаментов, каркасов зданий, стен, перекрытий и покрытий, лестниц и санитарно-технические.

Изделия для фундаментов зданий (рис. 13.3). *Фундаментные плиты* — массивные железобетонные элементы трапецеидальной (рис. 13.3, *а*) или прямоугольной формы, укладываемые при устройстве фундамента непосредственно на грунт.

Бетонные блоки для стен подвалов — элементы в форме прямоугольного параллелепипеда (рис. 13.3, *б, в*) из тяжелого бетона, керамзитобетона и силикатного бетона плотностью не менее 1800 кг/м^3 и класса В7,5...В15. Блоки армируют лишь монтажной арматурой. В торцовой части блоков устраивают пазы, заполняемые при монтаже раствором. Керамзитобетонные блоки могут иметь несплошные, открытые вниз пустоты. Применяют блоки для устройства ленточных фундаментов и возведения стен подвалов для зданий всех видов.

Фундаментные блоки стаканного типа (рис. 13.3, *г*) применяют в каркасных зданиях для опирания колонн. Они могут состоять как из одного элемента, так и из двух (отдельно блок и стакан).

Изделия для каркасов зданий (колонны; горизонтальные связи — ригели, прогоны, балки, фермы и арки) изготовляют из тяжелого бетона класса не ниже В15 и армируют несущей арматурой. Ригели, балки и

фермы часто изготовляют из напряженно-армированного бетона. Все изделия для надежной связи друг с другом и передачи нагрузки имеют металлические закладные детали.

Изделия для каркасов промышленных зданий (рис. 13.4) отличаются от аналогичных изделий для жилых зданий большей несущей способностью и размерами. Так, высота колонн для жилых зданий достигает 7,5 м, а промышленных 35 м.

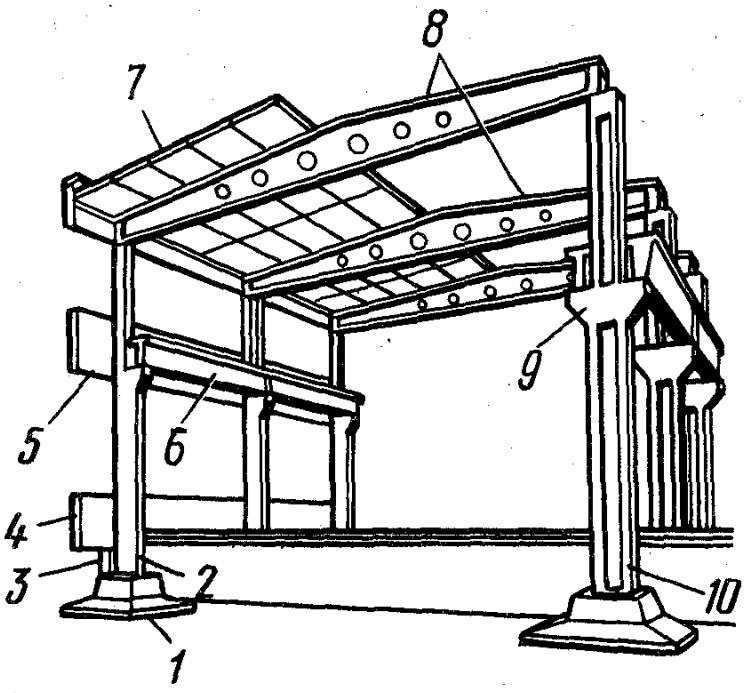


Рис. 13.4. Схема одноэтажного промышленного здания с железобетонным каркасом:

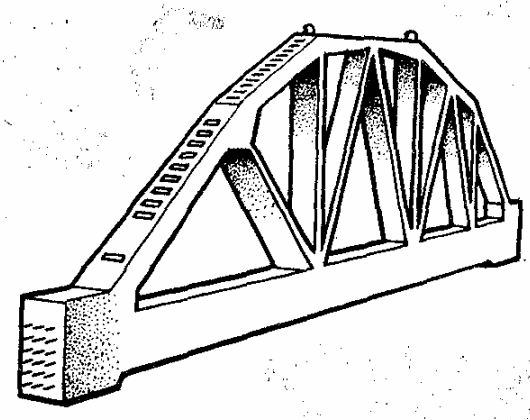
1 — фундамент под колонны; *2* — колонны наружного ряда; *3* — подкладка; *4* — фундаментная балка; *5* — стеновая панель; *6* — подкрановая балка; *7* — плита покрытий; *8* — балки (фермы) покрытия; *9* — консоли колонн; *10* — колонны внутреннего ряда

Балки в зависимости от перекрываемого пролета могут иметь тавровое или двутавровое сечение с отверстиями в вертикальной стенке для снижения ее массы. Изготовляют балки из бетона класса В25...В30; армирование чаще напряженное. Длина балок — 12; 18 и 24 м.

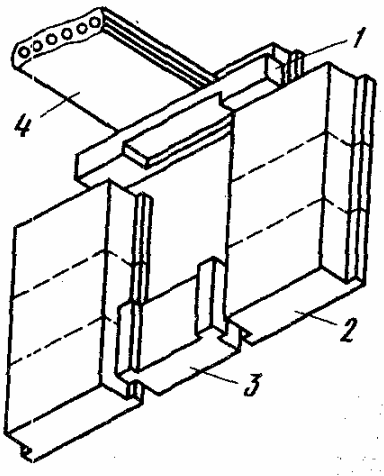
Фермы (рис. 13.5) применяют как элементы покрытий пролетом 30 м и более; сборные железобетонные арки — для пролетов более 60 м.

Стеновые бетонные блоки предназначены для жилых и общественных зданий, а также производственных зданий промышленного и сельскохозяйственного назначения. Размер блоков зависит от конструктивного решения здания и схемы разрезки стены: так, длина блоков может быть 400...3300 мм, высота 300...3900 мм. Толщина назначается по теплотехническим и конструктивным соображениям: для наружных стен 200...600 мм, для внутренних — 160...300 мм.

Один из вариантов конструкции наружной стены из блоков показан на рис. 13.6. Сплошными линиями даны габариты блоков при двухрядной разрезке, пунктирными — при четырехрядной. Простеночные блоки *2* имеют только монтажную арматуру; они изготовлены с четвертями, которые используют для установки оконных блоков и образования вертикальных стыков между блоками. Перемычечные блоки *1* выполняют из армированного бетона, способного воспринимать нагрузку от междуэтажного перекрытия.



Р и с . 13.5. Железобетонная ферма



Р и с . 13.6. Конструкция стены из крупных блоков (вид изнутри помещения):

1 — перемычечный блок; *2* — простеночный блок; *3* — подоконный блок; *4* — плита перекрытия

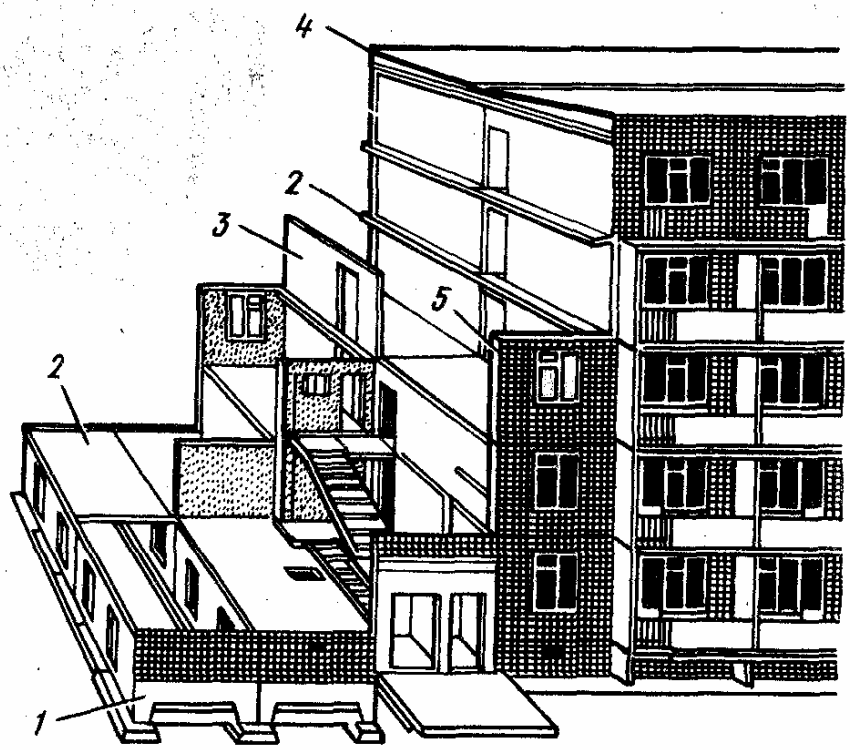
Для наружных стен блоки могут быть одно- и двухслойные. Изготовляют их из различных видов бетона. Однослойные блоки наружных стен изготовляют главным образом из легких бетонов на пористых заполнителях класса В3,5...В7,5, плотностью 900...1500 кг/м^3 или ячеистых бетонов класса В2...В7,5 плотностью 600...1000 кг/м^3. Двухслойные блоки из утепляющего и изолирующего слоев применяют главным образом для зданий с повышенной влажностью воздуха. Утепляющий слой выполняют из конструкционно-теплоизоляционного бетона (обычно из легкого бетона на пористых заполнителях класса В3,5...В7,5 плотностью 900...1200 кг/м^3). Внутренний изолирующий слой — из тяжелого бетона (реже из легкого) класса В15...В25; его назначение — ограничить влагопередачу от внутренней стороны стены к наружной, чтобы защитить утепляющий слой от увлажнения.

Блоки внутренних стен делают однослойными. Вид и класс используемого бетона зависят от конструктивного решения стены (применяют тяжелые бетоны класса В7,5...В15) и легкие ячеистые класса В2...В3,5.

В настоящее время крупноблочное строительство уступило место *панельному.*

Стеновые панели — крупноразмерные элементы (обычно высотой на этаж и длиной до 6 м) для монтажа полносборных зданий (рис. 13.7) — в зависимости от назначения и конструктивных особенностей подразделяют на следующие виды:

- панели наружных стен отапливаемых зданий, изготовляемые из легкого бетона на пористых заполнителях, ячеистого бетона или из тяжелого бетона с теплоизоляционным слоем;
- панели наружных стен неотапливаемых зданий и внутренних несущих стен, изготовляемые из тяжелого или легкого бетона;



Р и с . 13.7. Схема крупнопанельного полносборного жилого здания:
1 — фундаментный блок; *2* — панель перекрытия; *3* — несущая панель внутренней стены; *4* — панель покрытия; *5* — наружная стеновая панель

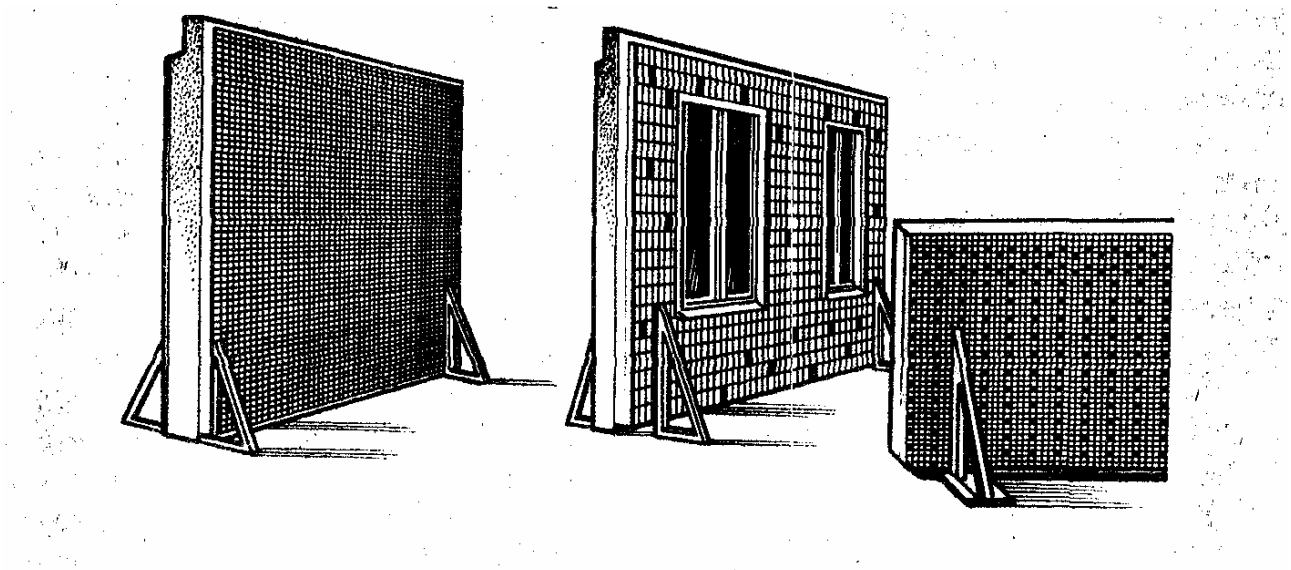
• панели перегородок, обычно изготовляемые из гипсобетона.

Классы тяжелых бетонов для панелей наружных стен — не ниже В15, для внутренних — не ниже В12,5, легкие бетоны всех видов должны иметь класс не ниже В3,5.

Наибольшее распространение в жилищном и общественном строительстве получили панели из легких бетонов на пористых заполнителях и панели из автоклавных ячеистых бетонов. Толщина панелей в зависимости от вида бетона и климатических условий на месте строительства 160...400 мм. Масса панелей достигает 5 т. В технико-экономическом отношении наиболее высокими достоинствами обладают крупноразмерные вибропрокатные керамзитобетонные панели.

Панели (рис. 13.8) выпускают с наружной защитно-декоративной отделкой (керамической плиткой, декоративными бетонами, водостойкими красками и т. п.) и внутренней, подготовленной под отделку. Окрашенные и остекленные оконные и дверные блоки должны быть установлены на место.

Элементы междуэтажных перекрытий. В зданиях всех типов используют железобетонные панели перекрытий. Размер панелей: длина 2,4...12 м, ширина 1,2...3,6 м, толщина 220 мм. Панели изготовляют из бетона класса не менее В15 и армируют обычной или предварительно напряженной арматурой.



Р и с . 13.8. Стеновые панели, отделанные ковровой мозаикой (положение на складе)

Панели перекрытий кроме несущей способности должны удовлетворять требованиям звукоизоляции. Для повышения звукоизоляционных свойств и снижения массы панели делают с пустотами (главным образом круглого сечения) или из легких бетонов на пористых заполнителях; применяют ребристые панели перекрытий со звукоизоляционными прослойками. Нижняя сторона панели выпускается в готовом к отделке виде и служит потолком, а верхняя — основанием пола.

Панели и плиты покрытий. В зависимости от конструкций кровли они должны удовлетворять помимо несущей способности требованиям *гидро- и пароизоляции*, а *для совмещенных* (теплых) кровель — и теплоизоляции.

Панели покрытий изготовляют однослойными из тяжелого и легкого бетона на пористых заполнителях; слоистыми с несущей конструкцией из тяжелого бетона и теплоизоляционным слоем из ячеистого бетона или другого утеплителя; комбинированными в виде плиты из ячеистого бетона с ребрами из тяжелого бетона. Класс тяжелого бетона должен быть не менее В15, легкого на пористых заполнителях — не менее В10 и ячеистого — не менее В3,5.

Санитарно-технические устройства. Элементы водоснабжения, канализации, вентиляции и т. п. могут быть также выполнены в виде железобетонных изделий заводского изготовления. Водопроводные и канализационные трубы замоноличивают в тело специальных панелей; таким же образом получают отопительные панели. Для устройства вентиляции применяют специальные блоки со сквозными каналами. Высоту блоков назначают в соответствии с высотой помещения, ширина зависит от числа каналов и труб в них. Применение таких блоков существенно упрощает санитарно-технические работы на стройке.

Санитарно-технические кабины — полностью оборудованные и отделанные объемные элементы: в них установлены ванны, раковины,

унитазы, смесители, а вся система труб сосредоточена внутри задней полой стенки кабин. Такие кабины на стройке только подключают к соответствующим сетям.

Лестничные марши и площадки изготовляют из бетона класса не ниже В15. Ступени лестниц должны иметь отделанную поверхность. Лестничные площадки, как правило, покрывают керамической плиткой. Лестничные марши и площадки могут быть выполнены в виде одного цельного элемента. Применяют лестницы как в зданиях из сборного железобетона, так и в кирпичных зданиях.

Железобетонные перемычки для перекрытия оконных и дверных проемов в кирпичных зданиях бывают брусковые, плитные и балочные с отформованной четвертью для опирания панелей перекрытия. Перемычки изготовляют из тяжелого или легкого (на пористых заполнителях) бетона. Класс бетона не менее В15. Марка бетона по морозостойкости в зависимости от климатический условий F35...F200.

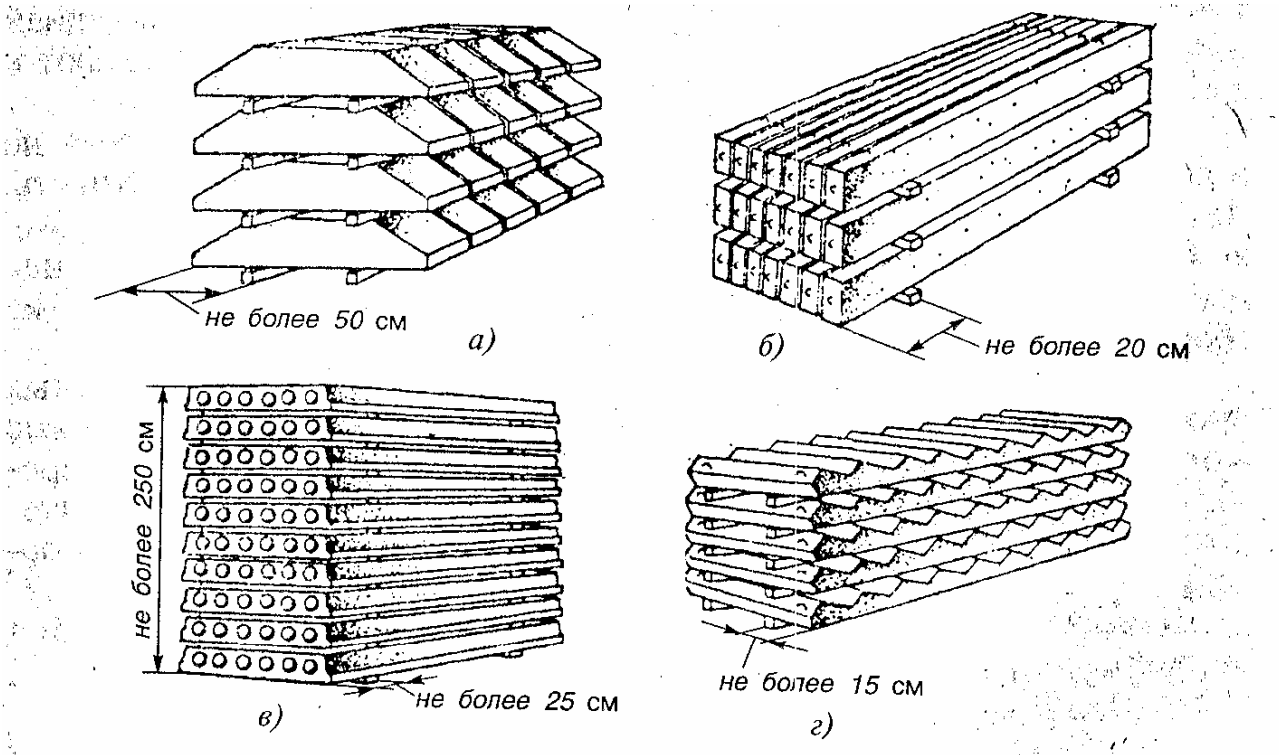
Изделия для инженерных сооружений. Железобетонные изделия широко применяют в дорожном строительстве (плиты покрытий дорог, бортовые камни, элементы мостов и путепроводов, шпалы, осветительные столбы и столбы контактной сети); при строительстве городских инженерных сетей (напорные и безнапорные железобетонные трубы диаметром от 0,5 до 3 м, элементы коллекторов и др.); при строительстве гидросооружений и мелиоративных систем.

13.5. МАРКИРОВКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И СКЛАДИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Каждое железобетонное изделие, выпускаемое заводом и удовлетворяющее требованиям ГОСТа или ТУ, маркируют несмываемой краской. Марка содержит обозначения основных характеристик изделия. Она состоит из трех групп знаков, разделенных дефисом: в первой группе указывается тип изделия (например, ФБ — фундаментный блок, К — колонна, ПС — панель стеновая), во второй — несущая способность изделия, класс арматуры, вид бетона (Т — тяжелый, Я — ячеистый и т. п.) и в третьей — специальные свойства, соответствующие условиям применения изделия. Марка должна быть хорошо видна, и по ее расположению судят о рабочем положении изделия. В некоторых случаях пишут специальные индексы «В» — верх, «Н» — низ.

Кроме марки на изделии ставят паспортный номер, в котором указывают номер партии и дату изготовления, а также заводскую марку (штамп ОТК), указывающую на то, что изделие соответствует требованиям ГОСТа или ТУ.

Транспортируют железобетонные изделия с завода на строительную площадку автомобильным транспортом: малогабаритные изделия — на обычных грузовых машинах; крупноразмерные и тяжелые изделия (сваи, колонны, балки) — на тягачах с прицепом; стеновые панели — на специальных панелевозах.



Р и с . 13.9. Складирование сборных железобетонных изделий:
а — фундаментные блоки; *б* — ригели, балки; *в* — многопустотные плиты перекрытий; *г* — лестничные марши

Принимает изделия до их разгрузки представитель строительной организации: проверяет сохранность изделий, наличие соответствующего паспорта и штампа ОТК завода на изделиях.

Укладывают железобетонные изделия на приобъектных складах согласно рекомендациям ГОСТа и ТУ на эти изделия. Изделия укладывают в штабеля так, чтобы была видна их заводская марка, а монтажные петли были обращены вверх. Положение железобетонных изделий должно воспроизводить условия их работы в здании: стеновые панели устанавливают почти вертикально (отклонение от вертикали 8...12°); плиты перекрытий, лестничные марши, балки, перемычки — горизонтально (рис. 13.9). Исключение составляют лишь колонные и сваи, которые хранят в горизонтальном положении.

При хранении изделий в штабелях нижний ряд укладывают на деревянные бруски-подкладки сечением не менее 100 х 100 мм, а каждый последующий ряд прокладывают брусками или досками.

Контрольные вопросы

1. Какую роль в железобетоне играет бетон, а какую арматура? 2. Расскажите о напряженно-армированном бетоне. 3. В чем принципиальное различие монолитного и сборного железобетона? 4. Как на заводах сборного железобетона ускоряют твердение бетона? 5. Расскажите об основных видах сборных железобетонных изделий. Чем отличается стеновая панель от стенового блока?

ГЛАВА 14. ИСКУССТВЕННЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

14.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В предыдущих главах было рассказано о главнейших искусственных каменных материалах на основе цемента — бетоне и железобетоне. Эта глава посвящена другим видам искусственных каменных материалов, точнее изделий, получаемых на основе вяжущих.

В зависимости от вида вяжущего различают изделия на основе цемента, извести, гипса и др. Вид вяжущего и принятый способ производства определяют условия твердения таких материалов: естественное твердение, пропаривание, автоклавная обработка.

В качестве заполнителей для получения искусственных каменных изделий используют разнообразные материалы, обычный песок, керамзит и другие пористые заполнители, опилки и стружки и специфический армирующий заполнитель — асбест.

К основным искусственным каменным материалам и изделиям относятся: силикатный кирпич и силикатобетонные изделия; гипсобетонные изделия, стеновые камни из легкого и ячеистого бетона, арболит, цементно-стружечные плиты и асбестоцементные изделия.

В отличие от керамики материалы на минеральных вяжущих получаются за счет естественного твердения или термообработки при температурах до 200° С (керамический кирпич обжигают при 900...1100° С). Таким образом, энергозатраты на производство изделий на минеральных вяжущих, даже с учетом энергозатрат на получение самого вяжущего, меньше, чем для получения керамики. Однако керамические материалы, как правило, более долговечны и стойки к действию воды, агрессивных растворов и высоких температур.

14.2. СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ И СИЛИКАТОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Известно, что известь относится к воздушным вяжущим веществам, а известково-песчаные растворы являются малопрочными и неводостойкими материалами. В то же время основной продукт твердения портландцемента — гидросиликаты кальция $n\text{Ca} \cdot \text{SiO} \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Естественно предположить, что известково-песчаный раствор также при определенных условиях должен твердеть с образованием гидросиликатов, так как в нем есть все необходимые для этого компоненты: известь Ca(OH)_2, песок SiO_2 и вода H_2O.

Первым, кто получил достаточно водостойкий и прочный материал на основе извести и песка, был немецкий ученый В. Михаэлис, который

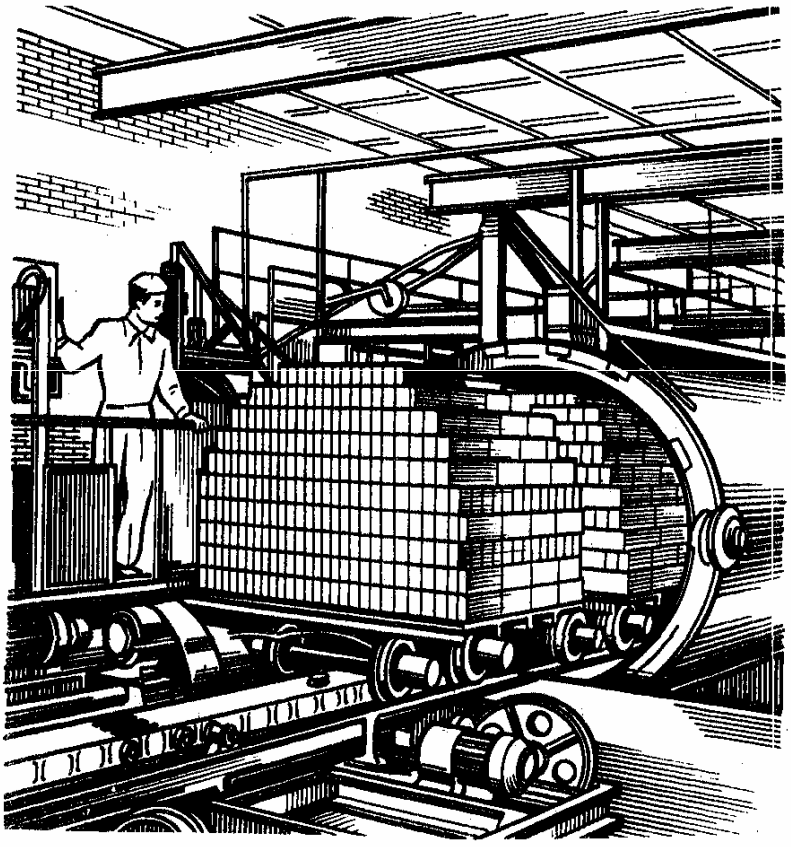
в 1880 г. предложил обрабатывать известково-песчаную смесь в атмосфере насыщенного пара при температуре 150...200° С.

Известно, что для получения насыщенного пара температурой выше 100° С необходимо давление выше атмосферного, причем оно должно быть тем выше, чем выше температура насыщенного пара. При температуре 150...200° С и соответствующем ей давлении 0,9...1,3 МПа известь, песок и вода образуют гидросиликаты кальция:

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow nCaO \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$$

Открытие Михаэлиса было использовано для производства так называемого силикатного (известково-песчаного) кирпича. К началу XX в. в России было уже пять заводов, выпускавших силикатный кирпич, а в настоящее время силикатный кирпич занял такое же место в ряду строительных материалов, как и керамический.

Современное производство силикатного кирпича заключается в следующем. Сырьевую смесь, в состав которой входит 90...95 % песка, 5...10 % молотой негашеной извести и некоторое количество воды, тщательно перемешивают и выдерживают до полного гашения извести. Затем из этой смеси под большим давлением (15...20 МПа) прессуют кирпич, который укладывают на вагонетки и направляют для твердения в автоклады (рис. 14.1) — толстостенные стальные цилиндры диаметром до 2 м и длиной до 20 м с герметически закрывающимися крышками. В автоклаве в атмосфере насыщенного пара при давлении 0,9 МПа и температуре 175° С кирпич твердеет 8...14 ч. Из автоклава выгружают почти готовый кирпич, который выдерживают 10...15 дн для карбонизации непрореагировавшей извести углекислым газом воздуха, в результате чего повышаются водостойкость и прочность кирпича. Плотность обыкновенного силикатного кирпича не-



Р и с . 14.1. Загрузка свежеотформованного силикатного кирпича в автоклав

сколько выше, чем полнотелого керамического. Снижение плотности кирпича и камней достигается формованием в них пустот или введением в сырьевую массу пористых заполнителей.

Силикатный кирпич, так же, как и керамический, в зависимости от размеров может быть:

одинарный (полнотелый или с пористыми заполнителями) 250 х х 120 х 65 мм;

утолщенный (пустотелый или с пористыми заполнителями) 250 х х 120 х 88 мм (масса утолщенного кирпича не должна быть более 4,3 кг);

силикатный камень (пустотелый) 250 х 120 х 138 мм.

Цвет кирпича — от молочно-белого до светло-серого. Выпускают также лицевой кирпич с повышенными физико-механическими свойствами; он может быть цветным — окрашенным в массе или по лицевым граням щелочестойкими пигментами в голубой, зеленоватый, желтый и другие светлые тона.

В зависимости от предела прочности при сжатии и изгибе силикатный кирпич и камни подразделяют на семь марок: 300; 250; 200; 150; 125; 100 и 75, имеющих средние значения прочности при сжатии соответственно не менее 30...7,5 МПа. Водопоглощение силикатного кирпича не менее 6 %. Марки по морозостойкости у кирпича и камней — F50; 35; 25 и 15; для лицевых изделий морозостойкость должна быть не ниже 25.

Существенным недостатком силикатного кирпича по сравнению с керамическим является пониженная водостойкость и жаростойкость.

Силикатный кирпич применяют для кладки наружных и внутренних стен надземных частей зданий и сооружений. Использовать его в конструкциях, подвергающихся воздействию воды (фундаменты, канализационные колодцы и т. п.) и высоких температур (печи, дымовые трубы и т. п.), запрещается.

Кроме известково-песчаного силикатного кирпича выпускают *известково-шлаковый* и *известково-зольный,* в которых вместо песка частично или полностью используют промышленные отходы: золы теплоэлектростанций и шлаки. Свойства этих видов кирпича аналогичны свойствам известково-песчаного.

До 50-х годов единственным видом силикатных автоклавных изделий были силикатный кирпич и небольшие камни из ячеистого силикатного бетона. Однако благодаря работам российских ученых (А.В. Волженского, П.И. Боженова и др.) в СССР впервые в мире было создано производство крупноразмерных силикатобетонных автоклавных изделий для сборного строительства. В настоящее время почти все элементы зданий и сооружений (панели, плиты перекрытий, элементы лестниц и др.) могут быть изготовлены из армированного силикатного бетона, который по своим свойствам почти не уступает железобетонным, а благодаря применению местных сырьевых материалов и про-

мышленных отходов обходится на 15...20 % дешевле, чем аналогичные железобетонные элементы на портландцементе.

Силикатобетонные изделия бывают тяжелые (аналогичные обычному бетону) и легкие (на основе пористых заполнителей) или ячеистые (пено- и газосиликаты).

14.3. ГИПСОВЫЕ И ГИПСОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Изделия на основе гипса получают как из гипсового теста (т. е. из смеси гипса и воды), так и из смеси гипса, воды и заполнителей. В первом случае изделия называют гипсовыми, а во втором — гипсобетонными. Иногда вместо гипса применяют более водостойкое гипсоцементно-пуццолановое вяжущее.

В качестве заполнителей при изготовлении гипсобетонных изделий используют пористые заполнители (керамзит, шлаковую пемзу), опилки, стружки, стебли камыша, льняную костру, макулатуру и т. п. Для уменьшения плотности к гипсовым смесям добавляют вспенивающие вещества.

Гипс — воздушное вяжущее, поэтому гипсовые и гипсобетонные изделия (панели и плиты перегородочные, плиты для оснований пола, листы обшивочные, вентиляционные короба, камни для кладки стен, архитектурные детали) применяют в основном для внутренних частей зданий, не несущих больших нагрузок. Изделия из гипса могут быть сплошными и пустотелыми, армированными и неармированными.

У гипсовых изделий невысокая плотность (1100...1400 кг/м^3); они несгораемы, хорошо изолируют от шума, поддаются механической обработке и легко пробиваются гвоздями. Изготовлять гипсовые изделия несложно, так как гипс твердеет быстро.

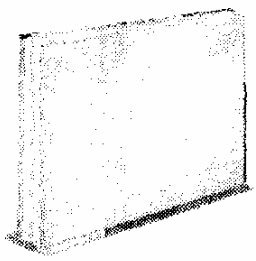
Наряду с перечисленными положительными свойствами у гипсовых изделий есть и существенные недостатки: низкая водостойкость, гигроскопичность, хрупкость и малая прочность при изгибе. Изделия из гипса нельзя применять в помещениях с влажностью воздуха более 65 %. Для повышения водостойкости гипсовые изделия покрывают водонепроницаемыми красками. Чтобы увеличить прочность при изгибе, гипсовые изделия армируют, применяя для этой цели деревянные рейки, стебли камыша, органические волокна.

Гипсобетонные панели для перегородок применяют во всех типах жилых, общественных и промышленных зданий. Панели размером на комнату (высотой до 4 м, длиной до 6,6 м) могут быть как сплошные, так и с проемами для дверей и фрамуг. Толщина панелей 60, 80 и 100 мм. Класс гипсобетона по прочности для панелей — не менее В3,5.

Гипсобетонные панели для помещений с повышенной влажностью, например, санитарно-технических кабин, изготовляют на гипсоцемен-

тно-пуццолановом вяжущем или гидрофобизированном гипсе, класс бетона также не менее В3,5.

К гипсобетонным панелям предъявляются в основном требования по прочности и звукоизоляции. Этим требованиям отвечает гипсобетон состава 1 : 1 : 1 (гипс : песок : опилки) плотностью 1100...1400 кг/м^3. Получают панели в основном методом непрерывного проката или вертикального формования в кассетах. Панели армируют каркасом из деревянных реек, а по контуру панели выполняют обвязку из деревянных брусков. Весь цикл производства составляет 30...60 мин.



Р и с . 14.2. Пазогребневая гипсовая плита для перегородок

Гипсовые панели хранят и транспортируют в вертикальном положении. В панели с проемами при транспортировании и монтаже устанавливают укрепляющие раскосы.

Гипсовые плиты для перегородок изготовляют из гипса марок Г4 и Г5 по литьевой технологии. Плиты выпускают размерами: длина 670...800 мм, ширина 400...500 мм и толщина 80...100 мм. Большей частью плиты имеют паз и гребень, что облегчает монтаж перегородок (рис. 14.2). Плотность гипсового камня около 1000 кг/м^3. Масса 1 м^2 перегородки 80...100 кг. Прочность при сжатии не менее 5 МПа.

Выпускают два вида плит: обыкновенные и влагостойкие. Последние изготовляют, вводя в гипс гидрофобные добавки. Водопоглощение по массе обычных плит < 35 %, влагостойких — < 5 %.

Возможно изготовление плит большего размера, армируемых деревянными рейками, камышом или растительными волокнами.

Размер перегородок из гипсовых плит: высота не более 3,6 м, длина не более 6 м. При больших размерах требуется установка разделительных укрепляющих элементов из металла или бетона, надежно соединенных с несущими конструкциями.

Гипсовые вентиляционные блоки делают высотой «на этаж»; толщина блока 180...200 мм при диаметре вентиляционных каналов 140 мм, ширина зависит от числа вентиляционных каналов. Класс гипсобетона для вентиляционных блоков не менее В5.

Гипсокартонные листы — листовой отделочный материал, представляющий собой тонкий слой (6...20 мм) затвердевшего гипсового вяжущего, облицованного со всех сторон (кроме торцовых) картоном. В гипсовое тесто в процессе производства вводят пенообразующие добавки для снижения плотности и органические волокна с целью армирования гипсового камня и другие добавки. Изготовляют гипсокартонные листы методом непрерывного проката, причем твердеющий гипс прочно приклеивает к себе листы картона. Назначение картона — повысить прочность материала на изгиб и придать ему гладкую поверхность.

Гипсокартонные листы выпускают длиной 2,5...4,8 м, шириной 0,6...1,2 м, толщиной 8...25 мм, плотностью 850...950 кг/м^3.

Кроме гипсокартонных листов выпускают *гипсоволокнистые листы*, в которых в качестве армирующего компонента используют целлюлозные волокна, получаемые из картонной и бумажной макулатуры, и др. Такие листы используют для устройства сборных стяжек при настилке полов.

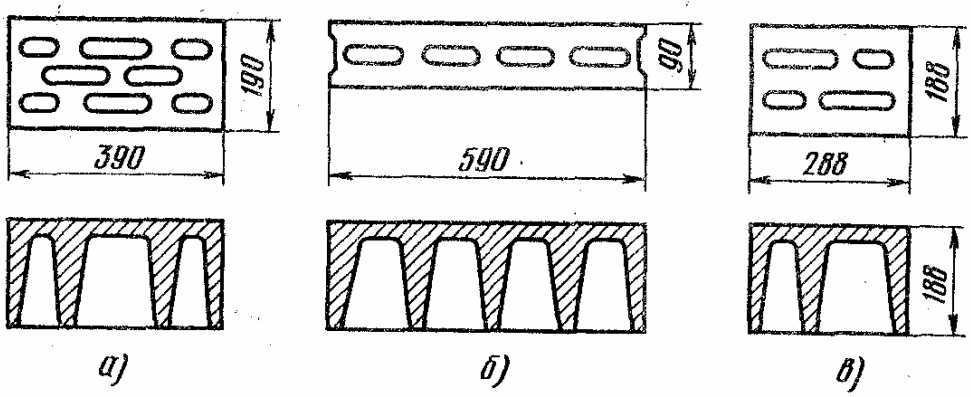
Гипсовые листовые материалы относятся к трудносгораемым материалам. Их применяют для отделки стен и потолков и устройства перегородок в помещениях с нормальным влажностным режимом. Существенное достоинство листовых материалов — большие размеры, что ускоряет процесс отделки и устройства перегородок. Крепят листы клеящими мастиками или с помощью металлических профилей; крепить гвоздями не рекомендуется из-за возможности коррозии металла в гипсе.

14.4. БЕТОННЫЕ КАМНИ И МЕЛКИЕ БЛОКИ

На основе вяжущих изготовляют бетонные камни и мелкие блоки. Применение их для кладки стен вместо кирпича дает существенный экономический эффект, так как благодаря большому размеру камней и блоков достигается высокая производительность труда каменщика, а стоимость 1 м^3 камней и блоков ниже стоимости такого же количества кирпича.

Бетонные стеновые камни для несущих и ограждающих конструкций всех типов зданий изготовляют размерами от 288 х 138 х 138 до 390 х 190 х 188 мм, массой не более 32 кг, из тяжелых и легких бетонов на цементном, силикатном и гипсовом вяжущих. Применяют их для кладки наружных стен (рядовые и лицевые) и фундаментов (рис. 14.3). Стеновые камни при плотности бетона более 1600 кг/м^3 должны быть пустотелыми. Для фундаментов камни изготовляют только из тяжелого бетона без пустот. Лицевые камни могут быть окрашены рельефным рисунком или покрыты декоративным заполнителем. Камни подразделяют на семь марок: от 25 до 200. Камни марок 25 и 35 получают из легких бетонов на пористых заполнителях. Марки камней по морозостойкости: F15, 25, 35 и 50.

Мелкие стеновые блоки из ячеистого бетона применяют для кладки наружных и внутренних стен малоэтажных зданий и заполнения каркаса многоэтажных зданий. Блоки рекомендуются для применения в помещениях с относительной влажностью не более 75 %. Для стен подвалов, цоколей и других частей зданий, где возможно сильное увлажнение бетона, такие блоки применять запрещается. Изготовляют их из ячеистых бетонов (см. § 12.7).



Р и с . 14.3. Бетонные камни:
а — стеновой цельный; *б* — перегородочный; *в* — стеновой модульный

В зависимости от средней плотности ячеистого бетона (кг/м^3) блоки выпускают восьми марок от D500 до D1200. Класс бетона по прочности при сжатии (МПа) соответственно от В1,5 до В12,5. Морозостойкость блоков для наружных стен должна быть не ниже F25, а блоков для внутренних стен — F15.

Стандартом предусмотрено 10 типоразмеров блоков от 300 х 250 х х 300 мм до 300 х 200 х 600 мм (размеры номинальные). Блоки выпускают для кладки на растворе или на клею (второй вариант более эффективен с точки зрения обеспечения теплоизоляционных показателей стены). Различие этих двух типов блоков заключается в размерах (при кладке на клею значительно меньше толщина шва) и в точности соблюдения размеров и геометрии блоков. Так, допустимые искривления граней и ребер у блоков для кладки на растворе — 5 мм, а у блоков для кладки на клею — 1 мм.

Большое преимущество блоков из ячеистого бетона — низкая плотность (обычно 500...600 кг/м^3), благодаря чему из них можно возводить стены толщиной 30...40 см, отвечающие нормативам СНиП по термическому сопротивлению, без специальной теплоизоляции.

14.5. АСБЕСТОЦЕМЕНТ И АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Бетонные и железобетонные изделия — массивные элементы толщиной, как минимум, в несколько сантиметров. Получить легкие тонкостенные изделия из бетона на цементе с обычной прутковой или проволочной арматурой невозможно. Эту проблему можно решить, равномерно распределяя в мелкозернистой смеси на основе портландцемента (или другого вяжущего) тонкие армирующие волокна (отрезки стальной проволоки, асбестовое волокно, стекловолокно и др.). Из таких композиционных материалов, называемых ***фибробетоном,*** изготовляют большеразмерные листы, трубы и фасонные изделия толщи-

ной всего несколько миллиметров. Самый распространенный и эффективный материал такого рода — *асбестоцемент,* получаемый на основе распушенного асбеста.

Асбест (от греч. *asbestos* — неразрушаемый) — собирательное название группы тонковолокнистых минералов, образующихся в земной коре при воздействии геотермальных вод на ультраосновные магматические породы. Особенностью асбеста является способность его минеральных агрегатов разделяться (распушаться) на тончайшие (диаметром в доли микрона) мягкие волоконца. Благодаря этому свойству асбест получил название «горный лен».

Различают два вида асбеста: амфиболовый (кислотостойкий) и хризотиловый (щелочестойкий). Россия обладает крупнейшими в мире месторождениями хризотилового асбеста, который благодаря уникальным свойствам используется во многих отраслях техники.

Хризотил-асбест — гидросиликат магния $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Элементарные кристаллы хризотил-асбеста — тончайшие трубочки диаметром в сотые доли микрометров. Практически асбест разделяется на пучки волокон диаметром 10...100 мкм, прочность которых на разрыв составляет 600...800 МПа, что сравнимо с лучшими марками стали.

Хризотиловый асбест обладает высокой адсорбционной способностью; особенно активно он адсорбирует ионы Ca^{++}, поэтому его волокна хорошо сцепляются с цементным вяжущим. Щелочестойкость хризотил-асбеста обеспечивает его устойчивость в щелочной среде цементного камня.

Асбест, помимо высокой прочности, обладает уникальным сочетанием ценных свойств:

- низкой теплопроводностью [0,35...0,41 Вт/(м · К) в нераспушенном виде];
- устойчивостью к повышенным температурам (нагрев до 400...500° С не вызывает в асбесте необратимых изменений);
- высоким коэффициентом трения (например, по стали — 0,8).

Из асбестового волокна изготовляют ткани, картон, бумагу, шнуры, которые благодаря огнестойкости асбеста используют для высокотемпературной тепловой изоляции. Из смеси асбеста с синтетическими смолами получают асбестотехнические изделия для автотракторной (тормозные колодки и т. п.) и электротехнической (электроизоляционные материалы) промышленности.

В последние годы в Европе и США развернулась кампания по запрету использования асбеста, мотивируемая его вредностью. В основе этой кампании лежат не медико-биологические, а конъюнктурные соображения, связанные, в основном, с отсутствием месторождений асбеста в большинстве стран Европы и США. Так, при оценке воздействия асбеста на организм человека не делается различия между кислотостойким амфиболовым асбестом, имеющим в составе тяжелые металлы и способным накапливаться в организме человека, и хризо-

тиловым, разрушающимся в кислых средах, в том числе и в человеческом организме.

В качестве альтернативы природному асбесту предлагаются искусственные минеральные волокна, стоимость которых в несколько раз превышает стоимость асбеста, а их безопасность для человека практически не изучена. Асбестовое волокно — природный материал, не требующий для своего производства энергоемких технологий, поэтому асбест значительно экологичнее искусственных волокон.

Медики считают, что хризотил-асбест при соблюдении правил работы с ним не представляет опасности для здоровья человека. В асбестоцементных материалах асбест заключен в цементной матрице, что исключает контакт человека с ним и делает его безвредными во всех случаях применения.

Асбестоцемент — искусственный каменный материал, получаемый при затвердевании смеси портландцемента, асбеста (15...20 % от массы цемента) и воды. Асбест хорошо сцепляется с твердеющим цементом, и благодаря высокой прочности при растяжении асбестовое волокно армирует материал по всему объему.

Асбестоцементные изделия в основном производят путем отливки жидко-вязкой массы на частую металлическую сетку с последующим обезвоживанием и формованием. Таким образом получают плоские и волнистые листы и трубы.

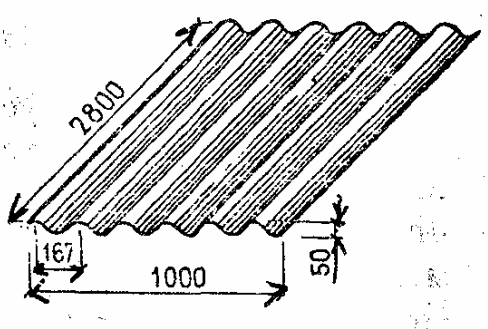
Используется и другой способ формования асбестоцементных изделий — экструзия — выдавливание пластичной массы, как при производстве кирпича (см. § 5.3). Таким образом получают погонажные изделия: подоконные плиты, швеллеры, пустотелые плиты и панели.

Асбестоцемент при сравнительно небольшой плотности (1600...2000 кг/м^3) обладает высокими прочностными показателями (предел прочности при изгибе до 30 МПа, а при сжатии до 90 МПа). Он долговечен, морозостоек (через 50 циклов замораживания-оттаивания теряет не более 10 % прочности) и практически водонепроницаем.

Недостатки асбестоцемента: хрупкость (асбестоцемент не выдерживает сильных ударных нагрузок), набухание и усадка при изменении влажности асбестоцемента, сопровождающиеся короблением.

Волнистые кровельные листы («шифер») — основной вид листовых асбестоцементных изделий. Шифер широко используют в качестве кровельного материала (его доля в общем объеме производства кровельных материалов — около 50 %). Кровельные листы выпускают 6 типоразмеров: длиной 1,2...2,5 м; шириной 0,69...1,15 м; толщиной 5.5...7,5 мм.

Кроме обычных выпускают листы, окрашенные атмосферостойкими красками как в массе, так и с поверхности. В последнее время начался выпуск плоских с фигурной кромкой листов, имитирующих



Р и с . 14.4. Волнистый асбестоцементный лист усиленного профиля (толщина листа 8 мм)

мелкоштучную черепицу (рис. 14.4). Долговечность асбестоцементных кровель — до 50 лет.

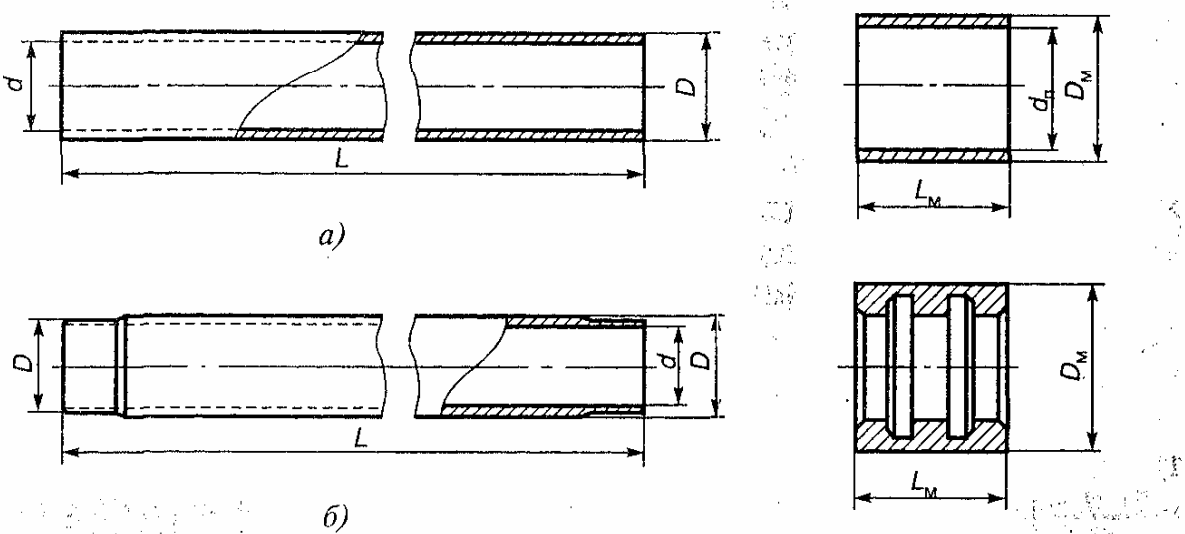
Кроме волнистых листов выпускают *плоские облицовочные листы* длиной до 2,8 м, шириной до 1,6 м и толщиной 4...10 мм. Плоские листы используют для устройства стен и перегородок по деревянному каркасу, для изготовления санитарно-технических кабин, облицовки коридоров, лестниц, балконов. Санитарными нормами разрешено использование асбестоцементных плит для отделки интерьеров при условии облицовки их поверхности полимерными пленками или окраски эмалями.

Асбестоцементные трубы — очень перспективный вид труб самого широкого назначения, обладающих комплексом ценных свойств. Они не подвержены коррозии как металлические, значительно легче их и не склонны к обрастанию. За счет низкой теплопроводности у асбестоцементных труб меньше проблем с промерзанием. Асбестоцементные трубы соединяются с помощью муфт.

Асбестоцементные трубы выпускают безнапорные и напорные, отличающиеся толщиной и прочностными показателями (рис. 14.5).

Безнапорные трубы (диаметром 100 и 150 мм, длиной от 3 до 6 м) применяют для ненапорной канализации, дымоходов, прокладки кабелей и дренажных коллекторов, а также столбов для оград.

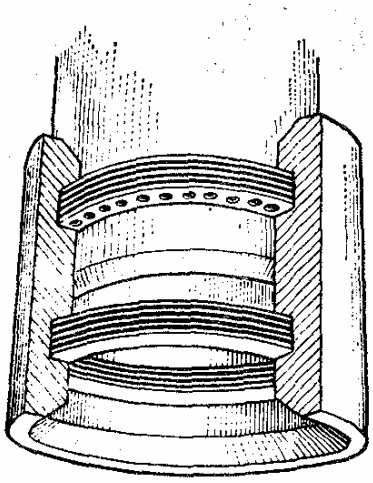
Напорные трубы (диаметром от 100 до 500 мм, длиной 4, 5 и 6 м) используют для водо- и газоснабжения, вентиляции, устройства ко-



Р и с . 14.5. Асбестоцементные трубы с муфтами:
а — безнапорная; *б* — напорная

лодцев и мусоропроводов. Особенно эффективны такие трубы для прокладки теплотрасс. Трубы выпускают под рабочее давление 0,6; 0,9; 1,2 и 1,5 МПа.

Напорные трубы стыкуются с помощью самоуплотняющихся муфт (рис. 14.6). Резиновые уплотнители муфт имеют несквозные цилиндрические пустоты. В них входит жидкость, транспортируемая по трубам под давлением, и расширяет резиновые уплотнители, обеспечивая тем самым герметичность стыка.



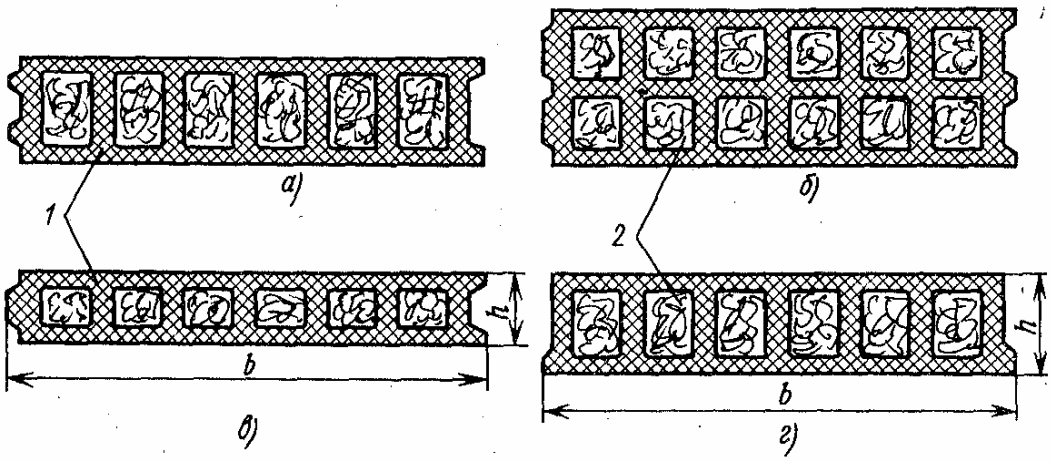
Р и с . 14.6. Асбестоцементная самоуплотняющаяся муфта с резиновыми кольцами

Экструзионные изделия. В отличие от изделий, получаемых по традиционной технологии, в которых волокна ориентированы преимущественно в плоскости изделия, в экструзионных волокна расположены беспорядочно. Из-за этого для обеспечения равной прочности расход асбеста при экструзионной технологии выше и составляет около 20 % (от общей массы материала) против 15 % при традиционном методе формования.

Поверхность экструзионных изделий гладкая. Надо отметить, что при резком нагреве до 400...600° С они не «взрываются», как обычные (например, шифер), имеющие слоистую структуру. Морозостойкость экструзионных изделий не менее F50.

Экструзией получают подоконные доски, профильные погонажные изделия и многопустотные панели и настилы.

Многопустотные панели (рис. 14.7) — перспективный вид экструзионных изделий: длина панелей — 3...6 м; ширина — 0,6 м и общая



Р и с . 14.7. Многопустотные экструзионные асбестоцементные изделия (поперечный разрез):

а, б — стеновые панели; *в* — перегородочная панель; *г* — кровельная плита; *1* — асбестоцемент; *2* — пустоты, заполненные теплоизоляционным материалом

толщина — 60 и 120 мм. Такие панели с пустотами, заполненными теплоизоляционными материалами (минеральной ватой, пенопластами и т. п.), можно использовать для стен и покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий, спортивных сооружений и т. п.

14.6. ДЕРЕВОЦЕМЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Неделовую древесину и отходы деревообработки, составляющие более половины заготовляемой древесины, целесообразно использовать в качестве заполнителей в материалах на основе минеральных вяжущих (в основном на портландцементе). При этом используются положительные свойства обоих компонентов:

- минеральное вяжущее защищает древесину от возгорания и гниения, выступая в роли антипирена и антисептика;
- древесина позволяет получать материалы низкой плотности и достаточно высокой прочности.

Для нейтрализации экстрагируемых из древесины органических веществ, замедляющих твердение вяжущего, древесный заполнитель (особенно лиственных пород) обрабатывают специальными растворами, содержащими жидкое стекло, хлорид кальция, сульфата аммония, известь и др. Эти же компоненты можно добавлять непосредственно в бетонную смесь.

На основе неделовой древесины и отходов деревообработки производят цементностружечные плиты, фибролит, арболит, ксилолит и другие материалы.

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) получают прессованием древесных стружек с цементным вяжущим и минеральными добавками.

Стружки готовят из неделовой древесины как хвойных, так и лиственных пород (размеры стружки: l = 15...45 мм; b = 4...6 мм; δ = = 0,15...0,5 мм). В качестве минерального вяжущего применяют портландцемент М500 без пластифицирующих добавок. Расход основных компонентов на 1 м^3 ЦСП: цемент — 750...850 кг; стружка — 280...350 кг; вода — до необходимой консистенции.

Готовую смесь укладывают на поддоны и прессуют при давлении 1,8...2,0 МПа, после чего проводят термообработку при 80...90° С в течение 8 ч. Окончательное твердение плит протекает в нормальных условиях в течение 14 дн.

Толщина плит — 10...24 мм; плотность ЦСП — 1100...1400 кг/м^3; теплопроводность (в сухом состоянии) — 0,3...0,4 Вт/(м · К), водопоглощение (по массе) — 9...16 %; набухание по толщине после 24 ч выдержки в воде — 1...2 %.

Цементно-стружечные плиты — прочный и довольно водостойкий материал. Их используют для изготовления перегородок, потолков, подстилающих слоев полов, ограждений лоджий, вентиляционных коробов и других элементов в жилом, промышленном и сельскохозяй-

ственном строительстве. ЦСП применяют также для изготовления сборных щитовых зданий.

Арболит (от лат. *arbo* — дерево + греч. *lithos* — камень) — легкий бетон, получаемый из смеси дробленых древесных отходов (в том числе опилок) и портландцемента. В зависимости от средней плотности арболит может быть:

- теплоизоляционный ($\rho_m < 500$ кг/м^3);
- конструкционно-теплоизоляционный ($\rho_m = 500...800$ кг/м^3).

По прочности при сжатии стандартных образцов арболит делят на классы от В0,35 до В3,5.

Плотность арболита — 400...800 кг/м^3; прочность при сжатии — 0,5...6,0 МПа; теплопроводность — 0,08...0,17 Вт/(м · К); равновесная (сорбционная) влажность при влажности воздуха ($\gamma = 40...90$ %) — 4...12 %; морозостойкость — 25...30 циклов.

Арболит как в виде блоков и панелей, так и в монолитном варианте применяют для стен, перегородок, теплоизоляционных покрытий жилых и общественных зданий с нормальным режимом эксплуатации. Конструкционный цементный арболит можно армировать стальной арматурой.

Нельзя применять арболит для стен подвалов, цокольной и карнизных частей зданий, т. е. там, где возможно непосредственное воздействие воды.

Ксилолит (от греч. *xylon* — древесина) — разновидность арболита, приготовляемого из опилок, древесной муки и магнезиального вяжущего (см. § 8.4). Отличается высокой прочностью, достаточной твердостью и небольшой теплопроводностью. Широко применялся в конце XIX — начале XX в. для устройства бесшовных монолитных полов, по свойствам, близким паркетным; из ксилолита также изготовлялись плитки. В последнее время к ксилолиту вновь возникает интерес у строителей.

Фибролит (от лат. *fibra* — волокно) получают из тонких длинных древесных стружек ($l = 50...200$ мм; $b = 2...5$ мм; $\delta = 0,3...0,5$ мм), называемых «древесная шерсть», и портландцемента (реже магнезиального вяжущего). Смесь из стружек и вяжущего формуется в виде плит, подпрессовывается и выдерживается до затвердевания вяжущего.

Длина плит — 2,4 и 3,0 м; ширина — 0,6 и 1,2 м; толщина — 30...100 мм; средняя плотность плит (*марка*) — 300; 400 и 500 кг/м^3; прочность при изгибе — от 0,4 до 1,5 МПа; теплопроводность — 0,07...0,13 Вт/(м · К); водопоглощение (по массе) — не более 35...40 %.

Фибролитовые плиты применяют в качестве конструкционно-теплоизоляционного (марки 400 и 500) и теплоизоляционного (марка 300) материала для заполнения стен, перегородок, утепления перекрытий, но с обязательной защитой поверхностей от продувания.

Благодаря развитой системе открытых пор фибролит обладает хорошими акустическими свойствами, поэтому его используют как звукопоглощающий материал.

Фибролитовые плиты можно использовать в качестве несъемной опалубки при возведении бетонных стен: в них фибролит остается как теплоизоляционный элемент стены.

ГЛАВА 15. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПЛАСТМАССЫ

15.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Пластмассы (пластики) — материалы, обязательным компонентом которых являются полимеры. В период формования изделий полимер находится в вязкотекучем или высокоэластичном состоянии, а в готовых материалах и изделиях — в отвержденном состоянии. Основные виды полимеров, используемые в строительных пластмассах, описаны в гл. 10. Кроме полимеров в состав большинства пластмасс входят наполнители, пластификаторы, красители и специальные добавки.

Пластмассы — относительно новый вид материалов. Первые пластмассы *резина* и *эбонит* (эластичный и твердый продукты вулканизации природного каучука) появились в середине XIX в., когда был открыт процесс вулканизации. В 1872 г. был получен *целлулоид* — пластмасса на основе модифицированной целлюлозы, а в 1887 г.— *галалит* — пластмасса на основе казеина, белковой составляющей молока. Первый синтетический полимер — *фенол-формальдегидная смола* и пластмассы на ее основе — появились в начале XX в. В середине XX в. началось производство пластмасс на основе *поливинилхлорида, полистирола* и других синтетических полимеров. В 50—60-х годах активно начало развиваться производство пластмасс на базе *полиэтилена, эпоксидных* и *полиуретановых смол.*

В наше время пластмассы заняли заметное место во всех отраслях хозяйства, в том числе и в строительстве. Несмотря на значительно более высокую стоимость, они оказались конкурентоспособными по отношению к традиционным строительным материалам. Основная причина этого объясняется высокой технологичностью пластмасс. Они легко перерабатываются в самые различные материалы и изделия, из которых, в свою очередь, чрезвычайно просто получать готовые конструкции. Яркий пример этому — линолеум, настилка которого сводится к раскатыванию рулона материала по поверхности пола и закреплению его клеем. Таким образом получается декоративное, гигиеничное и износостойкое покрытие пола с необходимыми тепло- и звукоизоляционными свойствами.

Свойства пластмасс. У пластмасс довольно необычный для строительных материалов набор свойств (как положительных, так и отрицательных):

- высокая прочность при малой плотности (ρ_m < 1500 кг/м^3, а у газонаполненных пластмасс уникально низкая плотность — 50...10 кг/м^3);
- более низкий, чем у традиционных материалов, модуль упругости и соответственно высокая деформативность; заметная ползучесть (развитие деформаций при длительном воздействии нагрузок);
- высокая износостойкость при малой поверхностной твердости;
- водостойкость, водонепроницаемость и универсальная химическая стойкость (к кислотам, щелочам, растворам солей);
- невысокая теплостойкость (в основном 100...200° С; для некоторых пластмасс 300...350° С) и зависимость механических свойств от температуры;
- декоративность — способность окрашиваться в яркие тона и принимать нужную текстуру поверхности;
- хорошие электроизоляционные свойства и склонность к накапливанию статического электричества;
- склонность к старению (особенно под действием УФ-излучения и кислорода воздуха);
- горючесть, усугубляемая токсичностью продуктов горения;
- экологическая проблемность пластмасс.

Применение пластмасс в строительстве целесообразно и экономически оправданно в таких вариантах, когда при небольшом расходе полимера на единицу продукции (м^2 или м^3) достигается определенный технико-экономический эффект. Это, например, декоративные и гидроизоляционные полимерные пленки, листовые облицовочные материалы, покрытия полов, лаки, краски, клеи и мастики, трубы и другие погонажные изделия, санитарно-технические изделия, а также ультралегкие теплоизоляционные газонаполненные пластмассы (пено- и поропласты).

Состав пластмасс. Основные компоненты пластмасс: полимер, наполнитель, пластификатор, краситель и специальные добавки.

Полимер выполняет роль связующего и определяет основные свойства пластмассы.

Наполнитель уменьшает расход полимера и придает пластмассе определенные свойства. По виду и структуре наполнители могут быть порошкообразные (мел, тальк, древесная мука), грубодисперсные (стружка, песок, щебень), волокнистые (стекловолокно, целлюлозные волокна и т. п.), листовые (бумага, древесный шпон и т. п.). Волокнистые и листовые наполнители являются армирующими наполнителями, существенно повышающими прочность и модуль упругости пластмасс. Так, стеклопластики, углепластики, бумажнослоистые пластики очень прочные и легкие конструкционные материалы.

Пластмассы могут быть наполнены (до 90...95 % по объему) воздухом. Такие материалы, называемые пенопластами, обладают очень высокими теплоизоляционными свойствами.

Пластификаторы — вещества, повышающие эластичность пластмасс. Например, жесткий поливинилхлорид в линолеуме пластифицируется слаболетучими вязкими жидкостями (диоктилфталатом, трикрезилфосфатом и др.). Они, проникая между молекулами полимера, повышают их подвижность. Это делает материал пластичным. Пластификаторы также облегчают переработку пластмасс, снижая температуру перехода в вязкопластичное состояние.

Пигменты, применяемые в пластмассах, могут быть как минеральные, так и органические. Чтобы пластмасса длительно сохраняла цвета, от пигментов требуется в основном светостойкость, так как полимеры, будучи сами химически инертными, защищают пигменты от других агрессивных воздействий.

Стабилизаторы и *антиоксиданты* — необходимый компонент многих пластмасс, так как полимеры под действием солнечного света и кислорода воздуха стареют (происходит деструкция полимера и окислительная полимеризация), что приводит к потере эксплуатационных свойств и разрушению пластмасс.

Отвердители и *вулканизаторы* используются в тех случаях, когда необходимо произвести отверждение жидких олигомеров (например, отверждение эпоксидной смолы аминными отвердителями) или сшивку макромолекул термореактивного полимера (например, вулканизация каучука серой, отверждение фенолформальдегидных смол уротропином). В любом случае происходит укрупнение молекул исходных продуктов с образованием пространственных сеток с помощью низкомолекулярных веществ. В ряде случаев отвердителями могут служить кислород или влага, содержащиеся в воздухе.

Пластмассы и экология. Широкое использование в нашей жизни пластмасс породило новую экологическую проблему. Большинство полимеров и соответственно пластмасс — биологически инертные (безвредные для человека) материалы, поэтому может показаться, что пластмассы — экологически чистые материалы. В действительности это далеко не так. Производство синтетических полимеров связано со сложными и энергоемкими химическими процессами с вредными для человека мономерами, сопровождающимися вредными выбросами в атмосферу.

Готовые полимеры и материалы на их основе (при условии правильно проведенного синтеза и переработки) в большинстве своем безвредны. Однако отслужившие свой век пластмассовые изделия не вписываются в природный цикл: они не гниют и не разлагаются под действием природных агентов, поэтому их количество постоянно увеличивается. При сжигании полимеры разлагаются с выделением токсичных низкомолекулярных продуктов. Пластмассы на основе тер-

мопластичных полимеров могут использоваться вторично, но это не решает полностью проблемы утилизации пластмасс. Один из вариантов решения этой проблемы — получение биологически разлагаемых полимеров, разработке которых в настоящее время уделяется серьезное внимание.

15.2. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАСТМАСС

Полимерные материалы, как уже говорилось, отличаются технологичностью. Они могут перерабатываться в изделия самыми разнообразными методами. При этом параметры переработки (температура и давление) значительно ниже, чем при переработке таких материалов, как металлы, стекло и керамика. Способ обработки и ее режим определяются видом полимера и типом получаемого изделия.

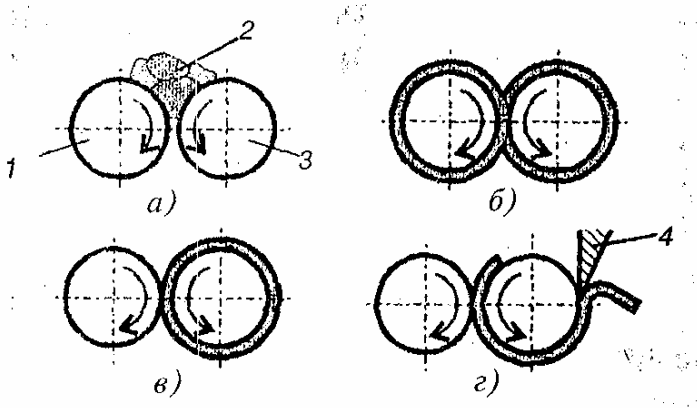
Общая схема производства пластмасс включает традиционные процессы — дозировку и приготовление полимерной композиции, формование изделий и стабилизация их формы и физико-механических свойств.

Приготовление композиций производят на смесителях различных систем. Для перемешивания сухих композиций обычно используют турбулентные и шнековые смесители. Специфическим широко используемым способом приготовления полимерных композиций является вальцевание.

Вальцевание — операция, при которой масса перетирается в зазоре между обогреваемыми валками, вращающимися в противоположном направлении (рис. 15.1). Вальцевание позволяет равномерно перемешать компоненты смеси. При многократном пропускании массы через валки полимер в результате термомеханических воздействий переходит в пластично-вязкое состояние. Этот процесс называется *пластикация*.

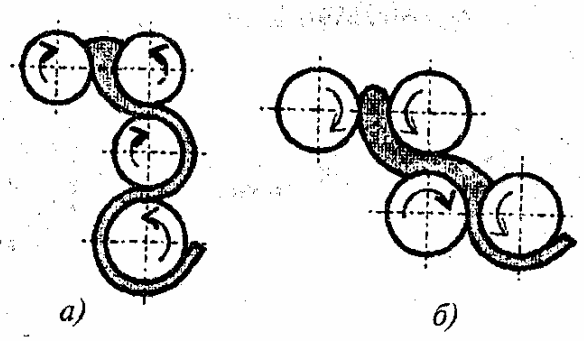
Экструдирование — перемешивание массы в обогреваемом шнековом прессе (экструдере) с последующим продавливанием массы сквозь решетку для формования полуфабриката в виде гранул (такой экструдер называется гранулятором).

Формование изделий. Выбор метода формования зависит в основном от вида получаемой продукции. Так, листовые материалы формуются обычно на каландрах, трубы и погонажные профильные изделия экструдируют, штучные изделия в



Р и с . 15.1. Схема вальцевания:

а — загрузка массы; *б* — вальцевание; *в* — переход массы на один валок; *г* — срез массы с валка; *1, 3* — валки; *2* — вальцуемый материал; *4* — нож



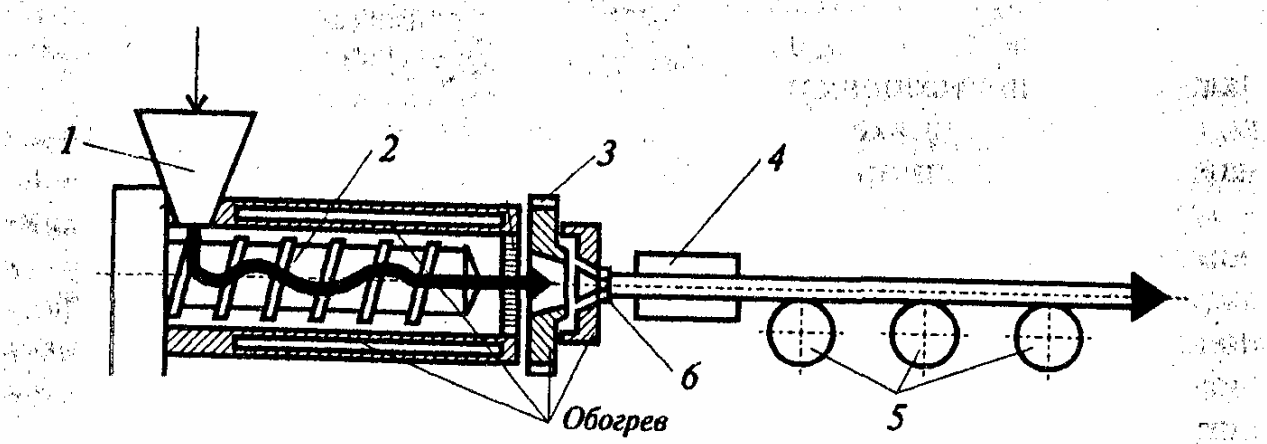
Р и с . 15.2. Схемы работы четырехвалковых каландров:
а — Г-образный каландр; *б* — Z-образный каландр

основном формуют литьем под давлением.

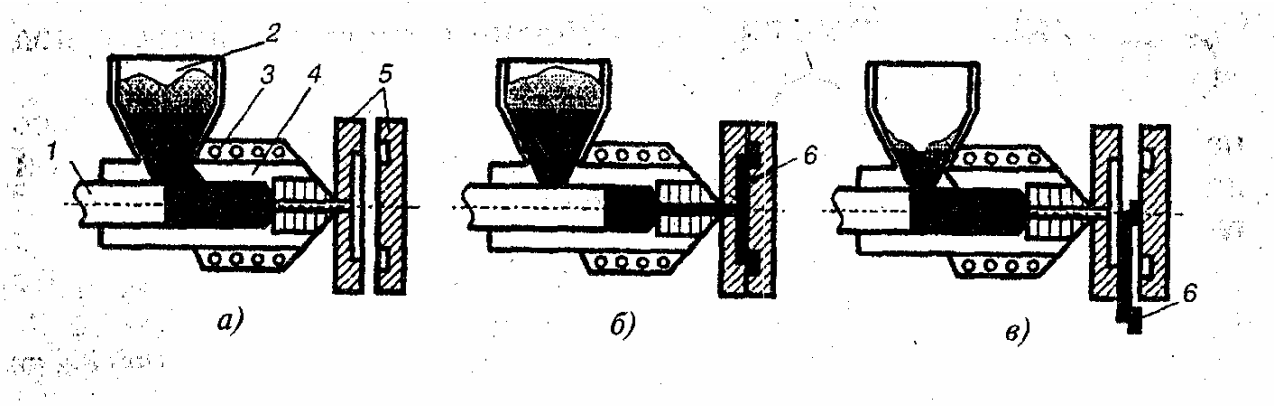
Каландрирование — процесс формования полотна заданной толщины и ширины из пластичной смеси (приготовленной, например, на вальцах) путем однократного пропускания между обогреваемыми полированными валками с последовательно уменьшающимся зазором. Схемы работы Г-образного и Z-образного каландров представлены на рис. 15.2. Каландрированием производят полимерные пленки. В частности, большую часть линолеума изготовляют вальцево-каландровым способом. Многослойный линолеум получают горячим дублированием заранее отформованных на каландрах пленок: защитной, декоративной и подкладочной (несущей) (см. рис. 15.5).

Экструзия — процесс получения профилированных изделий способом непрерывного выдавливания размягченной массы через формообразующее отверстие (мундштук). Экструзией производят трубы (рис. 15.3) и погонажные изделия (плинтусы, раскладки, «сайдинг», оконные профили и т. п.). Выпускают специальные экструдеры для формования линолеума (в том числе и двухслойного). На экструдерах формуют полимерные пленки в виде бесшовного рукава. Для этого формуется труба, внутрь которой подается воздух, раздувающий ее в тонкую пленку.

Литьем под давлением с помощью литьевых машин (рис. 15.4) получают небольшие изделия сложной конфигурации из смесей на основе термопластичных полимеров (например, изделия для санитар-



Р и с . 15.3. Схема работы экструдера при производстве труб:
1 — загрузочный бункер; *2* — шнек; *3* — формующая головка; *4* — калибрующая насадка; *5* — тянущее устройство; *6* — пустотообразователь «дорн»



Р и с . 15.4. Схема работы машины для литья под давлением:

а — плавление сырьевой массы; *б* — впрыск расплава в форму; *в* — размыкание формы; *1* — поршень; *2* — загрузочный бункер; *3* — нагреватели; *4* — цилиндр; *5* — разъемная форма; *6* — изделие

но-технических устройств, вентиляционные решетки, мелкие плитки и т. п.). Гранулированный полуфабрикат нагревается до вязко-текучего состояния в цилиндре (*4*) литьевой машины и плунжером (*1*) впрыскивается в разъемную форму (*5*), охлаждаемую водой.

Горячее прессование используют в основном для формования изделий из термореактивных полимеров. Так, в частности, получают листовые материалы: бумажно-слоистый и деревослоистый пластик, сверхтвердые древесноволокнистые и древесно-стружечные плиты. Для листовых материалов используют многоэтажные прессы с масляным или паровым обогревом плит (t = 120...150° С). На таких прессах формуют одновременно 5...15 листов. В начале прессования полимер расплавляется, связывая все компоненты, а затем необратимо отверждается, фиксируя заданную форму изделия.

Горячим прессованием можно получать пенопласты с помощью веществ — газообразователей, разлагающихся с выделением газа при нагревании, т. е. в тот момент, когда полимер приобретает вязко-пластичную консистенцию. Вспенивание происходит при размыкании плит пресса. Получаемый при этом пенопласт имеет на поверхности плиты плотные корочки.

Пенопласты производят и другими методами. Очень простым способом получают полистирольный пенопласт из гранул полистирола, содержащих легкокипящую жидкость — изопентан. Наибольшее количество гранул помещают в замкнутую форму, которую опускают в горячую (85...95° С) воду. Полистирол размягчается, изопентан, вскипая, вспучивает гранулы. Расширившиеся гранулы занимают весь объем формы, слипаются друг с другом и образуют плиту или изделие другой формы.

Кроме перечисленных способов получения изделий из пластмасс используются еще много других методов: промазывание и пропитка основ; напыление пластмасс, сварка и склеивание.

15.3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛАСТМАСС

Как уже отмечалось, технически и экономически выгодно применение пластмасс в строительстве в виде пленочных и листовых отделочных материалов, труб и других погонажных изделий, ультралегких газонаполненных пластмасс, а также клеев, мастик и других вспомогательных материалов. Большая доля полимерных материалов строительного назначения — материалы для полов.

Материалы для полов могут быть в виде рулонных покрытий — линолеумов и ворсовых (ковровых) покрытий, плиток и жидко-вязких составов, используемых для получения бесшовных покрытий пола.

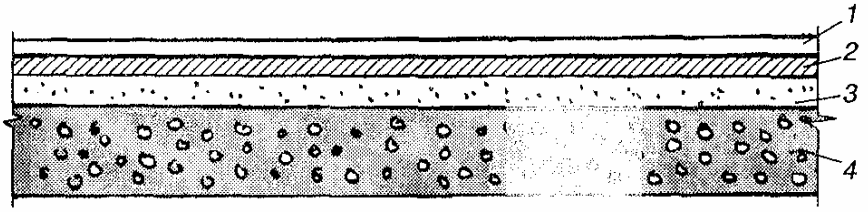
Рулонные материалы. *Линолеум* (от лат. *linum* — лен, ткань и *oleum* — масло) впервые появился во второй половине XIX . Он представлял собой грубую ткань, покрытую слоем пластической массы на основе высыхающих растительных масел (например, льняного) и пробковой муки. Эти материалы получили название «линолеум». Подобный линолеум под названием «глифталевый» выпускался вплоть до середины XX в., когда он уступил место поливинилхлоридному.

В настоящее время производится много разновидностей ПВХ-линолеума. Наиболе полно отвечает требованиям и строителей, и потребителей ПВХ-линолеум на теплозвукоизоляционной основе (рис. 15.5). Такой линолеум позволяет настилать полы непосредственно по стяжке без устройства специальных тепло- и звукоизоляционных прослоек. Линолеумные полы удобны в эксплуатации (легко моются и не требуют специального ухода) и декоративны. Однако они не рассчитаны на эксплуатацию в помещениях с интенсивным людским потоком. Для таких условий выпускается специальный линолеум с повышенной износостойкостью.

В последнее время вновь возник интерес к глифталевому линолеуму как к материалу на природном сырье.

Линолеум выпускают в рулонах шириной до 4 м, длиной не менее 12 м. Толщина в зависимости от вида линолеума 1,2...6 мм.

К основанию пола линолеум крепят на специальных мастиках. От правильности настилки во многом зависит его долговечность. Это относится и ко всем остальным полимерным материалам.



Р и с . 15.5. Поперечный разрез линолеума на теплозвукоизоляционной основе:

1 — защитный слой; *2* — декоративный слой; *3* — несущий слой; *4* — вспененная теплозвукоизоляционная основа

Только при строгом соблюдении правил монтажа и эксплуатации пластмассы в полной мере проявляют свои положительные свойства.

При массовом строительстве типовых зданий наиболее эффективный метод применения линолеума — изготовление на заводе полотнищ размером «на комнату» (с помощью сварки).

К рулонным материалам для полов, кроме линолеума относятся *ворсовые (ковровые) покрытия.* Они обладают высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, но уход за ними достаточно труден. Настилка таких полов целесообразна в гостиницах, офисах и других помещениях с малой интенсивностью движения и отсутствием загрязнений.

Плиточные материалы для полов имеют размер плиток от 30 х 30 до 50 х 50 см и могут быть получены как из ПВХ-материалов, так и на базе ворсовых покрытий. Из плиток можно составлять декоративные покрытия полов, которые можно ремонтировать, заменяя отдельные вышедшие из строя плитки. Слабым местом таких полов являются стыки.

В 90-х годах появился новый вид плиточных покрытий — «ламинат» — крупноразмерные плитки из твердой древесно-волокнистой плиты, имеющие с лицевой стороны декоративное полимерное покрытие (например, имитирующее паркет) с высокой износостойкостью. Ламинатные покрытия полов легко собираются и разбираются благодаря специальным «замковым» сочленениям.

Бесшовные мастичные полы получают из сырьевых смесей на основе жидко-вязких олигомеров. Составы, содержащие, кроме того, наполнители и пигменты, наносятся на подготовленное основание пола слоем требуемой толщины (2...10 м). Через 1...2 суток образуется ровное износостойкое и не имеющее швов покрытие пола. Такие покрытия отличаются водостойкостью, химической стойкостью, износостойкостью и хорошим сопротивлением ударным нагрузкам.

В зависимости от вида полимерного компонента различают составы на жидких каучукоподобных олигомерах, образующих эластичное покрытие, и термореактивных смолах (например, эпоксидных), образующих твердые покрытия. Такие полы целесообразны, например, для цехов предприятий пищевой промышленности, спортивных залов, коридоров в школах и т. п.

Отделочные материалы на основе пластмасс могут быть листовыми, пленочными, погонажными и окрасочными (последние рассмотрены в гл. 18).

Бумажно-слоистый пластик — листовой материал размером до 3000 х 1600 мм при толщине 0,5...3 мм, получаемый горячим прессованием 5...15 слоев бумаги, пропитанной термореактивными полимерами: лицевые слои — прозрачным меламиноформальдегидным

полимером, а внутренние — фенолформальдегидным. Для верхнего лицевого слоя используется цветная бумага с рисунком (под дерево, ткань и т. п.), покрытая сверху прозрачной защитной бумагой, также имеющей пропитку.

Бумажно-слоистый пластик обладает высокой для пластмасс поверхностной твердостью, износо- и теплостойкостью. В основном его применяют для облицовки мебели для кухонь, встроенной мебели и столярных строительных изделий (двери и т. п.); для отделки стен на высоту 1...1,5 м помещений с большой интенсивностью эксплуатации (вестибюли, коридоры), а также, благодаря высокой водостойкости и гигиеничности, помещений ванных, лабораторий и т. п.

Декоративные пленочные материалы — один из наиболее перспективных видов пластмасс для внутренней отделки. Различают отделочные пленки безосновные и с подосновой (бумажной, тканевой).

Безосновные пленочные материалы — тонкие полимерные (главным образом поливинилхлоридные) пленки, окрашенные по всей толщине и имеющие с лицевой стороны рисунок или тиснение, которые имитируют древесину, ткань, керамическую плитку и т. п. Пленку выпускают в рулонах длиной 150 м, шириной 1500...1600 мм. С тыльной стороны пленка может иметь слой из так называемого «неумирающего» клея, прикрытый специальной защитной бумагой. Такая пленка выпускается меньшей ширины (500 мм) и в рулонах длиной 15 м. Бесподосновные пленки используют для отделки древесины, асбестоцементных листов и др.

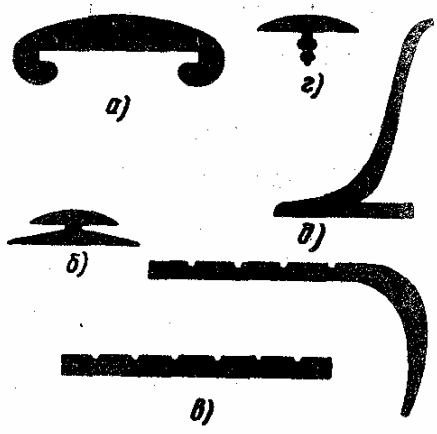
Пленки на основе — рулонный отделочный материал, в котором цветная, обычно поливинилхлоридная, пленка сдублирована с бумажной или тканевой подосновой. Примером такого материала могут служить моющиеся обои, представляющие собой тонкую полимерную пленку, сформированную тем или иным способом (напылением, намазкой, дублированием) на поверхности бумажной подосновы. Такие материалы применяют для отделки стен, как и обычные обои, но там, где будет полезна их повышенная влагостойкость и износостойкость (например, для кухонь, прихожих, коридоров в больницах).

Пленки для натяжных потолков — новый вариант пленочного отделочного материала. Такие пленки имеют высокую упругость и прочность и могут быть окрашены в любые цвета. Их с большим усилием натягивают и закрепляют на арматуре, установленной на стене. При этом образуется подвесной декоративный потолок, за которым на перекрытии проходят всевозможные коммуникации (электропроводка, вентиляции и т. п.). Применяют натяжные потолки в магазинах, кафе, офисах и т. п.

Облицовочные листы и рейки (сайдинг) имитируют традиционные виды облицовки зданий — дерево, кирпич, природный камень. Наибольшее распространение для облицовки индивидуальных домов, торговых павильонов и других сооружений подобного типа приобрели

материалы, имитирующие облицовочную доску «вагонку»,— пластмассовые рейки под названием «сайдинг». Они имеют текстуру древесины и могут быть окрашены в любые цвета. Рейки сайдинга легко соединяются друг с другом. Получают рейки либо экструзией из ПВХ-композиций, либо нанесением полимерных пленок на металлическую (алюминиевую) основу.

Листовые полимерные облицовочные материалы, имитирующие, например, кирпичную кладку, кладку из природного камня, изготавливают из композиций на основе термопластов. Необходимая текстура образуется путем горячего прессования листов-полуфабрикатов, которые могут быть окрашены как в массе, так и по поверхности.



Р и с . 15.6. Профильные погонажные изделия из поливинилхлорида:

а — поручень; *б* — раскладка для крепления листов; *в* — накладка на ступени; *г* — нащельники; *д* — плинтус

Погонажные изделия — длинномерные изделия разнообразных профилей: плинтусы, рейки, поручни для лестничных перил, раскладки для крепления листовых материалов, нащельники и т. п. (рис. 15.6). Получают погонажные изделия главным образом из поливинилхлоридных композиций методом экструзии.

Использование полимерных погонажных изделий — одна из сторон малой индустриализации строительства. Например, применение пластмассовых поручней из пластифицированного ПВХ существенно ускоряет отделку лестниц. Поручни, поступающие на стройку в виде бухт, нагревают в воде до 60...70° С. В размягченном виде они легко надеваются на металлические перила, а после остывания плотно охватывают их.

Конструкционно-отделочные пластмассы. К ним относятся плитные и листовые материалы: древесностружечные плиты (см. § 3.6), древеснослоистые пластики, сверхтвердые древесноволокнистые плиты, стеклопластик и другие материалы, а также формованные элементы для архитектуры малых форм: киосков, павильонов и т. п.

Стеклопластики — листовой материал, получаемый пропиткой стеклянного волокна или стеклоткани термореактивными олигомерами (смолами) с последующим их отверждением. Кроме стеклянных волокон, возможно применение волокон более прочных и с большим модулем упругости (например, углеродных). Стеклянное волокно (или стеклянная ткань) играет роль арматуры, благодаря чему обеспечивается высокая прочность материала при изгибе и растяжении (200...500 МПа) при относительно небольшой плотности (1500...1700 кг/м^3). Роль полимерного связующего заключается в том, чтобы придать

материалу монолитность и обеспечить равномерное распределение напряжений от внешних нагрузок между всеми стеклянными волокнами. Стеклопластики — типичный *композиционный материал.*

Чаще всего для пропитки стекловолокна применяют ненасыщенные полиэфирные или эпоксидные смолы, обладающие высокой прочностью и адгезией к стекловолокну и химической стойкостью. Стеклопластики выпускают в виде плоских или волнистых листов, окрашенных в различные цвета, которые используют для декоративной наружной облицовки и устройства кровель. Кроме того, из стеклопластиков изготовляют трехслойные пенопластовые панели, трубы, санитарно-технические изделия и покровные элементы для трубопроводов и химических аппаратов и т. п.

Древеснослоистые пластики — листовой материал, получаемый горячим прессованием древесного шпона, пропитанного термореактивными полимерами (обычно фенолоформальдегидными),— прочный водо-, масло- и бензостойкий материал, используемый для каркасных перегородок, клееных деревянных конструкций и других целей (например, для изготовления точной опалубки многоразового использования).

Теплоизоляционные полимерные материалы — самые эффективные теплоизоляционные материалы с пористостью более 90 %. Они могут быть в виде плит или других изделий, а также в виде жидких композиций, вспениваемых и отверждаемых на месте укладки (подробно полимерные теплоизоляционные материалы описаны в § 17.3).

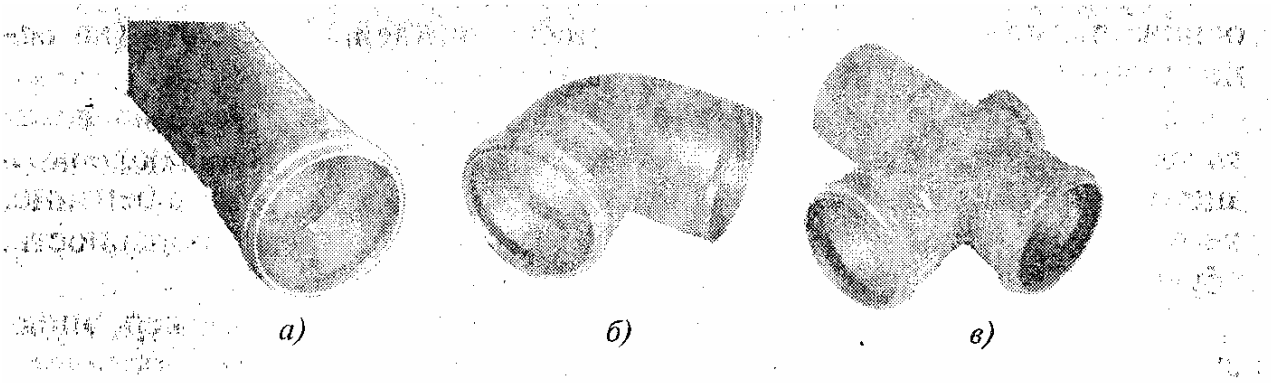
Кровельные, гидроизоляционные и санитарно-технические материалы и изделия. Использование полимеров для получения кровельных, гидроизоляционных и санитарно-технических материалов и изделий базируется на их высокой водостойкости и коррозионной стойкости.

При получении *кровельных и гидроизоляционных материалов* полимеры используют в роли:

- модификаторов традиционных битумных материалов;
- самостоятельных материалов в виде пленок, мембран и мастичных составов (подробнее см. § 16.4).

Полимерные трубы с каждым годом находят все более широкое применение в строительстве, вытесняя традиционные стальные и чугунные. Пластмассовые трубы легче металлических в 4...5 раз при одинаковой пропускной способности. Они не покрываются отложениями и не корродируют даже в воде с агрессивными веществами. Благодаря низкой теплопроводности вода в пластмассовых трубах имеет меньше шансов замерзнуть; при этом даже в случае замерзания труба не лопается благодаря пластичности пластмассы.

Трубы в основном изготовляют методом экструзии из композиций на основе термопластов (полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида и др.). Такие трубы обладают невысокой теплостойкостью (не



Р и с . 15.7. Изделия для канализации из ПВХ:
а — труба с муфтой колокольного типа; *б* — угол 90° с муфтой колокольного типа; *в* — отвод с муфтой колокольного типа и контрольным глазком

выше 60...80° С) и рекомендуются для холодного водоснабжения и канализации. Из эластопластов изготовляют гибкие шланги.

Кроме труб выпускают полный набор фитингов (от англ. *fit* — монтировать) соединительных деталей трубопроводов, поворотов, переходов, разветвлений и т. п. (рис. 15.7). Монтаж систем из пластмассовых труб и фитингов проще и быстрее, чем из металлических.

Для работы с жидкостями при более высоких температурах и под давлением рационально применять стеклопластиковые трубы, теплостойкость которых на эпоксидном связующем превышает 200° С.

Прозрачные ударопрочные трубы, используемые, например, в пищевой или химической промышленности для транспортировки жидкостей, производят из полиметилметакрилата методом сварки из листовых заготовок.

Пластмассы широко применяют для изготовления *санитарно-технических изделий* и деталей для них: сифонов, деталей смесителей, смывных бачков, соединительных шлангов, вентиляционных решеток и т. п.

Клеи на основе полимеров. Клеевое соединение элементов строительных конструкций — один из самых прогрессивных методов в строительной технологии и в производстве строительных изделий. Подавляющее количество клеев, используемых для этих целей,— клеи на основе полимеров. Они выгодно отличаются от традиционных натуральных (казеинового, столярного и т. п.) клеев и клея на основе жидкого стекла (силикатный клей) большим разнообразием свойств и долговечностью. Полимерные клеи обладают высокой клеящей способностью к самым разнообразным материалам, биостойки, многие из них водостойки.

Полимерные клеи можно разделить на три типа:

1. На основе *водных растворов и водных дисперсий полимеров* — это 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). Недостаток этих клеев — пожароопасность, обусловленная наличием летучих растворителей.

3. На основе *отверждающихся жидких олигомеров* (например, эпоксидные, полиуретановые или мочевиноформальдегидные), обладающие относительно большей прочностью и теплостойкостью.

В строительстве применяют в основном 1-й и 3-й типы клеев. Для наклейки отделочных материалов при внутренних работах (линкруста, линолеума, облицовочных плиток) преимущественно используют клеи на основе водных дисперсий полимеров; для наклейки 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).

Контрольные вопросы

1. Что такое пластмассы? Назовите основные компоненты пластмасс. 2. Перечислите основные положительные и отрицательные свойства пластмасс. 3. Какова роль наполнителей в пластмассах? 4. Каковы основные методы получения изделий из пластмасс? 5. Перечислите основные области применения пластмасс. Обоснуйте ваш ответ. 6. Стеклопластики. Какова роль компонентов в этом материале? 7. Какие полимерные материалы для полов вы знаете? 8. Что такое погонажные изделия? 9. Пластмассовые трубы: их положительные качества и недостатки.

РАЗДЕЛ 6. МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ГЛАВА 16. КРОВЕЛЬНЫЕ, ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

16.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основная задача, решаемая с помощью как кровельных, так и гидроизоляционных материалов,— создание водонепроницаемого покрытия, защищающего изолируемую конструкцию и здание в целом от воздействия влаги. Однако условия, в которых работают кровельные материалы, существенно отличаются от условий, в которых работают гидроизоляционные материалы.

Кровельные материалы подвергаются периодическому увлажнению и высушиванию, воздействию прямого солнечного излучения (особенно опасно действие его УФ-составляющей), нагреву, замораживанию, снеговым и ветровым нагрузкам.

Чтобы длительно и успешно работать в таких условиях, кровельные материалы должны быть атмосферостойкими, светостойкими, водо- и морозостойкими и достаточно прочными. В тех же случаях, когда крыша является видимым элементом сооружения (мансардные, двухскатные, вальмовые и т. п. кровли), материал должен отвечать и определенным архитектурно-декоративным требованиям. И, наконец, технологичность и экономичность — общее требование ко всем кровельным материалам.

Гидроизоляционные материалы, в отличие от кровельных, работают в условиях постоянного воздействия влаги или агрессивных водных растворов (часто под давлением); температурные условия их работы более стабильны, солнечное облучение отсутствует, но возможно развитие гнилостных процессов.

От гидроизоляционных материалов требуются полная водонепроницаемость, долговечность, базирующаяся на гнилостойкости и коррозионной стойкости, и свойства, обеспечивающие сохранение сплошности материала при различных внешних механических воздействиях. Технологичность и экономичность остаются также непременными требованиями.

Герметизирующие материалы — специфический вид материалов, назначение которых — обеспечить герметичность (водонепроницаемость и непродуваемость) стыков конструктивных элементов зданий

и сооружений (например, уплотнение стыков между панелями или между оконными блоками и стеной).

Для получения кровельных и гидроизоляционных материалов и изделий используют разнообразные материалы: металлы, керамику (черепицу), асбестоцемент, битумы, полимеры и др. В этой главе рассматриваются самые распространенные кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы, получаемые на основе ч е р н ы х в я ж у щ и х (битумов и дегтей) и синтетических полимеров.

16.2. КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Материалы на основе битумных, полимербитумных и полимерных связующих — главнейший вид кровельных материалов. К ним относятся самые разные по форме, размерам и физическому состоянию материалы:

- *мембранные* — большеразмерные полотнища (площадью 100...500 м^2);
- *рулонные* — полотнища шириной около 1 м и длиной 7...20 м, поставляемые на строительную площадку в рулонах;
- *штучные и листовые* — мелкоразмерные полосы и листы (площадью менее 1 и 2 м^2 соответственно);
- *мастичные* — вязкие жидкости, образующие водонепроницаемую пленку после нанесения на изолируемую конструкцию.

Выбор того или иного типа материала зависит от многих факторов:

- конструктивных (угол наклона крыши, материал основания и др.);
- технологических (простота устройства покрытия);
- архитектурно-декоративных (желаемый цвет и фактура поверхности кровли);
- экономических (стоимость и долговечность).

Рулонные материалы. Этот вид кровельных материалов находит наибольшее применение. Площадь кровель, выполненных из рулонных материалов, составляет 45...47 % от общей площади кровель в России. Объясняется это, с одной стороны, невысокой стоимостью самих материалов и простотой устройства кровельного покрытия, а с другой — тем, что рулонные материалы — наиболее удобный вид кровельного материала для плоских (угол наклона 3...6°) кровель, характерных для типовых многоэтажных панельных и кирпичных зданий. Популярны рулонные материалы и для индивидуального строительства в сельских районах.

Первые рулонные материалы, появившиеся в начале XX в.,— это толь, пергамин и рубероид. В основе этих материалов лежит кровельный картон, пропитанный черными вяжущими.

Кровельный картон получают из вторичного текстиля, макулатуры и древесного сырья. Картон имеет рыхлую структуру и хорошо впитывает влагу и другие жидкости (в частности, расплавленный битум). При увлажнении под действием солнечного излучения и в результате гниения картон теряет свои свойства. Пропитка битумом и дегтем замедляет эти процессы.

Марка картона устанавливается по его поверхностной плотности (масса 1 $м^2$ картона в г); она может быть от 300 до 500. Ширина кровельного картона — 1000; 1025 и 1050 мм.

Толь — картон, пропитанный и покрытый с двух сторон дегтем. В качестве кровельного материала толь применяют лишь для временных сооружений, так как деготь быстро стареет на солнце и материал разрушается через 2...3 г. Более целесообразен толь для гидроизоляции, где отсутствует солнечное излучение и где важную роль играют антисептические свойства дегтя.

Пергамин — простейший рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона расплавленным легкоплавким битумом (например, БНК 45/180). Применяют пергамин для нижних слоев кровельного ковра и для устройства пароизоляционных прокладок в строительных конструкциях. Марки пергамина П-300; П-350 и т. п. (П — пергамин; 300 — марка картона).

Рубероид — многослойный материал, получаемый, как и пергамин, пропиткой кровельного картона легкоплавким битумом и последующего нанесения с обеих сторон слоя тугоплавкого битума, наполненного минеральным порошком. Лицевая сторона рубероида покрывается «бронирующей» посыпкой (песком, слюдой, сланцевой мелочью и т. п.), защищающей материал от УФ-излучения; нижняя сторона — порошком из известняка или талька, для защиты от слипания слоев в рулоне. Длина рулона 10...20 м.

Марки рубероида — РКК-420; РКЧ-350 и т. п. (Р — рубероид; К — кровельный; К и Ч — вид посыпки, соответственно крупнозернистая или чешуйчатая). Для нижних слоев кровельного ковра выпускается рубероид подкладочный (П) с пылеватой посыпкой (П) с обеих сторон (например, РПП-300).

Качество рулонных кровельных материалов оценивается в соответствии со стандартом комплексом показателей:

- прочностью, характеризуемой силой, необходимой для разрыва образца материала шириной 5 см, Н;
- деформативностью, характеризуемой относительным удлинением материала при разрыве, %;
- гибкостью на холоде, характеризуемой минимальной температурой, при которой образец материала не трескается при загибе его вокруг бруса радиусом 25 мм (для материалов с основой) и 5 мм (для безосновных), ° С;

• теплостойкостью, характеризуемой максимальной температурой, при которой у вертикально подвешенного образца не наблюдается стекания покровной массы, ° С;

• водопоглощением, %;

• водонепроницаемостью, характеризуемой временем, в течение которого образец не пропускает воду при определенном давлении.

Так, рубероиды марок РКК-400; РКК-350 и РПП-300 в соответствии с техническими условиями должны иметь следующие показатели:

Технические характеристики материала

Показатели	РКК-400	РКК-350	РПП-300
Разрывная сила при растяжении, Н, не менее	340	320	220
Теплостойкость, ° С, не менее	80	80	80
Гибкость на брусе $R = 25$ мм, ° С	+ 5	+ 5	+ 5
Водопоглощение, %	2,0	2,0	2,0
Водонепроницаемость при давлении Р = 0,001 МПа в течение, ч	72	72	72

Кровля из рубероида и пергамина многодельна, так как представляет собой многослойный (3...5 слоев) кровельный ковер, выклеиваемый на крыше с помощью битумных мастик. Из-за хрупкости битумного связующего на холоде устройство кровли из рубероида невозможно в зимний период.

Помимо этого, кровли из обычного рубероида и пергамина имеют невысокую долговечность — 5...6 лет. Последнее объясняется низкими значениями прочности и водо- и биостойкостью картонной основы, а также узким интервалом рабочих температур битумного вяжущего: на холоде (около 0° С) он становится хрупким, а при нагреве до 60...80° С размягчается и течет. Кроме того, и битум, и картонная основа быстро стареют под действием солнечного излучения и кислорода воздуха.

Через несколько лет эксплуатации на крыше рубероид становится жестким и кровельный ковер при небольших деформациях (температурных, усадочных и др.) трескается и кровля начинает протекать.

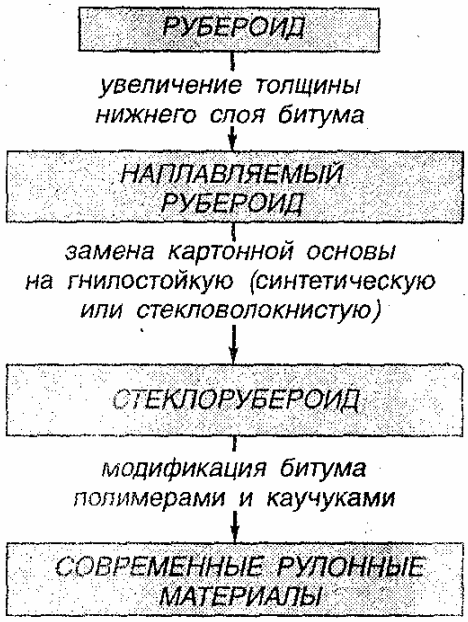
Современные рулонные материалы прошли длинный путь совершенствования свойств и мало напоминают традиционный рубероид. Модификация рубероида происходила в несколько этапов (рис. 16.1).

Первым этапом было упрощение технологии устройства кровельного ковра благодаря внедрению ***наплавляемого рубероида.*** Он отличается от обычного рубероида более толстым слоем битума (в особенности на нижней стороне материала, где в соответствии со стандартом битума должен быть не менее 1500 г/м^2). Из наплавляемого рубероида кровельный ковер получают без клеющих мастик путем подплавления

нижней поверхности рубероида газовой горелкой с последующей его прикаткой (рис. 16.2).

Следующим шагом была ***замена основы*** непрочной и подверженной гниению картонной основы на более *прочную* и *гнилостойкую*. Были опробованы асбестокартон и основы на базе *стекловолокна* и *синтетического волокна* «полиэстр» в виде тканей, холста и нетканого полотна*. В настоящее время предпочтение отдают нетканым основам и стеклохолсту. Стекловолокнистые основы отличаются малым удлинением при разрыве (ε = 1,5...3 %); у синтетических — оно выше (ε = 35...40 %).

Производят материалы на основе алюминиевой и медной фольги (например, материал «фольгоизол»). Фольга, находящаяся на лицевой стороне материала, придает ему декоративные свойства и защищает от солнечного излучения.



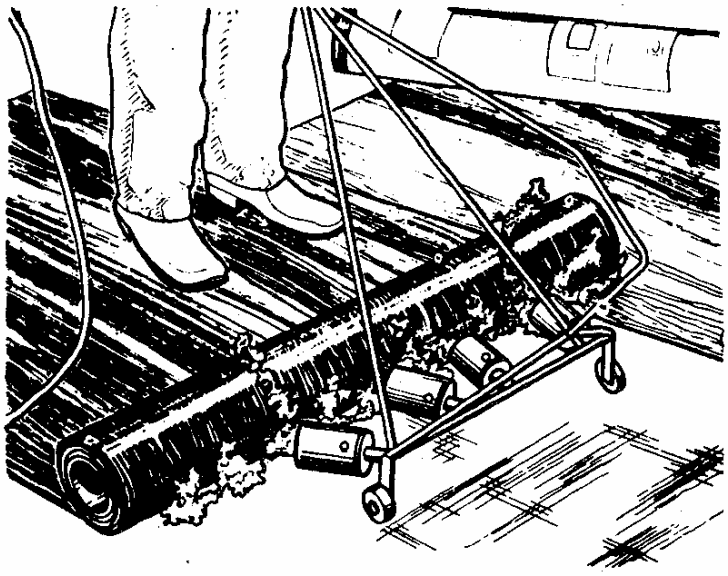
Р и с . 16.1. Схема поэтапной модификации рулонных материалов

Применение новых прочных и долговечных основ, в свою очередь, потребовало модификации битумного связующего в сторону повышения его долговечности и расширения диапазона рабочих температур. Эта задача была решена путем ***модификации битума полимерами.*** Полимерные добавки позволяют расширить интервал рабочих температур битума (снижая температуру хрупкости и повышая температуру размягчения) и обеспечивают сохранение эластичности вяжущего длительное время (т. е. повышают долговечность материала). В настоящее время для модификации битума используют в основном *термоэластопласты,* в частности, атактический полипропилен (АПП) — побочный продукт при производстве полипропилена, по внешнему виду и свойствам напоминающий невулканизированный каучук, и *синтетические каучуки*, например стирол-бутадиен-стирольный (СБС).

Битумы, модифицированные АПП, по сравнению с обычным окисленным битумом, характеризуются высокой теплостойкостью, хорошей гибкостью на холоде (до — 20° С) и высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям. Битумы, модифицированные СБС, характеризуются еще более высокой гибкостью на холоде (до — 30° С),

---

* *Стеклохолст* — простейший вид стеклоткани, выполненный полотняным переплетением (через раз) из нескрученных прядей стеклянного волокна (ровницы). *Нетканое полотно* — полотно, в котором волокна расположены хаотически (например, сукно или войлок) и скрепляются между собой силой трения, клеевым составом или термической сваркой.



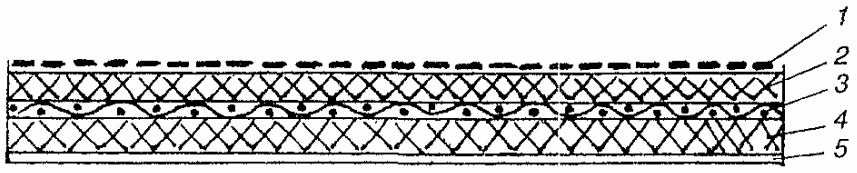
Р и с . 16.2. Устройство кровельного ковра из наплавляемого рубероида

но они более чувствительны к УФ-облучению, в связи с чем требуют применения эффективной защиты от солнечного света. Материалы на основе таких модифицированных битумов имеют расширенный диапазон эксплуатационных температур, повышенную долговечность и позволяют производить работы по устройству кровли из рулонных материалов при отрицательных температурах (т. е. практически круглый год).

У современных рулонных битумно-полимерных материалов для защиты от солнечного излучения применяют бронирующие посыпки из цветной минеральной (сланцевой, керамической) или полимерной крошки. Такие посыпки более надежны, чем традиционные (песок, слюда), и придают декоративность материалу.

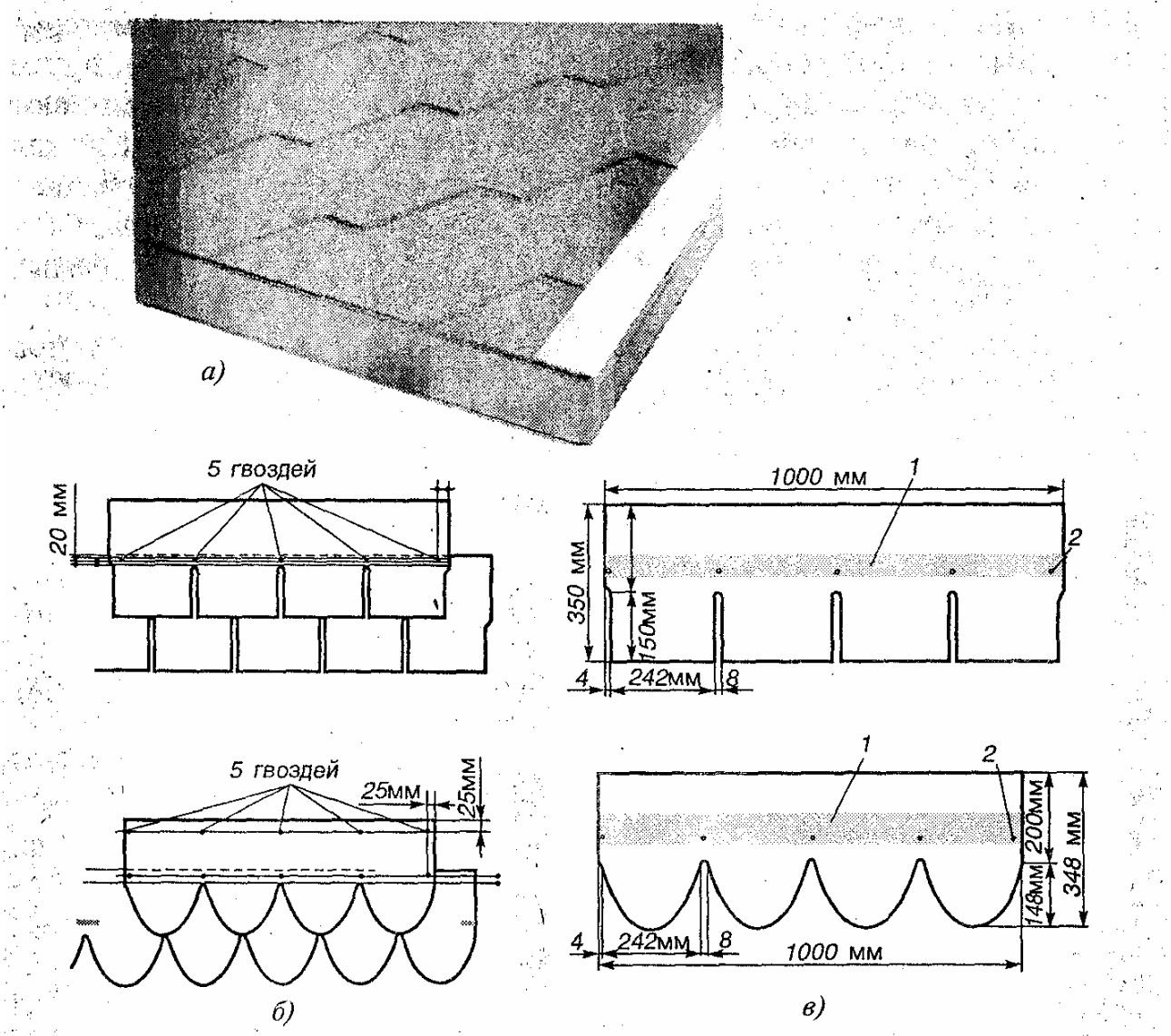
Промышленность рулонных кровельных материалов выпускает большое количество материалов на различных основах и с различными модификаторами, при этом каждое предприятие дает свое собственное название материалу. Так, завод «Филикровля» (Москва) производит материал «Филизол», завод «Изофлекс» (Кириши, Санкт-Петербург) выпускает широкий спектр материалов под названием «Изопласт» и т. д.

Однако все эти материалы в принципе имеют одно и то же строение: многослойный композиционный материал на прочной не гниющей основе, на которую с обеих сторон нанесен толстый слой битумно-полимерного связующего с декоративной посыпкой на верхней стороне и пленочной защитой от слипания на нижней (рис. 16.3).



Р и с . 16.3. Схема поперечного сечения полимербитумного рулонного материала:

1 — бронирующая посыпка; *2* — верхний слой полимербитумного связующего; *3* — основа (картон, стекловолокнистая или из полимерных волокон); *4* — нижний слой полимербитумного связующего; *5* — разделительный слой (пылеватая посыпка, полиэтиленовая пленка)



Р и с . 16.4. Мягкая черепица:

а — фрагмент крыши из мягкой черепицы; *б* — способ укладки; *в* — размеры и форма полос черепицы

Толщина современных рулонных материалов 3..5 мм, что позволяет делать кровельный ковер двухслойным (а не 3...5 слойным) и укладывать его методом наплавления.

Штучные материалы. Рулонные материалы в основном применяют для крыш с малым уклоном. Зрительно они образуют монотонную, лишенную декоративности поверхность. Для плоских «невидимых» для людских глаз крыш это не имеет значения. В современном строительстве входят в моду крыши с большим уклоном (15...60°), поверхность которых уже является декоративным элементом здания. В этом случае необходимы кровельные материалы, придающие кровле цвет и фактуру. Традиционно такими материалами были черепица, натуральный шифер (плитки из сланца) и дранка. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные стороны. Как альтернативный вари-

ант промышленность предлагает ***мягкую черепицу*** — штучный материал, получаемый на основе традиционных рулонных материалов, путем вырубки из полотна фигурных полос, которые при укладке напоминают кровлю из натурального шифера или дранки (рис. 16.4). Мягкая штучная кровля не нова: еще в 30-е годы в СССР использовались плитки из «рубероидного срыва», а в США — плитки «Шинглс» (от англ. *shingle* — дранка, плоская плитка), ставшие там одним из самых любимых материалов.

Сейчас подобные плитки улучшенного качества выпускают под различными названиями. Как правило, это листы размером (900...1000) х х (350...400) мм, имитирующие 3...4 штуки плоской черепицы различной формы. Листы крепят к обрешетке гвоздями, а соединение листов друг с другом по вертикали обеспечивают самоклеющие участки на их нижней поверхности. Основанием под мягкую черепицу служит сплошная (дощатая) обрешетка. Минимальный угол наклона кровли 9...10°, максимальный не ограничивается и этим материалом можно облицовывать и примыкающие к крышам участки стен. Трудоемкость устройства кровельного покрытия не велика, а вес 1 м^2 покрытия не превышает 10...12 кг.

Цвет и шероховатая фактура лицевой поверхности достигаются минеральной посыпкой. Фирмы выпускают плитки практически любого цвета: одноцветные или имитирующие «объемность» материала. Кровли из таких материалов удивительно декоративны. Мягкая черепица более долговечна, чем аналогичные по строению рулонные материалы из-за того, что она не образует сплошного покрытия, и деформации материала при старении локализуются в каждой плитке в отдельности, что исключает нарушение сплошности покрытия от внутренних напряжений. У мягкой черепицы долговечность кровли будет определяться потерей декоративности из-за потери цветной посыпки плиток.

Волнистые битумно-картонные листы (Ондулин) — штучный материал для кровель, представляющий собой гибкие листы размером 2000 х 1000 мм и толщиной около 3 мм (вес листа ≈ 6 кг). Листы — волнистый картон, пропитанный битумом и с лицевой стороны окрашенный атмосферостойкой полимерной краской. Окраска создает декоративный эффект и защищает картон и битум от действия солнечного излучения. Этот материал был предложен французской фирмой «Ондулин» в 40-х годах XX в. В настоящее время подобные волнистые листы производят многие фирмы.

Ондулин укладывают по решетчатой обрешетке так же, как асбестоцементные волнистые листы (шифер); возможна укладка по старому кровельному покрытию. Укладку производят с нахлестом в одну волну с помощью гвоздей или шурупов. Долговечность материала более 30 лет.

Мембранные покрытия. Для кровель промышленных, общественных и других зданий с малыми уклонами, прочными и плотными (например, бетонными) основаниями интерес представляют мембранные покрытия. Такие покрытия, как бы развитие идеи кровельного ковра из рулонных материалов, отличающегося тем, что мембрана сделана из высокоэластичного полимерного материала с относительным удлинением 200...400 % и высокой прочностью на растяжение и прокол. Материал мембраны сохраняет свои свойства при температуре от — 60° С до + 100° С. Размеры полотнищ таких материалов до 15 х 60 м (т. е. их площадь достигает до 900 м^2).

Одним из главнейших преимуществ мембранных покрытий является быстрота устройства кровельных покрытий больших площадей. Полотнища подают на крышу в сложенном виде, разворачивают и укладывают на основание. Стыкуют полотнища друг с другом самовулканизирующимися лентами; ими же выполняют примыкания. Возможна укладка мембран по старому кровельному ковру. Обязательным условием является тщательная очистка основания от твердых частиц (камушков и т. п.). Сверху мембрана пригружается и защищается от УФ-излучения засыпкой гравием или бетонными плитками. При этом крыша может быть «эксплуатируемой».

Мастичные кровельные покрытия получают при нанесении на основание (обычно бетонное) жидковязких олигомерных продуктов, которые, отверждаясь, образуют сплошную эластичную пленку. Мастики имеют хорошую адгезию к бетону, металлам и битумным материалам. По сути мастичные кровельные покрытия — это полимерные мембраны, формируемые прямо на поверхности крыши. Особенно удобны мастичные материалы при выполнении узлов примыкания.

Мастики могут применяться как самостоятельно, так и совместно с армирующей основой (например, стеклотканью).

Как правило, мастики представляют собой наполненные системы, пленкообразующим компонентом в которых служит жидкий каучук или другой реакционноспособный эластомер. Непосредственно перед нанесением в основную часть мастики вводится отверждающий (вулканизирующий) компонент. После этого мастика наносится валиком, кистью или распылителем на основание. Используются и однокомпонентные мастики, отверждающиеся кислородом или влагой воздуха.

Большинство мастик позволяет работать даже при отрицательных температурах (до минус 5...10° С). Полное отверждение мастики, как правило, наступает не позже 1 сут после нанесения. Обычно мастика наносится в 2...3 слоя, в результате чего образуется пленка толщиной 2...3 мм.

Эластичность образующихся пленок очень велика (относительное удлинение при разрыве 300...500 %). В случае использования стеклоткани относительное удлинение будет определяться уже стеклотканью,

т. е. не превысит 2...4 %. Таким образом, увеличение прочности покрытия достигается ценой потери эластичности.

Мастичные покрытия могут устраиваться и по старой рулонной кровле без ее снятия; также возможен ремонт старого мастичного покрытия путем нанесения нового тонкого слоя мастики.

16.3. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Гидроизоляционные материалы предназначены для предохранения строительных конструкций от контакта с водой, поглощения воды или от фильтрации воды через них. В зависимости от физического состояния и соответственно технологии их применения гидроизоляционные материалы можно разделить на жидкие; пастообразные пластично-вязкие; твердые упруго-пластичные.

Жидкие гидроизоляционные материалы могут быть пропиточные и пленкообразующие.

Пропиточные материалы — жидкости, проникающие в поры поверхностных слоев материала и образующие там водонепроницаемые барьеры или гидрофобизирующие поверхность пор.

Битумы и дегти, переведенные в жидкое состояние,— простейшие пропиточные материалы. Битумы придают пропитанному слою материала водонепроницаемость, а дегти, кроме того, антисептируют материал. Для перевода в жидкое состояние дегти и битумы можно расплавить, растворить в органических растворителях или приготовить из них эмульсию.

Битумные эмульсии готовят в гомогенизаторах (высокоскоростных смесителях). В них расплавленный битум диспергируют в горячей воде (85...90° С), в которой предварительно растворяют поверхностно-активные вещества-эмульгаторы, обеспечивающие стабильность эмульсии. Эмульсии могут модифицироваться полимерами и латексами каучуков. Пропитка эмульсиями целесообразна для влажных материалов.

Пропитка мономерами с последующей их полимеризацией в порах материала обеспечивает их стабильную водонепроницаемость. Наиболее перспективны для этой цели акриловые мономеры. Их полимеризация возможна с помощью инициаторов, введенных в пропитывающую жидкость.

Кремнийорганические жидкости — эффективный пропиточный материал, гидрофобизирующий (придающий водоотталкивающие свойства) пористые материалы. Эти вещества имеют высокую проникающую способность, они атмосферостойки и термостойки. Жидкости не имеют цвета и запаха и не изменяют внешний вид пропитываемого материала.

Самая распространенная кремнийорганическая жидкость, применяемая в строительстве,— ГКЖ-94. Для обработки строительных ма-

териалов используют 1...10 %-ный раствор ГКЖ-94 в органических растворителях или 0,5...3 %-ную водную эмульсию. После высыхания на стенках пор и самом материале образуется тончайшая гидрофобная пленка, прочно скрепленная с материалом.

Инъекционные материалы нагнетают в поры изолируемого материала под давлением. В качестве инъекционных могут использоваться не только все пропиточные, но и более вязкие жидкости (например, эпоксидные смолы, полимерные дисперсии). Принудительное нагнетание гидроизоляционного материала в конструкцию обеспечивает более высокую водонепроницаемость образующегося защитного слоя, чем свободная пропитка, но его выполнение значительно сложнее и дороже ее.

Пленкообразующие материалы — вязкожидкие составы, которые после нанесения на поверхность изолируемой конструкции образуют на ней водонепроницаемую пленку. Образование пленки происходит либо в результате улетучивания растворителя, либо в результате полимеризации. Среди пленкообразующих веществ наибольшее распространение получили разжиженные битумы и битумные эмульсии, лаки и эмали.

Пастообразные гидроизоляционные материалы используют как обмазочные и приклеивающие. Обмазочные материалы после нанесения образуют на изолируемой поверхности достаточно толстый гидроизоляционный слой. К обмазочным материалам относят мастики и пасты — пластично-вязкие системы с ярко выраженными тиксотропными свойствами. Это означает, что они при нанесении на поверхность тем или иным инструментом разжижаются, а затем переходят в твердообразное состояние.

Мастики получают смешиванием органических вяжущих с минеральными наполнителями и специальными добавками (пластифицирующими, структурирующими и др.). По виду вяжущего различают мастики битумные, битумно-полимерные и полимерные; реже используются дегтевые.

Самые распространенные мастики — битумные. Они относительно дешевы и имеют хорошую адгезию к большинству материалов. Выпускают такие мастики в двух вариантах: *холодные*, готовые к употреблению (они содержат растворитель) и *горячие*, нуждающиеся в нагреве до 160...180° С для перевода в рабочее состояние.

Последние годы все более широкое распространение получают полимербитумные и полимерные мастики с использованием в качестве связующего синтетических каучуков (бутилового, стиролбутадиенстирольного, тиоколового и др.) и эластомеров (полиизобутилена, хлорсульфополиэтилена и др.).

Мастики в качестве приклеивающего материала (например, для наклейки рулонной гидроизоляции) и в качестве материала, образующего гидроизоляционный слой на обрабатываемой конструкции (на-

пример, для обмазки наружных поверхностей стен подвалов и фундаментов). Полимерные мастики применяют также для устройства *антикоррозионных покрытий* на бетонных и металлических конструкциях, работающих в агрессивных средах.

Пасты получают на основе битумов и дегтей путем их диспергирования в присутствии твердого эмульгатора (глины, извести и т. п.). Примерный состав битумной пасты, % по массе:

битум легкоплавкий	45...55
глина (известь)	10...15
вода	35...45

В обычных битумно-глиняных пастах размер частиц битума 0,1...0,15 мм.

Пасты хорошо смешиваются с наполнителями (песком) и легко наносятся даже на влажные поверхности; после высыхания капли битума сливаются, и образуется мастичное покрытие.

Упруго-пластичные гидроизоляционные материалы представлены рулонными материалами (безосновными и на различных основах), аналогичные кровельным. Как уже говорилось, в отличие от кровельных гидроизоляционные материалы не подвергаются солнечному излучению, но постоянно находятся во влажных условиях, где на первое место выходит гнилостойкость.

Первыми рулонными гидроизоляционными материалами были толь и рубероид (без бронирующей посыпки). Долговечность этих материалов ограничена низкой гнилостойкостью кровельного картона. При этом толь, за счет пропитки дегтем, более долговечен в роли гидроизоляционного материала.

В современных рулонных гидроизоляционных материалах для повышения долговечности и надежности используют битумные и полимербитумные материалы на негниющих основах.

Гидростеклоизол — битумный гидроизоляционный материал, состоящий из стекловолокнистой основы, на которую с двух сторон нанесен слой битумного вяжущего, состоящего из битума, минерального наполнителя (20 % от массы вяжущего) и пластификатора-мягчителя. Масса битумного вяжущего 3000 ± 300 г/м^2. Материал укрепляется на изолируемой поверхности путем оплавления пламенем газовоздушных горелок (см. рис. 16.2); рекомендуемая температура работ при укладке — не ниже 10° С.

Гидростеклоизол предназначен для гидроизоляции тоннелей метрополитена, пролетных строений мостов и путепроводов, подвалов, бассейнов и т. п. Для кровельных работ не рекомендуется.

16.4. ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Герметизирующие материалы (герметики) применяют для уплотнения швов между элементами строительных конструкций для обеспечивания водо- и воздухонепроницаемости шва. Герметики, используемые для заделки швов в сборном домостроении, должны быть эластичными, так как такие швы меняют свои размеры в результате температурных и усадочных деформаций. Это не позволяет использовать для этих целей жесткие цементные растворы. Другой тип герметиков — монтажные герметики — используемые для заделки швов между дверными и оконными коробками и стеной, укрепления стекол в рамах и т. п.

В зависимости от вида герметики могут быть в виде паст, мастик, вспенивающихся составов и в виде упругих и эластичных прокладок.

Герметизирующие мастики получают на основе пластично-вязких полимерных продуктов. Основное требование к мастичным герметикам — высокая деформативность и адгезия к материалу шва (например, к бетону). Различают герметики неотверждающиеся, отверждающиеся и высыхающие.

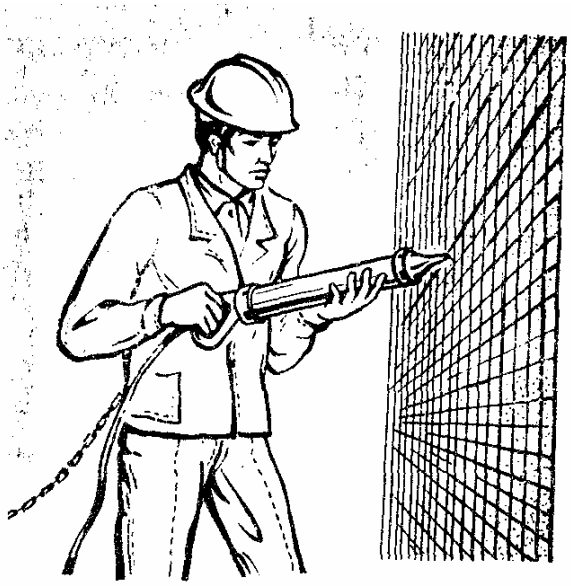
Неотверждающиеся герметики получают в основном на основе полиизобутилена — термоэластопласта, сохраняющего эластичность при температурах от + 80 до — 60° С. Для этой цели используют также синтетические каучуки: бутиловый, акриловый и др.

Полиизобутиленовые мастики кроме полимера содержат тонкодисперсный наполнитель (мел, тальк и др.) и мягчитель (масло). Мастика обладает водо- и атмосферостойкостью и отличной адгезией к большинству материалов. Для нагнетания мастики в швы используют шприцы со сменными патронами, наполненными составом (рис. 16.5).

Отверждающиеся герметики получают из реакционноспособных олигомеров (главным образом, жидких каучуков). Наибольшее распространение в строительстве получили тиоколовые герметики; в меньшей степени — полиуретановые и силиконовые. Отверждение мастик может происходить за счет введения отвердителей (вулканизаторов) или влагой и кислородом воздуха.

Тиоколовая мастика — двухкомпонентный состав, включающий в себя жидкий тиоколовый каучук, наполненный сажей или светлыми порошкообразными наполнителями, и вулканизирующую пасту. Компоненты смешиваются перед заполнением шва. Через 1...3 сут паста непосредственно в шве превращается в резину, не теряя при этом адгезии к бетону. Этот герметик можно использовать для уплотнения стекол, установленных в металлические рамы в витринах, теплицах и т. п.

Силиконовые герметики отличаются высокой теплостойкостью и химической стойкостью.



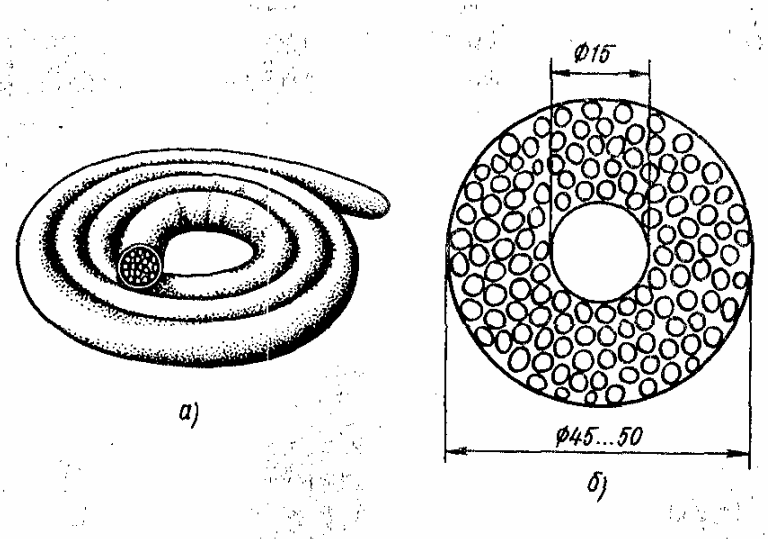
Р и с . 16.5. Заделка стыков мастикой с помощью пневматического шприца

Высыхающие герметики — вязко-пластичные материалы, получаемые растворением в органических растворителях битумных, полимерных и других связующих в смеси с наполнителями. Эти материалы аналогичны холодным битумным и битумно-полимерным мастикам. Такие герметики выпускают в готовом виде. Их можно применять при низких температурах. Недостаток таких герметиков — токсичность и пожароопасность во время проведения работ.

Монтажные пены — новый вид герметиков, представляющий собой жидкие полимерные составы, отверждающиеся на воздухе, насыщенные под давлением газом. Они расфасованы в баллончики вместимостью до 1 дм^3. При нажатии на клапан баллончика из него выходит струя вязкой жидкости, моментально вспучивающаяся и затвердевающая в виде пены через несколько часов. Такой герметик обеспечивает не только гидроизоляцию, но и теплоизоляцию в герметизируемом шве. Их с успехом используют для уплотнения швов при установке дверных и оконных блоков.

Штучные герметики — жгуты и ленты. *Жгуты* обычно имеют круглое поперечное сечение и пористую структуру. Они эластичны и устанавливаются в шов в обжатом состоянии, что позволяет им обеспечивать герметичность шва при изменении его ширины. *Ленточные герметики* получают, нанося на волокнистую основу слой нетвердеющего мастичного герметика; такими лентами заклеивают шов.

Гернит — пористый эластичный жгут коричневого цвета (D = 20...60 мм и длиной до 3 м), имеющий плотную пленку на поверхности (рис. 16.6, *а*). Его получают на основе атмосферостойкого него-



Р и с . 16.6. Пористые герметизирующие прокладки:
а — прокладка «Гернит»; *б* — прокладка из пенополистирола «Вилатерм»

рючего полихлоропренового каучука. В шов гернит рекомендуется устанавливать с использованием клеющей мастики.

Вилатерм — жгут белого цвета, полый внутри, получаемый из вспененного полиэтилена (рис. 16.6). По свойствам вилатерм аналогичен герниту, но сохраняет эластичность при более низких температурах. Используется также для тепловой изоляции труб (в особенности в холодильных установках).

Герлен — герметизирующая самоклеющаяся лента, представляющая собой нетвердеющую мастику из синтетического каучука, мягчителей и наполнителей, нанесенную на подложку из нетканого синтетического полотна. С другой стороны мастика защищена от слипания разделительной лентой из парафинированной или силиконизированной бумаги. Герлен сохраняет эластичность при температурах от — 50° С до + 60° С. Толщина ленты 3 мм; ширина — 100 мм.

Ленту наклеивают на изолируемый шов, подложкой наружу. Адгезия мастики к бетону и металлу высокая. Герлен используют для герметизации швов в панельном домостроении, в тоннельных обделках и стыках водопропускных труб. Выпускается специальная марка герлена для герметизации кузовов автомобилей.

Контрольные вопросы

1. Какие агрессивные факторы воздействуют на кровельные материалы? 2. Проведите сравнение толя, пергамина и рубероида (по составу, свойствам и применению). 3. Как происходила модификация рубероида? 4. Что такое мягкая черепица? 4. Каким условиям должен удовлетворять гидроизоляционный материал? 5. Какие типы гидроизоляционных материалов вы знаете? Каков механизм их действия? 6. Какая разница между битумными мастиками, эмульсиями и пастами? 7. Основные виды герметизирующих материалов. Каким условиям они должны соответствовать?

ГЛАВА 17. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

17.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В старом традиционном строительстве теплоизоляционные материалы применялись в небольших количествах и, как правило, имели природное происхождение (войлок, солома, сухие засыпки). Обеспечение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (а это их прямое назначение!) решалось в основном с помощью увеличения их толщины. Таким образом, материал (например, кирпич) выполнял одновременно как минимум две функции: конструктивную и теплоизоляционную. Так сложилась традиционная для средней полосы России толщина кирпичной стены в 2 и 2,5 кирпича (51 и 64 см соответственно).

Возросшая стоимость энергии и проблемы с ее запасами поставили задачу повышения эффективности тепловой изоляции ограждающих конструкций и тепловых агрегатов. С 2000 г. в России установлены новые нормативные значения теплового сопротивления стен и других ограждающих конструкций. Они в 3...3,5 раза выше прежних. Побудительной причиной для этого явились большие потери тепловой энергии через поверхности зданий, сооружений, тепловых трасс и теплоагрегатов. При старых нормативах они достигли к концу XX в. до 30 % годового потребления топливно-энергетических ресурсов в России.

Решить эту задачу, используя только традиционные материалы, нельзя (например, для этого надо увеличить толщину кирпичной стены в 3 раза). Обеспечить заданные значения теплового сопротивления ограждающих конструкций можно только с помощью использования специальных высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционными материалами называют материалы, предназначенные для минимизации теплообмена с окружающей средой через ограждающие конструкции зданий и поверхности оборудования и трубопроводов. К таким материалам относятся материалы, имеющие теплопроводность не более 0,175 Вт/(м · К) и соответственно среднюю плотность не более 600 кг/м^3.

Применение теплоизоляционных материалов позволяет, помимо экономии тепловой энергии, существенно снизить вес и толщину ограждающих конструкций, соответственно уменьшив расходы на основные материалы, транспортные расходы и т. п.

По назначению теплоизоляционные материалы делят на *общестроительные* и *монтажные* (для изоляции агрегатов и трубопроводов).

По виду исходного сырья теплоизоляционные материалы бывают *неорганические* и *органические;* это определяет их рабочие температуры, склонность к возгоранию и долговечность. Изготовляют также и комбинированные материалы, состоящие из органического и неорганического сырья (например, деревоцементные материалы).

По внешнему виду и форме теплоизоляционные материалы могут быть сыпучие и штучные.

Сыпучие материалы представляют собой рыхлые массы порошкообразного, зернистого или волокнистого строения. В сухом виде их используют для засыпки полостей в ограждающих конструкциях (керамзит, вспученный перлит т. п.). Некоторые порошкообразные материалы затворяют водой и в виде *мастик* наносят на изолируемую поверхность трубопроводов и тепловых агрегатов.

Штучные теплоизоляционные материалы — жесткие и гибкие изделия различной формы: плиты, маты, блоки, скорлупы и т. п. Применение штучных изделий позволяет ускорить и упростить производство теплоизоляционных работ и повысить их качество.

17.2. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Строение теплоизоляционных материалов. ***Пористость.*** Основной признак теплоизоляционных материалов — высокое содержание воздуха в объеме материала. Причина этого в следующем. Газы по сравнению с жидкостями и твердыми телами обладают чрезвычайно низкой теплопроводностью (объясняется это удаленностью молекул газов друг от друга, что затрудняет передачу ими тепловой энергии). Так, теплопроводность воздуха $\lambda = 0{,}023$ Вт/(м · К). Эта цифра справедлива для переноса тепла воздухом в спокойном состоянии. Движение воздуха (в частности, конвекция) способствует намного более интенсивному теплообмену. Поэтому теплоизоляционный материал должен состоять в основном из воздуха, лишенного способности перемещаться. Это возможно в тех следующих случаях, когда материал имеет следующее строение:

- мелкопористое ячеистое (как пена);
- волокнистое (как вата);
- зернистое (воздух находится в межзерновом пространстве);
- пластинчатое (воздушные прослойки заключены между листками материала).

Наибольшее содержание воздуха, т. е. максимальная пористость, возможна у первых двух типов материалов. У материала *ячеистого строения* (например, пенопласта) пористость может достигать 95...98 %, а у *волокнистых* материалов (например, минеральной ваты) — 90...95 %. Возможны материалы со структурой смешанного типа. Например, у керамзита два типа воздушных пустот: межзерновая пустотность — 45...50 % и пористость самих зерен — 65...70 %, что в общем дает содержание воздуха в материале — 75...80 %.

Строение вещества твердого каркаса материала также влияет на его теплопроводность. Если вещество имеет кристаллическое строение, то его атомы расположены в правильном порядке; это предопределяет его высокую теплопроводность. Вещества, имеющие стеклообразное строение, не имеют такого порядка в расположении атомов. Поэтому одно и то же *вещество в стеклообразном состоянии* имеет в несколько раз меньшую теплопроводность, чем в кристаллическом (например, кристалл кварца имеет $\lambda = 7{,}2$ (13,6) Вт/(м · К) (в зависимости от направления), а кварцевое стекло — около 0,7 Вт/(м · К).

У большинства неорганических теплоизоляционных материалов вещество, образующее каркас, имеет стеклообразное строение (минеральная вата, пеностекло и др.).

Существенно влияет на теплопроводность и ***однородность строения*** материала. Так, песчаник, состоящий из отдельных кристаллов кварца (песчинок), скрепленных природным цементом, имеет $\lambda = 2...3$ Вт/(м · К), т. е. в 3...4 раза ниже отдельного кристалла кварца.

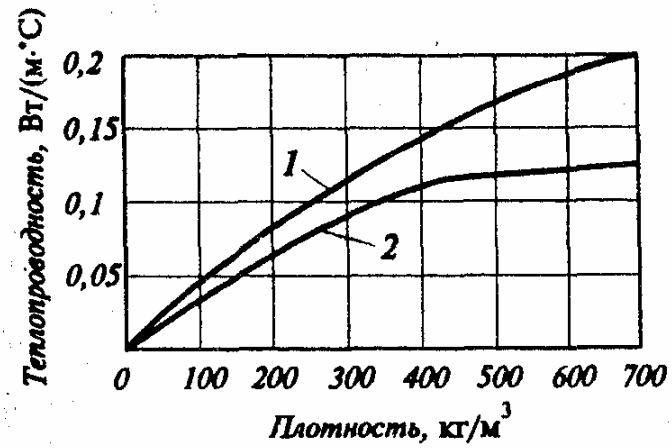
Средняя плотность материала зависит в основном от его пористости (см. § 2.3). В то же время пористость является главным фактором, от которого зависит теплопроводность материала. Поэтому в определенных пределах с достаточной степенью точности связь между плотностью и теплопроводностью можно считать линейной (рис. 17.1).

Чем ниже средняя плотность материала, тем больше в нем пор и тем ниже его теплопроводность. Поэтому для характеристики теплопроводности (λ) можно использовать среднюю плотность материала ρ_m.

Установлены следующие марки теплоизоляционных материалов (кг/м^3): D15, D25, D35, D50, D75, D100, D125, D150, D200, D250, D300, D350, D400, D500, D600. О целесообразности установления марки теплоизоляционных материалов по плотности говорит простота расчета плотности по сравнению с определением теплопроводности.

Влажность оказывает существенное влияние на теплопроводность материалов, так как у воды, замещающей воздух в порах материала, $\lambda = 0{,}58$ Вт/(м · К), что в 25 раз выше, чем у воздуха. При замерзании воды теплопроводность материала еще возрастает, так как у льда $\lambda = 2{,}32$ Вт/(м · К). Поэтому желательно, чтобы теплоизоляционные материалы в минимальной степени поглощали влагу и при эксплуатации находились в сухом состоянии. Пути достижения этого — закрытая пористость, гидрофобность материала и конструктивные меры, обеспечивающие сухое состояние теплоизоляции. Гигроскопичные материалы нежелательны для теплоизоляции.

Газо- и паропроницаемость материала важна при использовании его в ограждающих конструкциях. При низкой паропроницаемости теплоизолирующего материала возможно накопление влаги в месте его контакта с другим материалом, что может привести к развитию негативных процессов в этом месте конструкции вплоть до ее разрушения.



Р и с . 17.1. Зависимость теплопроводности материала от его средней плотности:

1 — неорганические материалы; *2* — органические материалы

Тепловые свойства. Теплопроводность материала зависит от температуры: при повышении температуры теплопроводность повышается (для температур до 100° С теплопроводность λ_t при температуре материала t с достаточной точностью можно вычислить по формуле:

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta),$$

где λ_0 — теплопроводность при 0° С; температурный коэффициент β = =0,0025). При более высокой температуре зависимость теряет линейный характер.

Теплостойкость (жаростойкость) оценивают по предельной температуре применения материала. Она зависит от химического состава материала и у органических материалов не превышает 100...150° С. Минеральные теплоизоляционные материалы в зависимости от состава выдерживают нагрев до 500...800° С. Для бóльших температур производится специальная высокотемпературная и огнеупорная теплоизоляция.

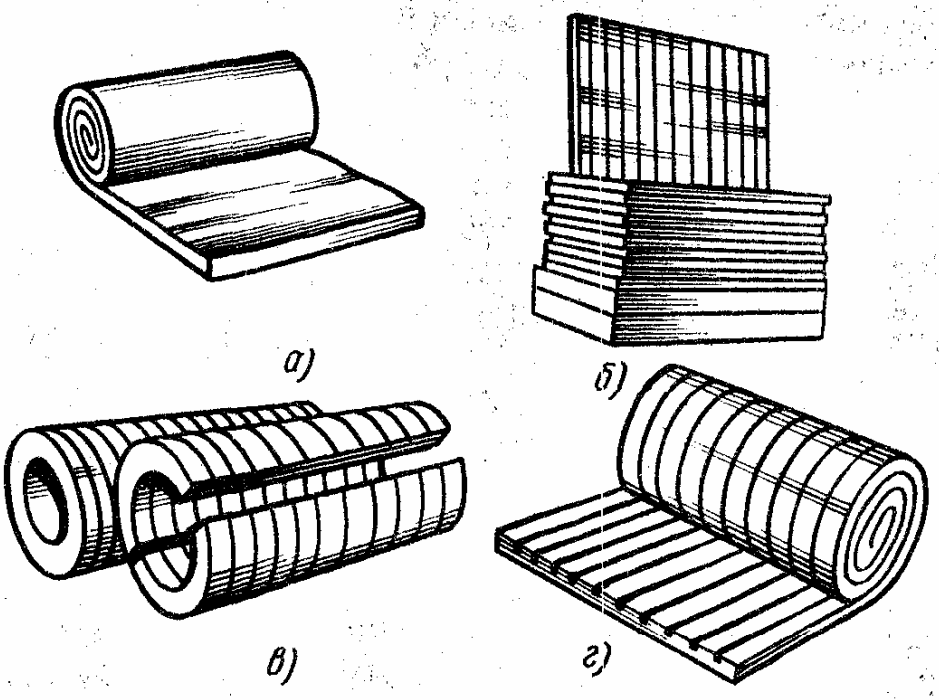
Химическая и биологическая стойкость. Высокопористое строение и большая удельная поверхность теплоизоляционных материалов делают их уязвимыми для действия химически агрессивных веществ. Органические материалы природного происхождения при повышении влажности легко загнивают. Многие теплоизоляционные материалы повреждаются грызунами.

Прочность теплоизоляционных материалов при сжатии сравнительно невелика — 0,2...2,5 МПа. Показателем стабильности качества материала является напряжение при 10 %-ной деформации сжатия, так как уплотнение материала повышает его теплопроводность. Материалы, имеющие предел прочности > 2,5 МПа, могут применяться самостоятельно (как самонесущие) для ограждающих конструкций. Менее прочные используются при условии закрепления на несущем материале или для заполнения пустот в нем. Во всяком случае, прочность теплоизоляционного материала должна быть такова, чтобы обеспечивалась его сохранность при перевозке, складировании, монтаже и, конечно, в эксплуатационных условиях.

17.3. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Номенклатура теплоизоляционных материалов очень широка. Но около 90 % от общего объема применения в строительстве составляют два вида изделий: из искусственных минеральных волокон (около 70 %) и ячеистых пластмасс — пенопластов (около 20 %). Это объясняется простотой технологии их производства (это касается пенопластов), огромной сырьевой базой (это касается минеральных волокон) и высокими эксплуатационными свойствами.

Неорганические материалы изготовляют на основе минерального сырья (горных пород, шлаков, стекла, вяжущих веществ, асбеста и т. п.). К этим материалам относятся изделия из минеральной ваты, пеностекло, ячеистые бетоны, асбестосодержащие засыпки и мастичные составы, а также пористые заполнители, используемые как теплоизоляционные засыпки (керамзит, перлит, вермикулит и др.).



Р и с . 17.2. Теплоизоляционные изделия из минеральной ваты:
а — минеральный войлок; *б* — полужесткие плиты; *в* — полуцилиндры; *г* — прошивной мат

Неорганические теплоизоляционные материалы теплостойки, негорючи, не подвержены загниванию. Как уже говорилось, наибольшее применение находят изделия на основе минеральной ваты.

Минераловатные изделия получают на основе коротких и очень тонких минеральных волокон (минеральной ваты), скрепляемых в изделия с помощью связующего или другими способами.

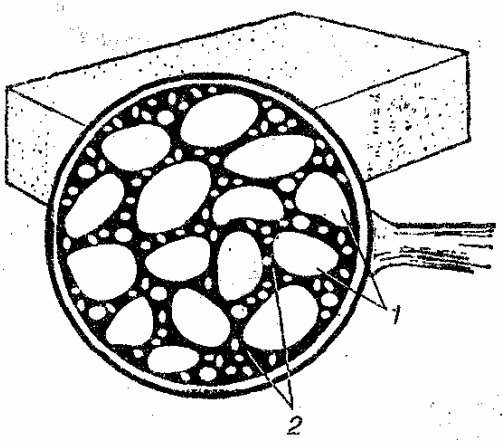
Минеральную вату вырабатывают из силикатных расплавов, сырьем для которых служат металлургические шлаки, осадочные (мергели, каолины и др.) и изверженные (базальт и др.) горные породы, отходы стекла и другие силикатные материалы. Название минеральная вата получает по виду сырья: например, шлаковая, базальтовая или стекловата. Вид сырья определяет, в частности, температуростойкость ваты (у базальтовой ваты — до 1000° С, а у стекловаты 550...650° С), тонкость и упругость волокна и другие свойства.

Силикатный расплав раздувом или разбрызгиванием центрифугой превращают в тончайшие стекловидные волокна диаметром 1...10 мкм и длиной в несколько сантиметров. Волокно собирается в камере волокноосаждения на непрерывно движущейся сетке. Сюда же подается связующее вещество для получения из рыхлого минерального волокна ковра и дальнейшего формования изделий (в исходном виде минеральная вата в настоящее время не применяется).

Минераловатные изделия применяют для тепловой изоляции в широком диапазоне температур: — 200... + 600° С; изделия на основе

специальных минеральных волокон (например, базальтовых) выдерживают до 1000° С. Они слабо адсорбируют влагу, не поражаются грызунами.

Производят следующие виды минераловатных изделий: мягкие плиты (минеральный войлок) и прошивные маты, полутвердые и твердые плиты и скорлупы (рис. 17.2).



Р и с . 17.3. Структура пеностекла:
1 — поры; *2* — стеклянные прослойки

Мягкие маты и плиты (минеральный войлок) получают как с помощью прошивки минераловатного ковра, сдублированного с фольгой или металлической сеткой, так и с помощью минерального связующего путем его легкой подпрессовки. Такие маты выпускают в виде рулонов. Плотность 30...100 кг/м^3; теплопроводность 0,033...0,035 Вт/(м · К).

Полужесткие и жесткие плиты и фасонные изделия получают с использованием полимерных связующих (размер плит обычно 600 х 1200 мм при толщине от 50 до 120 мм). Для получения большой жесткости плиты без увеличения ее плотности применяют технологию с частичной вертикальной ориентацией волокон. Плотность плит 50...150 кг/м^3; теплопроводность 0,04...0,06 Вт/(м · К). Подобные плиты используют для устройства теплоизоляции стен и кровельных покрытий. Плиты легко режутся и укрепляются на стенах клеющими мастиками. Скорлупы и сегменты используют для изоляции трубопроводов.

Пеностекло (ячеистое стекло) — материал, получаемый термической обработкой порошкообразного стекла (обычно для этого используется стеклобой), смешанного с порошком газообразователя (мел, известняк, кокс). В момент перехода стекла в пластично-вязкое состояние газообразователь выделяет газ (в данном случае CO_2), который вспучивает стекломассу.

Пеностекло имеет как бы двойную пористость: стенки крупных пор (диаметром 0,5...2 мм) содержат микропоры (рис. 17.3). При этом все поры замкнутые. Такое строение пеностекла объясняет его низкую теплопроводность при достаточно высокой прочности и практически нулевое водопоглощение и паронепроницаемость. Теплопроводность пеностекла при плотности 200...300 кг/м^3 составляет 0,06...0,12 Вт/(м · К), а прочность на сжатие — 3...6 МПа.

Ячеистое стекло легко обрабатывается (пилится, сверлится), хорошо сцепляется с цементными материалами. Пеностекло применяют для изоляции металлоконструкций, при бесканальной прокладке трубопроводов и благодаря паронепроницаемости и минимальному водо-

поглощению (> 1 %) для теплоизоляции стен, потолков промышленных холодильников.

Теплоизоляционные бетоны — бетоны плотностью не более 500 кг/м^3 по структуре могут быть трех видов:

- слитного строения на пористых заполнителях (например, керамзитовом гравии и перлитовом песке) и цементном или полимерном вяжущем;
- крупнопористые (беспесчаные) на однофракционном керамзитовом гравии и цементном или полимерном связующем;
- ячеистые.

Крупнопористые бетоны используют в виде плит, заменяющих засыпную теплоизоляцию.

Ячеистые бетоны — наиболее перспективный вид теплоизоляционных бетонов, отличающиеся сравнительно простой технологией получения. Их широкому распространению препятствует высокое водопоглощение и гигроскопичность. Сухой ячеистый бетон при плотности 300...500 кг/м^3 имеет теплопроводность 0,07...0,1 Вт/(м · К); при влажности 8 % теплопроводность возрастает до 0,15...0,18 Вт/(м · К). Применяют ячеистые бетоны в виде камней правильной формы, заменяющих 8...16 кирпичей.

Монтажная теплоизоляция — специальная группа неорганических теплоизоляционных материалов (засыпки и мастики) и готовых изделий (листы, плиты, скорлупы), используемых для изоляции трубопроводов и агрегатов с высокими температурами поверхности. К таким материалам относятся асбестосодержащие материалы (чисто асбестовые и смешанные), теплоизоляционная керамика и др. Использование асбеста в монтажной теплоизоляции основывается на его огнестойкости и низкой теплопроводности, а в мастичных материалах он выполняет также армирующие функции. Последнее объясняется волокнистым строением асбеста (подробнее об асбесте см. § 14.5).

Асбестовый картон и бумагу изготовляют из асбеста 4—5 сортов с использованием органических клеев (крахмала, казеина). Асбестовая бумага толщиной 0,3...1,5 мм и плотностью 450...900 кг/м^3 имеет λ = =0,15...0,25 Вт/(м · К). Ее используют для изоляции поверхностей, работающих при температурах до 500° С.

Асбестовый картон более толстый, чем бумага (2...10 мм). Его применяют для предохранения деревянных и других конструкций из легкогорючих материалов для защиты от возгорания. У асбеста для этого есть два необходимых свойства: огнестойкость и низкая теплопроводность.

Асбестосодержащие смешанные материалы представляют собой порошки из асбеста с различными добавками (слюды, диатомит, минеральные вяжущие и т. п.). При затворении водой эти смеси превращаются в пластичное тесто, способное при высыхании затвер-

девать. Из него получают покрытия на изолируемых поверхностях или производят изделия — полуфабрикаты (плиты, скорлупы).

Изоляция подобного типа выдерживает температуры до 900° С; при этом теплопроводность таких материалов составляет 0,1...0,2 Вт/(м · К). Имея открытую пористость и высокое водопоглощение, асбестосодержащие материалы требуют защиты от увлажнения; тем более, что большинство из них не водостойки.

Наиболее известны среди таких материалов вулканит и совелит. *Вулканит* получают из смеси диатомита (60 %), асбеста (20 %) и извести (20 %). Плотность вулканитовых изделий не более 400 кг/м^3; теплопроводность < 0,1 Вт/(м · К). *Совелит* получают из смеси асбеста с основным карбонатом кальция и магния, получаемого из доломита; используют его при температурах до 500° С.

Приготовление и нанесение асбестосодержащих теплоизоляционных материалов, сопряженное с выделением асбестовой пыли, должно вестись с соблюдением требований Санитарных правил и норм (СанПиН 2.2.3.757—99).

Для ***высокотемпературной теплоизоляции*** (1000° С и более) применяют пенокерамические материалы и легковесные огнеупоры.

Органические теплоизоляционные материалы получают как из природного сырья (древесины, сельскохозяйственных отходов, торфа и т. п.), так и на основе синтетических полимеров.

Материалы из сельскохозяйственных отходов, камыша, торфа — местные теплоизоляционные материалы. У них не очень высокие технические характеристики и небольшая долговечность, но они выгодны экономически.

Материалы на основе древесного сырья: изоляционные древесноволокнистые плиты (ДВП), фибролит и арболит имеют более высокие технические характеристики и соответственно находят большее применение в строительстве, в частности, для малоэтажных зданий.

Изоляционные древесноволокнистые плиты (мягкие и полутвердые ДВП) изготовляют из неделовой древесины, измельчая ее в воде на отдельные волокна. Полученную массу, в которую вводят гидрофобизирующие и антисептирующие добавки, отливают на частую медную сетку, слегка подпрессовывают и высушивают (если эту массу сушить на прессах под большим давлением, то получается твердая отделочная древесноволокнистая плита — «оргалит» (см. § 3.6).

Толщина изоляционных древесноволокнистых плит 10...25 мм. Плотность таких плит — 150...350 кг/м^3, теплопроводность 0,05...0,09 Вт/(м · К); прочность при изгибе 0,4...2 МПа.

Большие размеры плит (длина до 3 м, ширина до 1,6 м) ускоряют проведение строительно-монтажных работ. Эти плиты используют для тепло- и звукоизоляции стен и перекрытий, устройства подстилающих

слоев в конструкциях полов и т. п. Особенно широко используют изоляционные древесноволокнистые плиты в сборно-щитовом строительстве.

Фибролит и арболит — материалы из древесной стружки (фибролит), опилок и щепы (арболит) на цементном вяжущем; благодаря этому у них пониженная горючесть и повышенная биостойкость по сравнению с другими древесными материалами (об их изготовлении см. § 14.6).

Теплоизоляционный фибролит представляет собой плиты размером до 2400 х 600 мм и толщиной до 100 мм, по структуре напоминающие грубый войлок из тонких древесных стружек, связанных цементом. Плотность теплоизоляционного фибролита — 300...350 кг/м^3; теплопроводность — 0,09...0,1 Вт/(м · К). Предел прочности при изгибе 0,4...0,5 МПа. Фибролит с плотностью 400...500 кг/м^3 и прочностью 0,7...1,2 МПа применяются как *конструкционно-теплоизоляционный* материал, например, для заполнения каркасных конструкций стен.

Фибролит не горит открытым пламенем, а тлеет и затухает после удаления источника огня. Он легко обрабатывается — его можно пилить, сверлить, вбивать в него гвозди. Стена из фибролитовых плит толщиной 10...15 см эквивалентна по термическому сопротивлению кирпичной стене в два кирпича.

Арболит — разновидность легкого бетона на заполнителях из древесных отходов. Его свойства описаны в § 14.6.

Полимерные теплоизоляционные материалы: пенопласты, поропласты и сотопласты широко применяются в строительстве. Их доля в общем объеме теплоизоляционных материалов достигает 20 %. Они отличаются высокими эксплуатационными характеристиками, достаточно долговечны и технологичны. По внешнему виду и способу применения газонаполненные пластмассы могут быть в виде штучных изделий (в основном плит) и в виде жидко-вязких материалов, впучивающихся и отверждающихся на месте применения (заливочные пенопласты, монтажные пены).

Пенопласты — листовые и фасонные изделия получают вспениванием различных полимеров: полистирола, поливинилхлорида, полиэтилена, фенольных полимеров и др. Используется прессовый и беспрессовый методы изготовления изделий из пенопластов (см. § 15.2).

Пенополистирол — наиболее известный вид строительных пенопластов. Из него получают крупноразмерные плиты толщиной до 100 мм. Марки по плотности (кг/м^3) пенополистирола D15...D50; теплопроводность — 0,03...0,04 Вт/(м · К); теплостойкость 80...90° С. Пенополистирол — горючий материал; однако с помощью антипиренов получают трудновоспламеняемый пенополистирол.

Беспрессовый пенополистирол состоит из склеившихся друг с другом вспененных гранул полистирола. Этот вид пенополистирола паропроницаем, имеет заметное водопоглощение и невысокую проч-

ность. Беспрессовый пенополистирол в виде листов и плит применяется для тепловой изоляции стен, когда необходима паропроницаемость всей конструкции.

Прессовый пенополистирол имеет плотные корки на обеих поверхностях плит и полностью замкнутую пористость. Поэтому он абсолютно паронепроницаем, имеет ничтожное водопоглощение (< 0,3 %) и бо́льшую прочность, чем беспрессовый. Этот вид пенополистирола рекомендуется для тепловой изоляции конструкций, где возможен длительный контакт с водой и не нужна паропроницаемость.

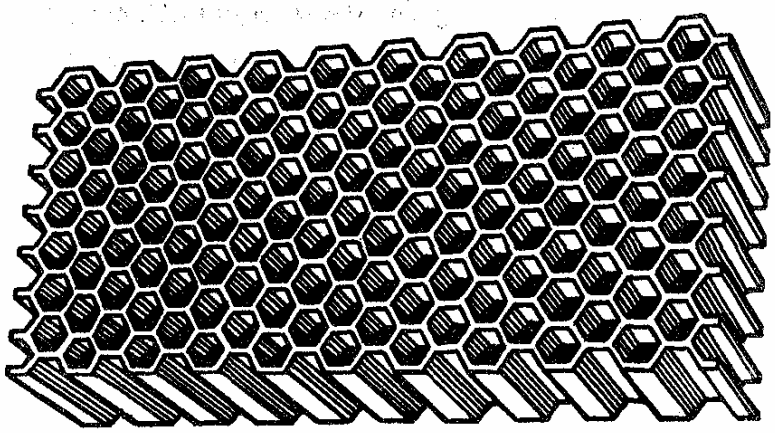
Пенополивинилхлорид — материал в виде плит, по методу получения и структуре аналогичен прессовому пенополистиролу. Плотность пенополивинилхлорида 35...70 кг/м^3, теплопроводность 0,04...0,054 Вт/(м · К). Теплостойкость пенополивинилхлорида — 130...140° С; горючесть значительно ниже, чем у пенополистирола. Благодаря повышенной прочности применяется для теплоизоляционных слоев кровельных конструкций (например, из пенополивинилхлорида выполнена тепловая изоляция кровли зала «Дружба» в Лужниках (Москва), по которой непосредственно сделано собственно кровельное покрытие).

В последние годы получил распространение пенополиэтилен, известный под названием «Вилатерм» (см. § 16.4). Его производят в виде эластичного полотнища, легко скатываемого в рулон. Толщина пенополиэтилена 5...10 мм; ширина полотнищ — 1...3 м. Пенополиэтилен водо- и паронепроницаем. Его можно дублировать с алюминиевой фольгой; такой материал отражает инфракрасные лучи, создавая дополнительный теплоизоляционный барьер. Кроме листового пенополиэтилена, из него выпускают полые трубки для изоляции трубопроводов и герметизации стыков в панельных зданиях.

Заливочные пенопласты — жидко-вязкие олигомерные смолы, заливаемые в пазухи, оставленные в изолируемой конструкции, вспучивающиеся и отверждающиеся в них.

Фенольный пенопласт — один из первых пенопластов. Он поставлялся на место использования в двух упаковках (смола с газообразователем и отвердитель), смешиваемых непосредственно перед заливкой. В качестве газообразователя применяется алюминиевая пудра, а кислотный отвердитель, кроме своей основной роли, реагируя с алюминиевой пудрой, выделяет газообразный водород. Фенольные пенопласты жесткие и теплостойкие; они хорошо сцепляются в момент отверждения с другими материалами. Это используется при производстве *трехслойных легких панелей* типа «сэндвич»: два металлических листа, между которыми заключен пенопласт.

В настоящее время все большее распространение получают *пенополиуретаны*, обладающие низкой плотностью 30...50 кг/м^3 и низкой теплопроводностью при достаточно высокой прочности. Пенополиуретаны могут быть как жесткими, так и эластичными. Они, как и фенольные пенопласты, применяются для изготовления трехслойных



Р и с . 17.4. Сотопласт

конструкций. Выпускается специальный вид пенополиуретана — монтажная пена, используемая, например, для устройства теплоизолирующих уплотнений при установке дверных и оконных коробок.

Сотопласты получают, пропитывая синтетическими клеями и склеивая гофрированные листы бумаги или ткани, так что образуется жесткая конструкция наподобие пчелиных сот (рис. 17.4). Размер ячеек 10...30 мм. Плотность сотопластов — 20...70 кг/м^3. Сотопласты оклеивают с обеих сторон листовым материалом (твердой ДВП, фанерой и т. п.); при этом получается прочная трехслойная панель. Прочность при сжатии у такого материала — 5...7 МПа. Применяют сотопласты в конструкциях дверей, перегородок и т. п.

17.4. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Общие сведения. Акустика (греч. *akustikos* — слушающий) — наука о звуке. Строительная акустика решает проблемы обеспечения нормального звукового режима в помещениях самого разного назначения. Главная задача современной строительной акустики — *снижение уровня шумового загрязнения* помещений.

Шумами называют звуки, вызываемые различными причинами, но не несущие полезной информации. Шумы оказывают негативное воздействие на психическое и физическое состояние человека. Снижение уровня шумового загрязнения среды, в которой находится человек,— важная медико-биологическая и социальная задача.

Слышимые звуки — звуки с частотой ν = 16...20 000 Гц; кроме того, существуют не воспринимаемые ухом, но воздействующие на психику человека инфразвуки (ν < 16 Гц) и ультразвуки (ν > 20 000 Гц).

Звуки в воздухе распространяются в виде звуковой волны (периодического сгущения и разрежения воздуха). Силу звука в акустике принято характеризовать *уровнем силы звука* в децибелах (I_n) — десятикратным логарифмом отношения данной силы звука (I) к пороговой силе звука (минимальной слышимой ухом) (I_0). Расчет уровня силы звука, дБ, производят по формуле:

$$I_n = 10\lg(I/I_0)$$

(логарифмическая шкала взята для более наглядного представления о громкости звука). Уровни силы звука, дБ, некоторых видов шумов составляют:

Улица с интенсивным движением транспорта	100
Среднее по шуму производство	80
Громкий разговор нескольких человек	60
Тихий разговор	40
Шелест листвы	20
Порог слышимости	0

Допустимые уровни силы шумов в различных помещениях нормируются в СНиПе.

Усиление интереса к проблеме звукоизоляции помещений вызвано несколькими причинами. В жизни человека появляется все больше механизмов и аппаратов, являющихся источниками шума, урбанизация привела к скученности людей, и наконец, чисто строительная причина — уменьшение толщины и массы ограждающих конструкций зданий приводит к снижению их звукоизолирующей способности.

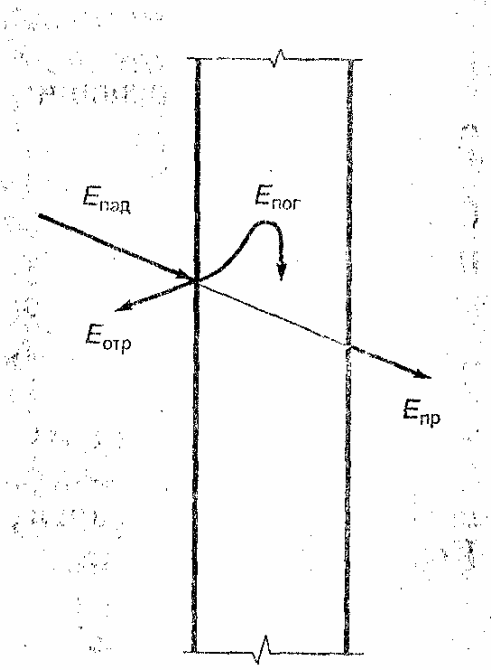
На рис. 17.5 представлена схема взаимодействия ограждающей конструкции с энергией падающего на нее звука ($E_{пад}$): часть энергии отражается от поверхности конструкции ($E_{отр}$), часть энергии поглощается конструкцией ($E_{пог}$) и часть проходит сквозь нее ($E_{пр}$). Соотношение значений этих энергий в основном зависит от двух факторов:

- характера поверхности материала конструкции;
- степени упругости и массы материала конструкции.

С точки зрения улучшения акустического климата помещения и внешней среды желательно, чтобы максимум звуковой энергии поглощался ограждающей конструкцией, а не отражался и не проходил через нее.

Помимо *воздушных шумов,* распространяющихся по воздуху, существуют *шумы ударные.* Они возникают в результате ударных и вибрационных воздействий на строительную конструкцию и распространяются по материалу конструкций.

Радикальной мерой устранения шумов является ликвидация источников шума, но это возможно далеко не всегда. Поэтому



Р и с . 17.5. Схема взаимодействия звуковой энергии с ограждающей конструкцией:

$E_{пад}$ — падающая энергия; $E_{отр}$ — отраженная энергия; $E_{пр}$ — прошедшая энергия; $E_{пог}$ — поглощенная энергия

стремятся снизить уровень шума с помощью конструктивно-планировочных решений и применения акустических материалов.

Акустическими материалами называют материалы, способные поглощать звуковую энергию, снижая уровень силы отраженного звука и препятствуя передаче звука по конструкции. По этому признаку акустические материалы делят на звукопоглощающие и звукоизоляционные.

Звукопоглощающие материалы имеют большое количество *открытых, сообщающихся друг с другом пор*, максимальный диаметр которых не превышает обычно 2 мм (общая пористость таких материалов более 75 %). Звукопоглощающие материалы имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение; их плотность, как правило, не превышает 500 кг/м^3. Звук попадает в поры материала и, проходя по ним, передает свою энергию материалу. Он преобразует звуковую энергию в тепловую в результате потерь на внутреннее трение в стенках пор или волокон материала.

Эффективность звукопоглощающих материалов оценивается коэффициентом звукопоглощения α, вычисляемым как отношение поглощенной энергии к общему количеству энергии, падающих на материал звуковых волн

$$\alpha = E_{\text{пог}}/E_{\text{пад}}.$$

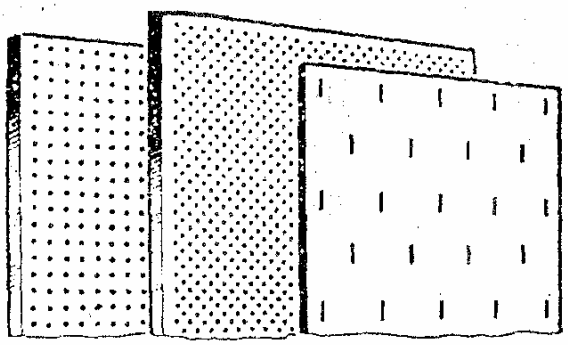
К звукопоглощающим относят материалы с $\alpha > 0{,}4$ ($\alpha = 1$ для открытого окна).

Первыми материалами, применявшимися для поглощения звука, были ткани, ковры, меховые шкуры, которыми обивали стены и покрывали полы. Для обеспечения нужной акустики в театрах использовали бархатные портьеры и обивки кресел.

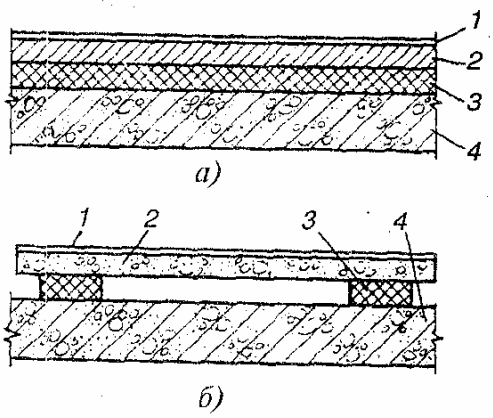
В современном строительстве в роли эффективных звукопоглощающих материалов используются *минераловатные плиты,* специально формуемые для акустических целей. Такие плиты размером 300 х 300 х х 20 мм под названием «Акмигран» используют для устройства звукопоглощающих потолков в общественных и производственных зданиях. Коэффициент звукопоглощения таких плит 0,6...0,7.

Другой не менее распространенный вид акустических плит — *перфорированные гипсовые плиты* обычно размером 600 х 600 х 8,5 мм. С обратной стороны гипсовые плиты имеют звукопоглощающий слой из нетканого полотна, гофрированной бумаги, минеральной ваты (рис. 17.6).

Для улучшения акустических свойств помещений применяются специальные штукатурки (см. § 11.8) на пористых заполнителях; коэффициент звукопоглощения у них 0,25...0,4. Такая штукатурка использована, в частности, для стен зрительного зала театра Российской



Р и с . 17.6. Акустические плиты с гипсокартонным акустическим перфорированным экраном



Р и с . 17.7. Схема применения звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях:

а — в виде сплошного слоя; *б* — в виде штучных (полосовых) прокладок; *1* — покрытие пола; *2* — конструкция пола; *3* — звукоизоляционный материал; *4* — несущий элемент перекрытия

армии в Москве (для сравнения драпировки и ковры имеют $\alpha = 0{,}3...0{,}6$).

Следует отметить, что большинство звукопоглощающих материалов в силу своего строения гигроскопичны и не водостойки (так, например, коэффициент размягчения «Акмиграна» < 0,5), поэтому их необходимо предохранять от увлажнения.

Звукоизоляционные материалы применяют для снижения уровня ударных и вибрационных шумов, передающихся через строительные конструкции. Они представляют собой упругие материалы волокнистого строения (например, минераловатные плиты), эластичные газонаполненные пластмассы и резиновые прокладки (рис. 17.7). Механизм действия таких материалов также заключается в переводе энергии звуковых колебаний в тепловую энергию в результате внутреннего трения деформируемых элементов материала (например, волокон) или упругих деформаций самого материала (резиновые прокладки). Для эффективной работы динамический модуль упругости звукоизоляционных материалов не должен превышать 1,0...2,0 МПа (для сравнения модуль упругости бетона и кирпича $\approx 10^4$ МПа).

Контрольные вопросы

1. Какие материалы относятся к теплоизоляционным? 2. Что дает использование теплоизоляционных материалов в строительстве? 3. Какой показатель используется в качестве марки теплоизоляционных материалов? Почему? 4. Какие типы структур характерны для теплоизоляционных материалов? 5. Сравните по технико-экономическим показателям органические и минеральные теплоизоляционные материалы? 6. Какой теплоизоляционный материал имеет наибольшее распространение? Опишите его свой-

ства. 7. Какие теплоизоляционные материалы относятся к числу местных? 8. Что такое газонаполненные пластмассы? 9. По какому признаку принято разделять акустические материалы? 10. Каков механизм действия звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов?

ГЛАВА 18. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

18.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

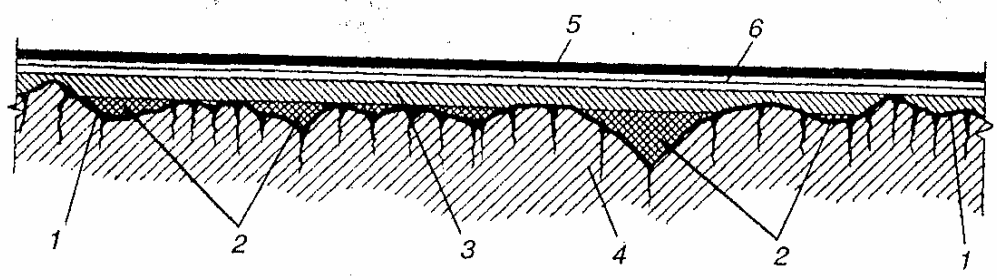
Лакокрасочные материалы — вязкие жидкости (реже порошки), которые после нанесения превращаются в твердую пленку на поверхности окрашиваемого материала. Эту пленку называют лакокрасочным покрытием, а окрашиваемый материал — подложкой.

Использование человеком красок известно с древнейших времен: это и раскрашивание наскальных рисунков, и покрытие красками утвари, лица и тела. Основная цель этих действий — создание *декоративного эффекта.*

В настоящее время лакокрасочные материалы используют не только в декоративных целях, но и в *защитных.* В некоторых случаях эта функция становится основной; например, покрытие паркета лаком или окраска кровли из листовой жести.

Лакокрасочные покрытия могут преследовать и другие цели: *психологические* (создание настроения, оповещение о возможной опасности и т. п.), *санитарно-гигиенические* (облегчение уборки, дезактивации), *маскировочные* и др.

Лакокрасочное покрытие строительных (и не только строительных) конструкций — сложная многослойная система (рис. 18.1). Как правило, окрашиваемая поверхность покрывается *грунтовкой* (огрунтовывается) для улучшения сцепления других слоев с основанием. По огрунтованной поверхности наносится выравнивающий слой: крупные неровности (раковины, трещины) выравниваются подмазкой, мелкие — *шпатлевкой.* По подготовленной таким образом поверхности наносится *краска* и/или *лак.*



Р и с . 18.1. Схема поперечного сечения лакокрасочного покрытия:
1 — грунтовка; *2* — подмазка; *3* — шпатлевка; *4* — основание; *5* — лак; *6* — краска (1 — 3 слоя)

В последние годы лакокрасочные материалы используют очень широко, а их производство превратилось в крупную отрасль промышленности. Выпускаются краски, лаки, грунтовки и шпатлевки самых разнообразных видов и для самых разных целей. Однако всех их объединяет общность *в составе* и *свойствах* в рабочем состоянии и общность *в строении* и *свойствах* образуемого ими покрытия, т. е. в эксплуатационном состоянии.

Обязательный компонент в составе всех лакокрасочных материалов — *пленкообразующее (связующее) вещество.* Для получения покрытия с необходимыми эксплуатационными показателями материал в рабочем состоянии должен обладать определенными *реологическими свойствами:*

- легко наноситься на отделываемую поверхность в виде тонкой пленки с помощью того или иного инструмента (кисть, валик, распылитель);
- сразу же после нанесения пленка должна хорошо удерживаться, не стекая, на любых поверхностях.

Для этого подготовленные к нанесению лакокрасочные материалы должны представлять из себя *структурированные жидкости,* обладающие *тиксотропными свойствами.* Это значит, что при механических воздействиях, например, при движении кисти, они должны разжижаться и, растекаясь по поверхности тонким слоем, сразу же после прекращения механического воздействия переходить в вязко-пластичное состояние. Такой лакокрасочный материал не будет стекать под действием силы тяжести. Эти свойства у лакокрасочных материалов достигаются путем подбора правильного соотношения компонентов: твердых (пигментов и наполнителей) и жидких (растворителей и разжижителей), а также с помощью специальных добавок.

Сформировавшееся лакокрасочное покрытие представляет собой тонкую (0,05...1 мм) пленку, имеющую достаточно хорошее сцепление с окрашиваемой поверхностью.

У большинства материалов лакокрасочная пленка формируется в основном за счет испарения жидкого компонента и (или) полимеризации связующего, что сопровождается *усадкой пленки.* Во время эксплуатации при изменении влажности пленка может испытывать деформации набухания и усадки. Под действием кислорода и УФ-излучения в пленке возникают напряжения от структурных изменений в связующем. Все эти процессы вызывают растрескивание пленки и ослабляют ее сцепление с основанием, и тем больше, чем толще красочный слой. Поэтому, как это ни парадоксально, более надежными и долговечными оказываются тонкие лакокрасочные пленки. При необходимости получения толстой пленки целесообразно производить окраску в несколько слоев.

Основные виды лакокрасочных материалов до середины XX в.— лаки и краски на натуральных смолах и олифах, а также известковые и клеевые краски. Во второй половине XX в. все шире начинают применяться краски и лаки на полимерных связующих.

В большинстве водостойких красок используют органические растворители — токсичные и пожароопасные. При этом растворители нужны только на стадии нанесения краски, для придания ей необходимых реологических свойств. Поэтому все шире начинают применяться *вододисперсионные (водоэмульсионные) краски,* в которых разбавителем служит вода. Это коснулось в особенности красок строительного назначения. Другой вариант высококачественных красок вовсе без растворителя — *порошковые краски,* в которых рабочая консистенция достигается их разогревом до плавления в момент нанесения.

Вододисперсионные и порошковые краски с экологической точки зрения — один из лучших видов лакокрасочных материалов. Доля этих красок в общем производстве лакокрасочных материалов растет. В настоящее время в европейских странах доля вододисперсионных красок составляет 20...30 %, а порошковых — 3...7 % от общего выпуска лакокрасочных материалов.

Надо отметить, что в последние годы снова возрастает интерес к старым традиционным, дешевым и самым безопасным с экологической точки зрения клеевым и известковым краскам.

Лакокрасочные материалы (краски, грунтовки и шпатлевки) — сложные многокомпонентные системы. Обязательный компонент любого из перечисленных материалов — *пленкообразующее* (связующее) вещество; в красках обязательный компонент — *пигмент*, а в грунтовках и шпатлевках — *наполнители*. До рабочей консистенции лакокрасочные материалы доводятся *растворителями* или разбавителями. Кроме перечисленных компонентов в лакокрасочные материалы вводят различные добавки, обеспечивающие необходимые технологические и эксплуатационные свойства: отвердители и ускорители, загустители, поверхностно-активные добавки, стабилизирующие вещества и т. п.

18.2. СВЯЗУЮЩИЕ, РАСТВОРИТЕЛИ И РАЗБАВИТЕЛИ

Пленкообразующие (связующие) вещества. В качестве пленкообразующих веществ применяют самые разнообразные материалы. Это могут быть как неорганические вяжущие (известь, цемент, жидкое стекло), так и органические вещества (природные смолы, битум, пек, животные клеи, эфиры целлюлозы, олифы, синтетические смолы в виде олигомеров и полимеров). Ниже рассмотрены основные виды связующих.

Минеральные вяжущие — известь, жидкое стекло, цемент; их описание дано в гл. 8.

Растительные клеи — среди них чаще других используется крахмал. Перед использованием крахмал обрабатывают 1 %-ным раствором NaOH и вводят в полученную смесь 5...7 % (от массы крахмала) канифольного масла и 0,5...1 % антисептика. Так как крахмальные пленки не устойчивы к трению и легко размываются водой, они не получили широкого распространения. Чаще используют близкие по составу водорастворимые эфиры целлюлозы.

Животные клеи — растворимые в воде высокомолекулярные вещества белковой природы, способные образовывать из водных растворов пленки с хорошей адгезией к подложке. К этим видам клеев относятся:

глютиновые клеи (костный, желатиновый и т. п.), получаемые вываривaнием отходов от переработки животных и рыб; эти клеи не водостойки и склонны к загниванию;

казеиновый клей получают из снятого молока, обработанного кислотами; его обычно используют в сочетании с гашеной известью или другими щелочными реагентами, так как он растворяется только в щелочных средах. Краски на казеиновом клее имеют довольно высокую атмосферостойкость (срок службы окраски фасадов 4...5 лет) и хорошую адгезию к силикатным материалам (бетону, штукатурке и т. п.).

Смолы природные — твердые слабоокрашенные прозрачные продукты растительного происхождения (за исключением шеллака), плавящиеся при нагревании до 110...200° С и растворяющиеся в соответствующих растворителях. Их использовали для получения лаков, а также для модификации других пленкообразующих веществ. Главнейшие смолы, применяемые в лакокрасочных материалах: канифоль, копалы, шеллак.

Канифоль — остаток от отгонки скипидара из смолистого сока хвойных деревьев (живицы); растворяется почти во всех органических растворителях, хорошо совмещается с растительными маслами. Канифоль в основном применяют для модификации других пленкообразующих веществ с целью повышения адгезионных свойств.

Копалы, янтарь — ископаемые смолы, использовавшиеся для получения высококачественных лаков; в настоящее время их применяют ограниченно.

Шеллак — продукт в виде тонких чешуек, получаемых очисткой смолистых выделений мелких тропических насекомых. Шеллак хорошо растворим в спирте; такие растворы используют как мебельный лак и политура.

Битумы и пеки описаны в § 9.2.

Водорастворимые эфиры целлюлозы (метилцеллюлоза — МЦ; карбоксиметилцеллюлоза — КМЦ и др.) используют для внутренних работ, так как атмосферостойкость их невысока. Они образуют вязкие

растворы, а после высыхания — пленку, обладающую не очень высокой адгезией.

Нитроцеллюлоза — сложный эфир целлюлозы, получаемый при обработке ее азотной кислотой. В лакокрасочной промышленности используют продукт неполной этерификации — *коллоксилин* с молекулярной массой 40...150 тыс. Нитроцеллюлоза хорошо растворяется в ацетоне и других полярных растворителях и не растворима в углеводородных растворителях. Стойкость нитроцеллюлозы в кислых и щелочных средах невысокая. Теплостойкость 50...60° С; при более высоких температурах возгорается. Для улучшения свойств нитроцеллюлозу совмещают с алкидными смолами.

Олифы (от греч. *aleipha* — масло) — традиционные пленкообразующие вещества на основе жидких растительных масел или алкидных (глифталевых или пентафталевых) полимеров (часто неправильно называемых смолами), модифицированных растительными маслами. Все олифы — олигомерные продукты. Для олиф используют ненасыщенные масла, т. е. имеющие двойные связи в углеводородной цепи. Благодаря двойным связям олифы могут отвердевать (а не высыхать!) за счет окислительной полимеризации, т. е. сшивки кислородом воздуха. Образующиеся эластичные пленки со временем, особенно под действием УФ-излучения, становятся хрупкими и растрескиваются. Процесс отвердевания необратимый, т. е. «высохшая» масляная краска не растворяется повторно.

По составу и технологии приготовления олифы могут быть: натуральные, олифы-оксоль и алкидные (табл. 18.1).

Таблица 18.1. **Составы и области применения олиф**

Тип олифы	Содержание масла, %	Область применения
Натуральная	100	Приготовление грунтовок, шпатлевок, густотертых и готовых к употреблению красок, пропитка пористых поверхностей
Полунатуральная (олифа-оксоль)	50...55	Разбавление масляных красок
Алкидная	30	Приготовление густотертых и готовых к употреблению масляных красок и грунтовок

Примечание. Под названием «олифа» выпускаются и другие пленкообразующие жидкие продукты, отличающиеся, однако, худшими свойствами.

Олифу натуральную получают из ненасыщенных растительных масел (льняного и конопляного) двумя способами: «окислением» — продувкой воздуха через подогретое до 150...160° С масло или «полимеризацией» — нагревом масла до температуры 270...280° С. При этом происходит частичная полимеризация молекул масел благодаря нали-

чию в них двойных связей, т. е. натуральная олифа — олигомерный продукт. Как уже говорилось, олифы или краски на ее основе, нанесенные тонким слоем, способны под действием кислорода воздуха отвердевать. Для ускорения отвердевания олифы в нее вводят ***сиккативы*** (лат. *siccativus* — высушивающий) — соли жирных кислот Pb, Mn, Co, катализирующие окислительную полимеризацию ненасыщенных масел. Количество вводимого сиккатива 0,01...0,1 % (по сухому веществу) от массы масел. При отсутствии кислорода процесс полимеризации практически не идет. Например, краска, залитая водой, не отвердевает.

В настоящее время натуральную олифу применяют редко, в основном, для красок, используемых в живописи.

Олифу-оксоль (полунатуральную олифу) получают более глубокой окислительной полимеризацией растительных масел до получения вязкой жидкости. Ее растворяют уайт-спиритом в соотношении 1 : 1. Олифу-оксоль получают как из льняного или конопляного масла (марка В), так и из подсолнечного, соевого (марки ПВ и СМ) и др.

Краски на олифе марки «В» используют как для наружных, так и для внутренних работ; краски на олифе марки «ПВ» годятся только для внутренних работ. Краски на олифе-оксоль менее долговечны и дают более хрупкую пленку, чем краски на натуральной олифе.

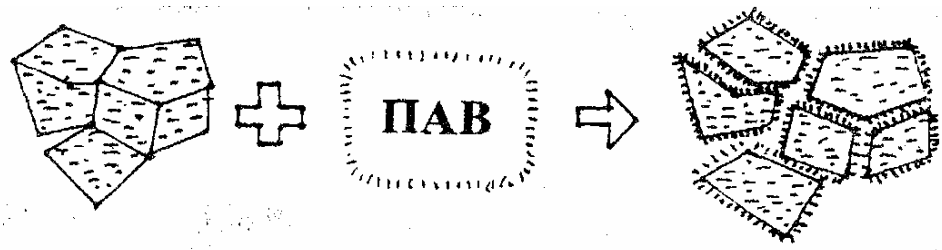
Алкидные олифы представляют собой растворы низковязких жирных алкидных смол (60...65 % масла) в уайт-спирите. Их выпускают двух типов: глифталевая (ГФ) и пентафталевая (ПФ). Получают их путем олигомеризации глицерина (или пентаэритрита), фталевого ангидрида и ненасыщенных растительных масел. Последние являются внутренними пластификаторами, придающими пленке, получаемой из этих олиф, эластичность.

По атмосферостойкости алкидная олифа почти не уступает натуральной, а по физико-механическим показателям пленки во многом превосходит ее. При этом расход пищевых масел в таких олифах минимальный.

Из рассмотренных олиф в строительстве в основном используют алкидные, на базе которых выпускают широкий ассортимент красок.

Синтетические полимерные связующие — эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые описаны в § 9.4. Лучшие краски и лаки с самыми разнообразными свойствами получают на полиуретановых связующих путем регулирования их состава при синтезе.

Перхлорвиниловые полимеры (их часто называют смолами) — принятое в России название продукта ограниченного хлорирования поливинилхлорида — ПВХ (см. § 9.3). Перхлорвинил содержит 62,5...64,5 % связанного хлора. В отличие от ПВХ перхлорвинил хорошо растворяется во многих органических растворителях (хлорсодержащих, ароматических, ацетоне). Пленки, получаемые из раствора перхлорвинила, атмосферостойкие, теплостойкие (до 100° С) и морозостойкие (до



Р и с . 18.2. Диспергирующее действие поверхностно-активных веществ (ПАВ) на пигмент

— 45° С). Перхлорвинил широко используют для получения фасадных красок.

Полиакрилаты — группа полимеров сложных эфиров акриловой кислоты. В зависимости от состава полиакрилаты могут иметь вид от клейких каучукоподобных продуктов до твердых стеклообразных полимеров. В последние годы полиакрилаты все чаще начинают использовать в производстве лакокрасочных материалов высокого качества.

Водные дисперсии полимеров — одна из возможных форм синтеза самых различных полимеров, позволяющая получать вододисперсионные краски. Водные дисперсии полимеров представляют собой мельчайшие частицы полимера (1...100 мкм), взвешенные в воде. Концентрация полимера 40...50 %. От агломерации (слипания) частицы полимера защищены тонкой пленкой эмульгатора (стабилизирующего поверхностно-активного вещества) ПАВ. Схему действия ПАВ см. рис. 18.2.

Первыми в строительстве стали использовать дисперсию поливинилацетата — ПВА (см. § 9.3) и латексы каучуков. В принципе любой полимер может быть получен в виде водной дисперсии. Основную долю современных вододисперсионных красок получают на основе полиакрилатных дисперсий.

Высушенные с помощью распылительной сушки водные дисперсии превращаются в сухие порошки, которые могут быть *редиспергированы* в воде, т. е. из них вновь может быть получена дисперсия.

Растворители и разбавители. *Растворители* — летучие жидкости, образующие со связующими (полимерными, масляными) истинные растворы, стабильные во времени. *Разбавители* — хорошо совмещающиеся с красочным составом жидкости, образующие с ним устойчивые смеси (суспензии или эмульсии).

Способность растворителя растворять связующее (*растворяющая способность*) зависит от его молекулярного строения и определяется в основном соотношением полярностей растворителя и связующего. Здесь действует закономерность «подобное растворяется в подобном». Так, алкидные связующие, имеющие в своих молекулах бензольные кольца, хорошо растворимы в ароматических растворителях (бензоле,

толуоле) и не растворяются в кислородсодержащих растворителях (спирте, ацетоне); краски на олифе, молекулы которой имеют длинные углеводородные цепи, хорошо растворяются в алифатических углеводородах.

При выборе растворителей помимо их растворяющей способности необходимо руководствоваться и другими свойствами. Главнейшее из них — *скорость испарения*. Ее можно характеризовать относительной летучестью, показывающей, во сколько раз медленнее испаряется наш растворитель по сравнению с эталоном.

Относительная летучесть (эталон ацетон-1):

этилацетат — 1,4	дихлорэтан — 2,0	ксилол — 6,5
бензол — 1,4	толуол — 2,9	уайт-спирит — 20...30
бензин «галоша» — 1,7	этиловый спирт — 4,0	скипидар — 30...40

Если скорость испарения велика и выше скорости миграции растворителя в объеме красочного слоя, то возможно формирование твердой пленки на поверхности незатвердевшего покрытия с образованием поверхностных дефектов, в частности, типа «шагрень» (усыхающая кожа).

Если скорость испарения мала, то замедляется формирование твердого лакокрасочного покрытия, возрастает вероятность дефектов; особенно нежелательно это в случае «твердеющих» (термореактивных) связующих, так как в этом случае растворитель частично остается в покрытии, ухудшая его свойства.

Как правило, от растворителей и разбавителей требуется *химическая инертность* к связующему и другим компонентам лакокрасочного материала. Однако в некоторых случаях, наоборот, растворителем выбирают вещество, входящее при твердении в состав лаковой пленки (например, стирол в лаках на основе ненасыщенных полиэфиров).

Органические растворители *токсичны*, поэтому при работе с ними необходимо соблюдать меры безопасности: проветривать помещение, где ведутся работы, и применять защитные приспособления: перчатки, респираторы и даже противогазы. По степени повышения токсичности растворители располагаются в такой последовательности: скипидар, уайт-спирит, этилацетат, ацетон, бензол, толуол, ксилол, дихлорэтан.

Очень серьезный недостаток органических растворителей — *горючесть*. Их пары при определенных концентрациях с воздухом образуют взрывоопасные смеси. В помещениях, где хранятся материалы с растворителями или работают с ними, необходимо строго соблюдать противопожарные правила: нельзя разводить открытый огонь; подсоединения электроприборов должны исключать искрообразование; при открывании металлических емкостей с растворителями следует использовать инструмент, не вызывающий искрообразование.

В зависимости от химического состава органические растворители делятся на углеводородные (алифатические, ароматические, нефтяные и терпеновые), кислородсодержащие (кетоны, спирты, эфиры) и галогеносодержащие углеводороды.

Алифатические углеводороды C_nH_{2n+2} (пентан, гексан и др.) — легколетучие бесцветные жидкости со слабым запахом. Они обладают низкой растворяющей способностью и относительно дороги. В чистом виде применяют редко.

Ароматические углеводороды (бензол, ксилол, толуол и др.) — бесцветные жидкости с характерным запахом. Они обладают значительно большей, чем алифатические углеводороды, растворяющей способностью, однако их применение ограничивает высокая токсичность. Ароматические углеводороды хорошо смешиваются с другими углеводородными растворителями. Их обычно применяют в смесях. Например, часто используемый *сольвент нефтяной* или *каменноугольный* представляет собой смесь ксилола с другими ароматическими и алифатическими углеводородами.

Нефтяные растворители — один из самых дешевых и доступных видов растворителей, получаемый при фракционировании нефти. Состоят они из смеси алифатических углеводородов с некоторой примесью ароматических. В зависимости от температуры кипения различают следующие виды нефтяных растворителей:

Вид растворителя	Температура кипения, ° С
Петролейный эфир	36...70
Бензин-растворитель «галоша»	80...120
Бензин-растворитель — уайт-спирит	165...200

Терпеновые растворители содержат ненасыщенные углеводороды состава $(C_5H_8)_n$. Из них в основном применяют *скипидар* (терпеновое масло); он хорошо растворяет масляные и глифталевые краски.

Кетоны — кислородсодержащие растворители, из которых наиболее широко используют ацетон — легкокипящая жидкость с температурой кипения 56° С. Он хорошо растворяет многие полимеры и олигомерные смолы (эпоксидные, полиэфирные). Обычно его применяют в смеси с другими растворителями. Недостаток ацетона — гигроскопичность, так как при поглощении воды его растворяющая способность падает.

Спирты — кислородсодержащие растворители. Используются низшие одноатомные спирты: бутиловый, этиловый и метиловый (метанол). Из-за высокой токсичности применение последнего ограничено.

Сложные и простые эфиры — кислородсодержащие растворители. Чаще всего используют эфиры низших спиртов и уксусной кислоты (ацетаты): *этилацетат* ($T_{кип}$ = 75° С) и *бутилацетат* ($T_{кип}$ = 125° С) —

прозрачные жидкости с фруктовым запахом. Они хорошо растворяют большинство синтетических эмалей.

Правильный выбор вида и количества растворителя — серьезная задача, во многом определяющая качество лакокрасочного покрытия. Как правило, для конкретных лакокрасочных материалов применяют не один растворитель, а *специально подобранную смесь* растворителей.

Пожароопасность и токсичность органических растворителей, присутствие которых в лакокрасочном материале необходимо только на стадии нанесения, делает использование материалов с такими растворителями крайне нерациональным. Лучший растворитель с точки зрения минимальной токсичности и пожаробезопасности — *вода*. Но и у нее есть недостатки: с ней нельзя работать при температуре ниже 0° С и она не способна растворять большинство масляных красок и эмалей. Последний недостаток преодолим путем замены *растворов* полимеров на их *водные дисперсии,* в которых вода является не растворителем, а разбавителем.

Современные тенденции развития лакокрасочной промышленности связаны именно с разработкой материалов, *не содержащих органических растворителей,* например, водоразбавляемых или порошковых.

18.3. ПИГМЕНТЫ И НАПОЛНИТЕЛИ

Пигменты. Качество пигментов характеризуется комплексом технологических и эксплуатационных свойств, вытекающих из требований, предъявляемых к ним.

Технологические свойства

Красящая способность (интенсивность) пигмента — способность передавать свой цвет при смешивании с белым пигментом. Чем больше красящая способность, тем меньше требуется пигмента для получения окраски нужного тона, и он может быть частично заменен наполнителем.

Кроющая способность (укрывистость) — способность пигмента, диспергированного в связующем, перекрывать цвет подложки, т. е. делать его невидимым. Это свойство обусловлено рассеянием света частицами пигмента и зависит от разности показателей светопреломления пигмента ($n_{пиг}$) и пленкообразующего вещества ($n_{пл}$). Чем она больше, тем более укрывист пигмент. Поскольку у органических пленкообразующих (олиф, полимеров) $n < 1{,}5...1{,}6$, то укрывистыми будут пигменты с $n > 1{,}6$. Укрывистость зависит также от дисперсности пигмента.

Оценивается укрывистость расходом пигмента ($г$) на 1 м^2 окрашиваемой поверхности, необходимым для закрытия контрастной окраски (например, черных и белых полос) этой поверхности.

Укрывистость и красящая способность не всегда связаны друг с другом. Так, высокоинтенсивный синий пигмент — лазурь обладает невысокой кроющей способностью, а высокоукрывистый красный пигмент — свинцовый сурик характеризуется малой красящей способностью.

Дисперсность (тонкость измельчения) пигмента существенно влияет как на его красящую способность, так и на укрывистость. Чем мельче частицы пигмента, тем выше эти показатели. Грубодисперсные пигменты дают шероховатую поверхность и провоцируют быстрое разрушение покрытия. Природные пигменты, получаемые измельчением горных пород, состоят из частиц размером 0,5...40 мкм; у искусственных дисперсность выше — 0,1...2 мкм.

Маслоемкость пигмента характеризуется количеством (в %) связующего (олифы), необходимым для образования пасты пигмента путем его перетира с олифой. Чем меньше олифы требует пигмент, тем дешевле краска и тем более стойким будет покрытие, так как в красочном слое в первую очередь деградирует пленка связующего. Маслоемкость зависит от дисперсности частиц, их формы и смачиваемости.

Для поддержания высокой дисперсности пигмента и предотвращения его агрегирования в лакокрасочных материалах используют добавки ПАВ (механизм их действия показан на рис. 18.2).

Эксплуатационные свойства

Светостойкость — способность пигментов сохранять свой цвет под действием солнечного света (в основном, УФ-компонента). Некоторые пигменты (в основном органические) на свету «выцветают».

Атмосферостойкость — комплексное свойство — способность пигментов выдерживать без разрушения и изменения цвета воздействие внешней среды: кислорода, CO_2 и других газов, содержащихся в воздухе, воды, замораживания и оттаивания. Это свойство является важнейшим для пигментов фасадных красок.

Химическая стойкость — способность пигментов противостоять действию кислот и щелочей. В частности, щелочестойкость абсолютно необходима пигментам красок, наносимых на бетонные и оштукатуренные стены, и пигментам, используемых в известковых и силикатных красках.

Теплостойкость — способность пигмента выдерживать действие высоких температур без изменения цвета и разложения. Теплостойкость пигментов следует учитывать при окраске систем отопления и тепловых установок.

Безвредность пигментов. Эта проблема связана с тем, что некоторые пигменты содержат ядовитые вещества: соединения свинца, хрома и

других тяжелых металлов; это необходимо учитывать при окраске интерьеров.

Специальные свойства пигментов необходимы в тех случаях, когда лакокрасочное покрытие выполняет специальные функции. Так, если основная задача окрашивания — защита от коррозии, что важно для металлоконструкций, желательно, чтобы пигмент обладал пассивирующими свойствами (алюминиевая пудра, свинцовый сурик). Другим примером может служить электропроводность пигмента, необходимая в тех случаях, когда покрытие не должно накапливать статическое электричество.

Существуют пигменты, меняющие свой цвет при изменении температуры в определенных пределах. Краски с такими пигментами могут служить индикаторами температуры.

Главнейшие виды пигментов

Пигменты принято делить по следующим признакам:

- по химическому составу: неорганические и органические;
- по происхождению: природные и синтетические;
- по цвету: ахроматические (белые, серые, черные) и хроматические (цветные).

Природные минеральные пигменты (старинное название «земляные пигменты» или «земли») — известный с глубокой древности, но все еще широко применяемый в строительстве вид пигментов. Их получают механическим обогащением, помолом или отмучиванием окрашенных горных пород (главным образом, глин). Эти пигменты имеют приглушенную окраску, но свето- и атмосферостойкость их очень высока.

Преобладающая гамма оттенков природных пигментов — желто-красно-коричневая, вызванная присутствием в составе глин оксидов железа различного состава. К таким пигментам относятся: *охра* (желтый цвет), *сурик железный* (кирпично-красный цвет), *мумия* (коричневато-красный), *умбра* (коричневый, после прокаливания — красно-коричневый), *сиена* (темно-желтый, после прокаливания — каштановый).

Черные природные пигменты — *перекись марганца* (MnO_2) — марганцевая руда пиролюзит и *графит* — модификация чистого углерода — дают красивую гамму тонов от серебристо-серого до черного; исключительно термо-, химически- и атмосферостойкий пигмент.

Белый природный пигмент — *мел* ($CaCO_3$) используется ограниченно (в основном в водных красках); применяется как наполнитель в шпатлевках.

Искусственные неорганические пигменты получают химической обработкой минерального сырья. Они имеют более яркую и разнообразную окраску и бóльшую стабильность цвета по сравнению с при-

родными пигментами; однако в некоторых случаях долговечность (свето- и атмосферостойкость) их ниже, чем у природных.

Белые пигменты. *Белила титановые* (TiO_2) — диоксид титана рутильной модификации — самый распространенный в настоящее время белый пигмент высокого качества (n = 2,72; укрывистость — 15...25 г/м^2); свето- и атмосферостоек; применяется для всех видов красок.

Белила цинковые (ZnO) — светостойкость высокая; атмосферостойкость — средняя; n = 2,02, укрывистость — 100...120 г/м^2; хорошо совмещается с другими пигментами, не стоек в кислых и щелочных средах (т. е. не рекомендуется для красок на минеральных связующих).

Литопоновые белила (смесь ZnS и $BaSO_4$) (красящая способность — средняя (n = 1,8...2,0; укрывистость — 120...140 г/м^2)) — пигмент обладает низкой атмосферостойкостью, желтеет от УФ-излучения и рекомендуется только для внутренних работ; применяется в грунтовках.

Желтые и красные пигменты. Как и у природных, в этой гамме преобладают пигменты на основе оксидов железа: *желтый железноокисный, красный железноокисный (редоксайд) и марсы* (группа пигментов различных оттенков). Они отличаются высокой укрывистостью, атмосферо- и светостойкостью.

Более яркую и насыщенную окраску имеют свинцовые и цинковые пигменты: *крон свинцовый* (лимонный, желтый и оранжевый), *крон цинковый* (лимонный и желтый) и *сурик свинцовый* (оранжево-красный). Эти пигменты (кроме сурика) менее стойки, чем железноокисные, и ядовиты (в особенности свинцовые).

Синие и зеленые пигменты. К синим пигментам, получившим широкое распространение, относится железная лазурь и ультрамарин.

Железная лазурь (милори) — ферроцианид железа и калия — пигмент интенсивного синего цвета, применяется в смеси с белыми и желтыми (для получения зеленого цвета) пигментами; не щелочестоек.

Ультрамарин — алюмосиликат натрия, содержащий серу; щелоче- и светостоек; в кислых средах обесцвечивается (в быту используется для подсинивания белья).

Кобальт синий — пигмент очень высокого качества; из-за высокой стоимости применяется редко, в основном как краска для керамики.

Среди зеленых пигментов один из лучших — *оксид хрома* (Cr_2O_3), оливково-зеленого цвета, обладающий высокой свето- и атмосферостойкостью, благодаря высокой укрывистости применяют обычно в смеси с наполнителями; используется для приготовления всех видов красок и эмалей; особенно часто применяют окись хрома в масляных красках для крыш.

Медянка (основная уксуснокислая медь) — интенсивно окрашенный зеленый пигмент; применяется обычно в смеси с титановыми белилами для получения светло-зеленых красок. Недопустимо смешение с пигментами, содержащими цинк или сернистые соли (например,

цинковыми белилами и литопоном). Светостойкость медянки ниже, чем у оксида хрома.

Зеленые пигменты можно получить смешиванием синих пигментов с желтыми; например, *зелень цинковую* — смесь цинкового крона с лазурью, применяют в основном в красках для деревянных поверхностей; из-за низкой щелочестойкости не рекомендуется для окраски бетонных и оштукатуренных поверхностей и полностью не пригодна для известковых и силикатных красок.

Черные пигменты. Среди черных пигментов главнейшие — *сажи,* получаемые по различным технологиям. Для красок используют газовую сажу, имеющую минимальное количество примесей. Высокодисперсная сажа образует со связующим коллоидные растворы. Сажа абсолютно свето- и химически стойка. Кроме сажи, особенно для цветных штукатурок, применяется щелочестойкий пигмент *железная черная* (закись — окись железа — $FeO \cdot Fe_2O_3$).

Металлические пигменты представляют собой тонкодисперсные металлические порошки (*алюминиевая, бронзовая пудра*) с защитным покрытием; используются для защитных окрасок металлоконструкций и как второй пигмент в красках типа — *металлик*. В водных красках не применяется.

Органические пигменты — это, как правило, органические красители, переведенные в нерастворимую форму. От неорганических они отличаются большей интенсивностью окраски, разнообразием и чистотой тонов, но меньшей свето-, атмосферо- и химической стойкостью. Наибольшее распространение получили азопигменты, фталоцианиновые и полициклические пигменты.

Азопигменты имеют непрерывную гамму цветов от зеленовато-желтого до бордо. Они устойчивы к действию щелочей.

Фталоцианиновые пигменты имеют синий, голубой и зеленый цвета. Это одна из самых устойчивых к УФ-излучению, нагреву и химическим воздействиям группа органических пигментов, используемых для строительных целей уже более 50 лет.

Полициклические пигменты — перспективный вид пигментов, имеющих широкую цветовую гамму, высокую красящую способность и удовлетворительную свето- и термостойкость.

Наполнители. Наполнители, как и пигменты,— минеральные порошки, нерастворимые в связующем. В отличие от пигментов они имеют низкий показатель преломления ($n = 1{,}45...1{,}65$), близкий к показателю преломления олиф и лаков. Из-за этого наполнители зрительно исчезают в пленке связующего и, как результат, имеют очень низкую укрывистость. В других средах с меньшим показателем преломления наполнители могут играть роль пигментов (например, мел в клеевых красках).

Наполнители — более дешевые и доступные вещества, чем пигменты. Их используют для экономии дорогостоящих пигментов, а также

для улучшения малярно-технических и эксплуатационных свойств покрытий. В большом количестве их используют в шпатлевках.

В зависимости от способа получения различают наполнители:

• *природно-дисперсные наполнители:* каолин, мел, бентонит, диатомит;

• *механически диспергированные:* асбест хризотиловый пылеватый, барит, тальк, слюда, мусковит, гипс;

• *синтетические*: аэросил; белая сажа; бланфикс — синтетический барит; окись и гидроокись алюминия и др.

Наполнители в лакокрасочных материалах не только заменяют часть пигментов, но и выполняют специальные функции. Так, тонкодисперсные наполнители, склонные к образованию коагуляционных структур (например, бентонит, аэросил), «загущают» краски, предотвращая седиментацию пигментов и обеспечивая необходимые реологические свойства. Наполнители с низкой маслоемкостью (барит, слюда) «разжижают» краски.

Наполнители волокнистой (асбест) или пластинчатой (слюда) формы армируют красочную пленку и снижают вероятность растрескивания покрытий.

Совместное применение пигментов и наполнителей с частицами разной формы и размера позволяет получить более плотную упаковку, благодаря чему уменьшается расход связующего (аналогичная идея используется в бетоне при подборе заполнителей по зерновому составу) и, как следствие, повышается атмосферостойкость и твердость пленки. Так, у красок на титановых белилах (TiO_2) атмосферостойкость покрытия резко возрастает при введении 25 % слюды или 35...50 % талька (от массы TiO_2).

Наполнители с высокой маслоемкостью (аэросил, каолин, мел и т. п.) снижают блеск эмалей, делая поверхность матовой. С помощью подбора наполнителей могут быть решены и другие задачи.

18.4. ЛАКИ

Лаки — растворы пленкообразующих веществ в органических растворителях, образующих твердые прозрачные (обычно блестящие) пленки, прочно удерживающиеся на подложке.

Лаки известны с давних времен. Так, еще во втором тысячелетии до н. э. в Китае готовили лаки на основе сока лакового дерева. Несколько позже в Египте для лакирования использовали природные смолы (янтарь, копал). В средние века в качестве лаков использовали «высыхающие» масла (льняное, конопляное и др.). Лишь в 20-х годах XX в. началось производство лаков на основе эфиров целлюлозы. К середине XX в. в качестве пленкообразующих веществ в лаках стали использовать синтетические полимеры. Большую часть лаков в настоящее время используют для получения эмалевых красок и грунтовок.

Современные лаки по механизму образования и свойствам лаковой пленки можно разделить на две группы:

- *высыхающие,* образующие обратимые (растворимые) пленки;
- *твердеющие,* образующие необратимые (нерастворимые) пленки.

К высыхающим лакам относятся шеллачные, битумные, нитроцеллюлозные.

Шеллачные — классические мебельные лаки, получаемые растворением природной смолы шеллака в спирте. Водостойкость этих лаков низкая.

Битумные (*асфальтовые*) лаки получают растворением битумов, модифицированных канифолью (для повышения адгезионных свойств), в сольвенте или уайт-спирите. Битумные лаки характеризуются хорошей атмосферостойкостью, водо- и кислотостойкостью, электроизоляционными свойствами. Цвет лаковой пленки — темно-коричневый; в толстых слоях — черный. Применяют битумные лаки для антикоррозионных покрытий металлоконструкций.

Нитроцеллюлозные лаки (*нитролаки*) — растворы нитроцеллюлозы (коллоксилина) в смеси растворителей (ацетон + сложный эфир + +ароматический растворитель). Нитролаки быстро высыхают (15...30 мин) при комнатной температуре. Водостойкость лаков не очень высока, но они устойчивы к бензину и минеральным маслам. При совмещении нитроцеллюлозы с алкидными смолами получают лак твердеющего типа с повышенной водостойкостью. Нитролаки вытесняются лаками на основе синтетических полимеров.

К твердеющим лакам, т. е. образующим необратимые пленки, относятся все лаки на основе реакционноспособных олигомеров (смол): алкидных, полиуретановых, полиэфирных, эпоксидных и т. п.

Алкидные лаки — самый распространенный вид лаков, используемый в основном для получения эмалевых красок. Алкидные лаки твердеют необратимо за счет сшивки кислородом воздуха. Отверждение длится в течение 24...48 ч при 18...20° С.

Мочевино- и меламиноалкидные лаки дают стойкие и твердые пленки при горячей сушке или при введении отвердителей. Применяют их для покрытия по металлу и древесине и для получения эмалей.

Эпоксидные лаки — двухкомпонентные материалы, состоящие из эпоксидного олигомера, разжиженного растворителем, и аминного отвердителя. После смешивания компонентов лак отверждается через 6...12 часов. Покрытия из эпоксидных лаков характеризуются универсальной химической стойкостью, твердостью и водонепроницаемостью. В отвержденном состоянии эпоксидные лаки биологически инертны.

Полиуретановые лаки — очень перспективный вид твердеющих лаков. Они состоят из реакционноспособного олигомера и растворителя. Отверждение этих лаков идет за счет испарения растворителя и после-

дующей сшивки молекул олигомера влагой воздуха. Эти лаки отличаются очень высокими физико-механическими показателями и химической стойкостью.

Лаки, содержащие реакционноспособные растворители. В таких лаках в роли растворителя используются мономеры, способные отверждать растворенный в них олигомер. При добавлении к лаку инициаторов полимеризации растворитель сшивает молекулы олигомера, образуя нерастворимый твердый полимер. У таких лаков усадка очень мала, так как нет основной причины усадки — испарения растворителя. Примером такого лака может быть полиэфирный лак, в котором растворителем служит стирол, входящий в состав отвержденного полимера.

Преимуществом таких лаков является возможность образования при одноразовом нанесении пленки толщиной 200...300 мкм (обычные лаки позволяют получать при одноразовом нанесении пленку толщиной 10...50 мкм).

18.5. КРАСКИ

Краски на минеральных связующих относятся к числу старейших и самых доступных красок строительного назначения. В роли связующего в них используют известь, жидкое стекло и реже портландцемент.

Известковые краски — простейший и самый дешевый вид красок, в котором пленкообразующий компонент, наполнитель и часто единственный пигмент — одно вещество — *гашеная известь* $Ca(OH)_2$. Для приготовления известковой краски берут 1 масс. ч. извести и 2 масс. ч. воды, перемешивают и процеживают сквозь мелкое сито; краска готова. Для улучшения укрывистости добавляют 0,3...0,6 масс. ч. мела, а для придания желаемого оттенка — щелочестойкий пигмент.

После нанесения краски под действием углекислого газа и воздуха происходит постепенная карбонизация извести, т. е. переход ее в $CaCO_3$. Это улучшает сцепление красочного слоя с подложкой и несколько повышает водостойкость. И все же известковые краски не водостойки и при контакте «пачкают». Однако для покраски верхней части стен и потолков это не является недостатком. Отсутствие же сплошной лакокрасочной пленки у покрытий из известковых красок делает их паро- и газопроницаемыми и увеличивает их долговечность.

Применяют известковые краски и для наружной окраски кирпичных, бетонных и оштукатуренных, в особенности глиной, стен. Хотя срок их службы невелик (1...3 года), но из-за низкой стоимости и простоты применения в определенных случаях их использование рационально. Для повышения долговечности рекомендуется эмульгировать в краску олифу (около 5 % от массы извести).

Нужно отметить интересное применение идеи известковых красок при создании фресок. ***Фреска*** (итал. *fresco* — свежий) — роспись вод-

ными суспензиями пигментов (с небольшим количеством животного клея или яичного белка) по *свежеуложенной* известковой штукатурке. При этом пигмент внедряется в верхний слой известкового раствора и после карбонизации последнего прочно закрепляется на поверхности штукатурки. Долговечность фресок общеизвестна благодаря старинным росписям, сохранившимся до нашего времени.

Силикатные краски получают, используя в качестве связующего *жидкое калийное стекло* — раствор $K_2O \cdot nSiO_2$ в воде. Натриевое жидкое стекло для красок не применяется, так как оно дает выцветы. Характер связующего требует от пигментов высокой щелочестойкости.

Силикатные краски выпускают в виде сухой пигментной смеси, к которой добавляют необходимое количество жидкого калийного стекла. Примерный состав силикатной краски (в масс. ч.):

сухая пигментная смесь	1
раствор калийного стекла плотностью 1,15 г/см^3	1,5

После смешивания компонентов краску необходимо сразу же использовать.

Силикатные краски образуют прочное, атмосферостойкое покрытие, «сросшееся» с подложкой, так как со многими силикатными материалами (например, с бетоном, кирпичом) краски образуют физико-химические связи. Покрытия из силикатных красок можно мыть; они устойчивы к действию органических растворителей, но при этом воздухо- и паропроницаемы. На каменных материалах и древесине они могут давать долговечные покрытия (срок службы до 20 лет). Эти краски не рекомендуются для металлоконструкций.

Цементные краски для отделки фасадов применялись в 50—60-х гг. Их получают на основе белого или цветного цемента, извести, пигментов и гидрофобизаторов. Цементные краски очень требовательны к чистоте поверхности. Срок службы 4...6 лет. В настоящее время эти краски вытеснены полимерцементными составами, в которых компонентом, обеспечивающим адгезию, является водная дисперсия полимера.

Водорастворимые клеевые краски. Клеевые краски представляют собой суспензии пигментов и наполнителей (мела, каолина) в водных растворах органических клеев (казеина, животных клеев, эфиров целлюлозы, поливинилового спирта и др.). Клеевые краски — один из самых старых видов красок.

Клеевые краски готовят непосредственно перед употреблением либо из готовых сухих смесей, либо смешивая отдельно приготовленный водный раствор клея и колерную пасту (пигмент + наполнитель + немного воды). Грунтовкой для таких красок служат клеевые растворы медного купороса или алюмо-калиевых квасцов.

Работа с клеевыми красками абсолютно безвредна, так как в них отсутствуют токсичные вещества.

Клеевые краски образуют пористые и в большинстве случаев неводостойкие покрытия, но с хорошими декоративными свойствами; матовые или с шелковистым блеском.

Благодаря паро- и газопроницаемости такие покрытия обеспечивают влаго- и газообмен в помещении, т. е. создают нормальные условия обитания в нем.

Эти же свойства обеспечивают долговечность такой окраски. Для фасадов клеевые краски практически не применяют. Для интерьеров клеевые краски вновь начинают приобретать популярность, благодаря высокой экологичности.

Масляные краски. К этой группе красок относятся краски, в которых связующим служат олифы. В зависимости от типа использованной олифы краски могут быть для внутренних и наружных работ.

Производят *краски густотертые* — пигмент, перетертый с небольшим количеством олифы, и *готовые к употреблению (жидкотертые).* Густотертые краски доводят до малярной консистенции, смешивая с олифой; количество олифы 20...40 % от массы густотертой краски.

Олифа в масляных красках, являясь пленкообразующим компонентом, играет также роль разбавителя, т. е. регулятора реологических свойств краски. Растворителей в составе масляных красок нет. Масляные краски на воздухе не высыхают, а твердеют в результате окислительной полимеризации олифы (взаимодействия олифы с кислородом воздуха). Ускоряют твердение олифы с помощью веществ-сиккативов (см. § 18.2). Образующаяся пленка масляной краски гладкая и блестящая, стойкая к воде и моющим средствам, водо- и паронепроницаема.

Расход масляной краски зависит от укрывистости пигмента (см. § 18.3). Так, укрывистость готовой к употреблению охры — 180 г/м^2, а железного сурика — всего 35 г/м^2.

Масляные краски применяют чаще всего для защиты стальных конструкций от коррозии, для предохранения деревянных конструкций (оконных переплетов, дверей, обшивки стен и т. п.) от увлажнения, а также для окраски поверхностей, подвергающихся истиранию и нуждающихся в частой промывке водой (полы, нижние части стен общественных зданий и т. п.). В последние годы масляные краски вытесняются красками на полимерных связующих — эмалями.

Эмали — краски, получаемые введением пигментов и наполнителей в лаки. Четкой границы между масляными красками и эмалями нет.

Глифталевые краски (эмали) [марка ГФ] являются промежуточным звеном между масляными красками и эмалями. Как уже говорилось

(§ 18.2), глифталевое связующее представляет собой полимер *глицерина* и *фталевого ангидрида*, модифицированный ненасыщенными растительными маслами. Глифталевые краски с успехом заменяют масляные для наружной и внутренней отделки.

Пентафталевые краски *(эмали)* [марка ПФ] — краски, аналогичные глифталевым, но при синтезе связующего вместо глицерина был взят *пентаэритрит*. Свойства и области применения пентафталевых красок аналогичны глифталевым.

Нитроцеллюлозные эмали [марки НЦ] — быстросохнущие краски, применяемые в основном для окраски металлоконструкций, реже дерева.

Нитроглифталевые эмали [марка НГ] — краски высокого качества, объединившие в себе достоинства глифталевых и нитроцеллюлозных красок.

Перхлорвиниловые краски (эмали) [марка ПХВ] получают растворением перхлорвинилового полимера в органических растворителях и введением в образовавшийся лак пигментов. Эти краски применяют для наружных работ по штукатурке, бетону, кирпичу при температуре до — 16° С. Перхлорвиниловые краски дают насыщенные тона, при этом сохраняется фактура поверхности окрашиваемого материала. Высокая атмосферостойкость делает окраску перхлорвиниловыми красками долговечной (они служат 10...15 лет). Окрашенные фасады можно мыть водой с моющими средствами.

Перхлорвиниловые покрытия практически непроницаемы по отношению к капельно-жидкой воде, в то же время пропускают водяные пары. Это также способствует долговечности красочного слоя.

Вододисперсионные краски (*водоэмульсионные, латексные краски*) — краски, в которых водонерастворимое пленкообразующее и пигменты диспергированы в водной среде, образуя устойчивую суспензию. Первые вододисперсионные краски появились в очень далекие времена. Одна из них — темпера — используется и теперь.

Темпера (от итал. *temperare* — смешивать) — краска, получаемая перетиром растительного масла (олифы), водного раствора животного или растительного клея и пигмента. В этой смеси дисперсионной средой является водный раствор клея, поэтому темпера разбавляется водой, а пленкообразующим служит растительное масло, что обеспечивает покрытию водостойкость. Поверхность, покрытая темперой, имеет бархатистую матовую фактуру, пленка темперы паропроницаема и устойчива к внешним воздействиям. Темпера была известна еще в Древнем Египте. В средние века в Европе темперу применяли для росписи зданий. В то время пользовались масляно-казеиновой темперой. Сейчас темперу, в основном поливинилацетатную, применяют в живописи.

До середины XX в. вододисперсионные краски готовили, эмульгируя масляную краску в горячий мыльный раствор (часто с известью), таким образом получали матовые паропроницаемые, но водостойкие покрытия по штукатурке и бетону.

Современные вододисперсионные краски — сложные многокомпонентные системы, в которые кроме пленкообразующего полимера и пигмента входят пластификаторы, эмульгаторы (соли жирных кислот, поливиниловый спирт и т. п.), диспергаторы пигментов и наполнителей, загустители (водорастворимые эфиры целлюлозы), структурирующие добавки (бентонит и т. п.), консерванты, пеногасители и др.

Примерный состав вододисперсионной краски, % (по массе):

полимерное связующее (по сухому остатку)	15...20
пигменты и наполнители	30...40
пластификатор	0...8
специальные добавки	1...2
вода	45...55

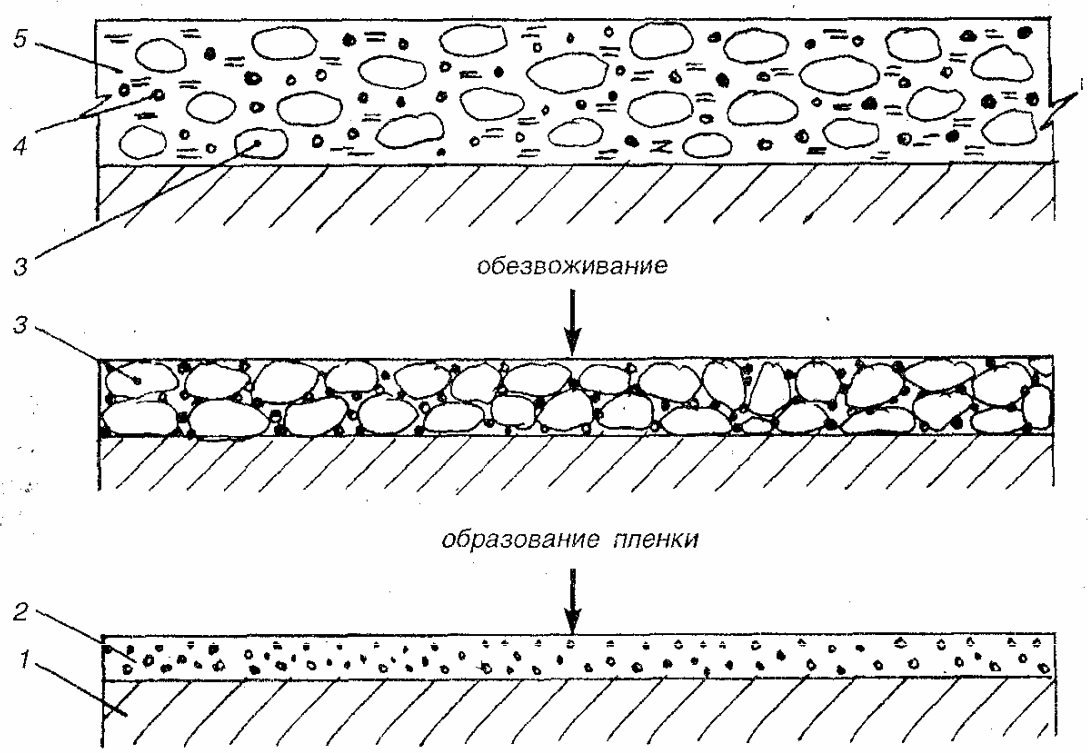
В вододисперсионных красках доля пигмента и наполнителя по отношению к пленкообразующему примерно в 1,5 раза ниже, чем в эмалях. Кроме того, к пигментам предъявляются дополнительные требования: гидрофильность (т. е. смачиваемость водой), отсутствие водорастворимых примесей и др.

Основное достоинство вододисперсионных красок — отсутствие в их составе органических растворителей, что обусловливает нетоксичность, взрыво- и пожаробезопасность.

Вододисперсионные краски наносят на окрашиваемую поверхность общепринятыми методами: распылением, валиком или кистью. При этом влажность поверхности не является помехой для окраски (однако защита от капельно-жидкой воды красочного слоя в начальный период твердения обязательна, так как незатвердевшая краска размывается водой.

Инструмент после работы надо немедленно промыть водой. Неправильно нанесенная краска и пятна от нее необходимо смывать до начала их высыхания (т. е. до образования пленки).

Формирование красочной пленки на поверхности материала происходит в результате обезвоживания краски (вода частью всасывается пористой подложкой, а частью испаряется). При этом глобулы полимера сближаются, контактируют и в конечной фазе образуют пленку (рис. 18.3). Полное высыхание краски происходит через 12...24 ч (это зависит от вида краски, характера подложки и условий твердения). После этого красочная пленка приобретает водостойкость и может быть



Р и с . 18.3. Схема образования пленки из водной дисперсии полимера:
1 — подложка; *2* — красочная пленка; *3* — частица полимера; *4* — пигмент; *5* — вода

растворена только в соответствующем органическом растворителе. Частицы пигмента оказываются внутри этой пленки. Фактура красочной поверхности — матовая.

Для формирования пленки обязательным является условие, чтобы температура окрашиваемого материала была выше минимальной температуры пленкообразования (МТП) полимера. Как правило, использовать вододисперсионные краски можно при температурах не ниже 5° С.

Для приготовления вододисперсионных красок используют в основном пленкообразующие трех типов:

- сополимеры акрилатов — *полиакрилатные краски;*
- сополимеры на основе винилацетата — *поливинилацетатные краски;*
- сополимеры стирола с бутадиеном — *бутадиенстирольные краски.*

В меньшей степени используются дисперсии на основе сополимеров винилхлорида, алкидных и эпоксидных смол. Наиболее перспективны полиакрилатные краски, используемые как для внутренних, так и для наружных работ.

Пленка, образующаяся в этих условиях, не будет абсолютно монолитной, так как полного слияния глобул не происходит. В результате покрытие остается газо- и паропроницаемым, почти как покрытие из

клеевых красок. Поэтому такие краски могут быть рекомендованы для окраски стен жилых помещений. Вододисперсионные краски нельзя использовать для окраски металлоконструкций с целью защиты от коррозии, так как из-за паропроницаемости пленки из этих красок коррозия возникнет неизбежно.

Порошковые краски — тонкодисперсные пигментированные композиции на основе полимеров для получения защитно-декоративных покрытий методом высокотемпературного напыления. В качестве пленкообразующего компонента применяют термопластичные полимеры (полиакрилаты, насыщенные полиэфиры, ПВХ и др.) и термореактивные олигомеры (полиэпоксиды, полиуретаны и др.).

Содержание пигментов и наполнителей в порошковых красках — (1...20 %); это меньше, чем в жидких красках. Для облегчения нанесения и повышения эластичности покрытий в состав порошковых красок вводят пластификаторы (фталаты, каучуки и др.).

Порошковые краски доводят до рабочей вязкости нагревом до плавления непосредственно в момент нанесения. Преимуществом порошковых красок является отсутствие органических растворителей в составе краски и очень быстрое (несколько минут) получение готовой красочной пленки на отделываемой поверхности.

В настоящее время порошковые краски применяют главным образом при заводской окраске стеклянных, керамических и металлических конструкций и изделий.

18.6. ГРУНТОВКИ И ШПАТЛЕВКИ

Грунтовка — материал, образующий нижний слой лакокрасочного покрытия и модифицирующий поверхность подложки с целью *обеспечения прочного сцепления* лакокрасочного покрытия с подложкой (в настоящее время грунтовку часто называют «праймер» — от англ. *primer* — первый). Грунтовка может выполнять и другие функции, связанные с подготовкой поверхности подложки: антисептирование, преобразование ржавчины, защита от коррозии и др.

Связующие в грунтовках — те же, что и у соответствующих красок. По виду связующего грунтовки могут быть: клеевые, масляные и синтетические (алкидные, акрилатные, полиэфирные и т. п.). Для вододисперсионных красок применяют вододисперсионные грунтовки, часто в виде разбавленной водой дисперсии полимера. Обычно грунтовки менее вязкие, чем краски и эмали; содержание пигмента в них 50...80 % от массы связующего (в красках 100...120 %).

В грунтовках по металлу используют пигменты и наполнители, а также специальные добавки, предотвращающие коррозию. Например, фосфатирующие грунтовки и грунтовки-преобразователи ржавчины.

Грунтовки по дереву должны заполнять поры на поверхности древесины; сильно пористую древесину грунтуют специальными порозаполнителями (например, с добавками молотого стекла).

Под окраску водорастворимыми красками (например, клеевыми) оштукатуренные и бетонные поверхности обрабатывают специальными грунтовками на основе железного купороса, алюмокалиевых квасцов и т. п. Такие грунтовки антисептируют подложку и уплотняют ее, закрывая поры, чем предохраняют красочный слой от появления выцветов. С этой же целью возможно грунтование олифой или жидкой масляной краской.

Шпатлевки (*шпаклевки*) — пастообразные лакокрасочные материалы, применяемые для выравнивания (шпатлевания) поверхности перед нанесением на нее красок. Наносятся шпатлевки по загрунтованной поверхности.

Шпатлевки, в отличие от красок и эмалей, содержат много наполнителя (мела, талька, барита и др.) и меньшее количество связующего. Пигмент в них не обязателен. Количество минеральной части по отношению к связующему в шпатлевках 200...300 %. В зависимости от вида краски, которую будут наносить по шпатлевке, используют шпатлевки с различным связующим: *лаковые, масляные, клеевые* и *вододисперсионные*.

Вязкость шпатлевок значительно выше, чем красок. Они наносятся шпателем тонким слоем (до 3,0 мм) и после высыхания или затвердевания выравниваются абразивным материалом (шкуркой, куском пемзы). Разбавленные растворителем шпатлевки можно наносить распылением. В случае больших неровностей шпатлевка наносится несколько раз.

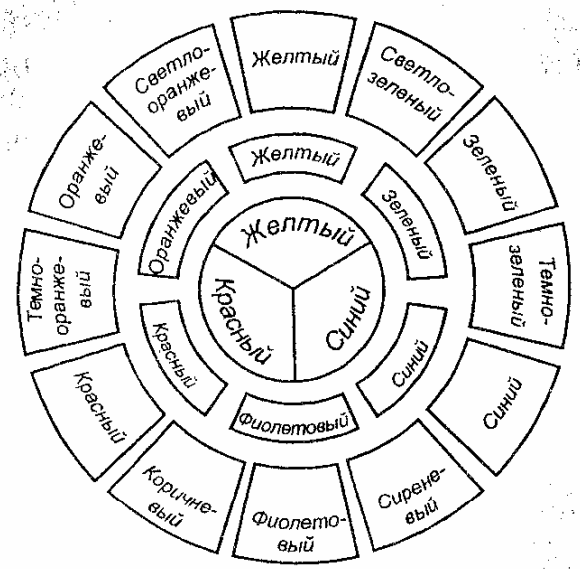
18.7. ПРАВИЛА СМЕШИВАНИЯ КРАСОК

При применении красок для получения нужного цвета или оттенка часто используют не одну краску (или не один пигмент), а смесь из двух или нескольких красок (или пигментов).

При смешивании красок необходимо учитывать, на каких связующих и растворителях они изготовлены, так как возможна коагуляция («створаживание») красок при смешивании или резкое изменение цвета пигмента и т. п. Целесообразно предварительно провести пробное смешивание красок.

При смешивании пигментов или красок одного типа следует руководствоваться правилами, представленными на рис. 18.4 в виде цветового круга.

Красный, синий и желтый пигменты в цветоведении называют основными, так как, смешивая их между собой в различных пропорциях, можно получить пигменты всех остальных цветов, называемых смешанными. Например, зеленый цвет получают, смешивая синий и



Р и с. 18.4. Цветовой круг для смешивания пигментов



Р и с . 18.5. Круг дополнительных цветов при смешивании пигментов

желтый пигменты, фиолетовый — красный и синий, оранжевый — красный и желтый и т. д.

Однако не при всяком смешивании пигментов можно получить в результате необходимый новый цвет. Некоторые пигменты при смешивании дают грязно-серый цвет. Такие пигменты называют дополнительными (на рис. 18.5 они расположены один против другого, по диаметру). Пользуются этим свойством пигментов для приглушения (смягчения) ярких тонов. Если, например, к ярко-красному пигменту добавить небольшое количество голубовато-зеленого, то получится красно-желтый цвет приглушенного оттенка.

Обязательное условие при смешивании пигментов — их химическая стойкость по отношению одного к другому.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют лакокрасочные покрытия? 2. Из каких слоев состоит лакокрасочное покрытие? 3. Какие связующие используются в лаках и красках? 4. В чем отличие лака от краски и краски от грунтовки? 5. Растворители и разбавители. Что общего у этих компонентов красок и в чем различие между ними? 6. Какие преимущества имеют вододисперсионные краски по сравнению с масляными и эмалевыми? 7. Что такое порошковые краски?

Задачи для практических занятий по курсу «Строительные материалы и изделия»

Тема I. Основные свойства строительных материалов

Задача 1.

Образец плотного (пористость равна 0 %) камня имеет массу 35,9 г. При взвешивании того же образца в воде (метод гидростатического взвешивания см. лабораторную работу № 1) он уравновешивается гирями массой 22,6 г. Вычислить среднюю плотность этого камня.

Ответ: средняя плотность 2700 кг/м^3.

Задача 2.

Рассчитать пористость кирпича, если его средняя плотность 1700 кг/м^3. (Истинную плотность взять из табл. 2.1).

Ответ: пористость 33 %.

Задача 3.

Образец кирпича, взятого из стены, имел массу 240 г. После высушивания в термошкафу при 105° С до постоянной массы масса этого образца стала 210 г. Какова влажность кирпича в стене?

Ответ: влажность 14,3 %.

Задача 4.

Образец-куб 10 х 10 х 10 см, изготовленный из керамзитобетона, при испытании на сжатие разрушился при нагрузке 150 кН. Каков предел прочности при сжатии данного образца керамзитобетона?

Ответ: 15 МПа.

Задача 5.

Какой минимальный диаметр должен иметь стальной стержень длиной 1,15 м, если требуется удерживать на нем груз массой 4,5 т? Вычислите относительную ε и абсолютную Δl деформацию стержня под этой нагрузкой (допускаемое напряжение на разрыв для данной марки стали 150 МПа, а модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа).

Ответ: диаметр 20 мм; $\varepsilon = 7{,}5 \cdot 10^{-4}$; $\Delta l = 0{,}86$ мм.

Задача 6.

Наружная сторона кирпичной стены толщиной 64 см имеет температуру $t_1 = -28°$ С; внутренняя сторона — $t_2 = 22°$ С. Какое количество теплоты проходит через каждый квадратный метр поверхности стены за 1 ч? (Теплопроводность кирпича $\lambda =$ =0,8 Вт/(м · К).

Ответ: 225 кДж/ч.

Т е м а II. Природные каменные материалы

З а д а ч а 7.

Природный камень, представляющий собой куски неправильной формы, имеет среднюю плотность в куске 850 кг/м^3. Рассчитайте пористость этой породы, если известно, что плотность вещества, из которого она состоит, 2600 кг/м^3. (Попытайтесь догадаться, как называется эта порода.)

Ответ: пористость 67,3 %.

З а д а ч а 8.

Перед вами две полированные каменные плитки из серой кристаллической горной породы; одна из них мраморная, другая гранитная. Предложите два способа (физический и химический) для того, чтобы узнать, какая из плиток мраморная, а какая гранитная.

Т е м а III. Керамические материалы, кирпич и камни

З а д а ч а 9.

При определении марки кирпича от партии было отобрано 5 штук кирпича, из которых изготовили образцы согласно требованиям ГОСТ. При испытании образцов на сжатие были зафиксированы следующие значения разрушающих усилий ($P_{разр}$), кН; 193; 187; 182; 201; 184. Какова марка кирпича по результатам его испытания на сжатие?

Ответ: марка 125.

З а д а ч а 10.

Глиняная масса, из которой формуют кирпич, имеет влажность 20 %. Лабораторные исследования показали, что общая усадка при сушке и обжиге составляет 12 %. Каковы должны быть размеры мундштука ленточного пресса (т. е. размеры кирпича-сырца), чтобы готовый кирпич имел размеры, соответствующие требованиям стандарта?

Ответ: 280 х 134,5 мм.

З а д а ч а 11.

Сколько автомашин грузоподъемностью 5 т понадобится для перевозки кирпича для возведения стен одноэтажного дома размером в плане 6 х 8 м? Высота стен 2,7 м. Площадь дверных и оконных проемов в доме 9,6 м^2. Просчитайте два варианта: I — используется обычный полнотелый кирпич (ρ_m = 1700 кг/м^3); толщина стены — 2 кирпича; II — используется эффективный пустотелый кирпич (ρ_m = 1400 кг/м^3); толщина стены 1,5 кирпича (толщину швов и массу раствора при расчетах не учитывать). Сколько кирпича (в тыс. шт.) понадобится для I и II вариантов строительства?

Ответ: вариант I — 11 автомашин; 17 тыс. шт.
вариант II — 7 автомашин; 12,7 тыс. шт.

Т е м а IV. Неорганические вяжущие вещества

З а д а ч а 12.

Рассчитать количество негашеной извести, полученной при обжиге 15 т чистого известняка, имевшего влажность 8 %.

Атомные массы: Са — 40; С — 12; О — 16; Н — 1.

Ответ: 7728 кг извести.

З а д а ч а 13.

Рассчитать, сколько потребуется чистого известняка с влажностью 10 %, чтобы получить 5 т негашеной извести.

Ответ: 9822 кг известняка.

Задача 14.

Сколько воды надо добавить к 100 кг негашеной извести, чтобы получить известковое тесто консистенции известь : вода = 1 : 1 (испарением воды при гашении извести пренебречь, известь гасится нацело).

Ответ: 164,3 кг воды.

Задача 15.

Определить пористость затвердевшего цементного камня, полученного из портландцемента (истинная плотность $\rho = 3{,}1$ г/см^3) и воды при В/Ц = 0;40. После затвердевания количество химически связанной воды составило 15 % от массы цемента. (Уменьшение объема цементного камня при твердении не учитывать.)

Ответ: пористость 35 %.

Задача 16.

Какова будет пористость затвердевшего гипсового камня, полученного из гипсового теста, содержащего 50 % воды от массы гипса (В/Г = 0,5)? Увеличение объема твердеющего гипса не учитывать; считать, что гипс гидратируется полностью; плотность гипса $\rho = 2{,}65$ г/см^3.

Атомные массы: Ca — 40; S — 32; O — 16; H — 1.

Ответ: пористость 36 %.

Тема V. Бетоны и растворы

Задача 17.

Лабораторный состав бетона (расход материалов на 1 м^3 бетона): цемент — 300 кг; вода — 200 кг; песок — 650 кг; щебень — 1250 кг. Как изменится расход материалов, если влажность песка, поступившего на стройку, 7 %, а щебня 1,5 %?

Ответ: цемент — 300 кг; вода — 135,7 кг; песок — 695 кг; щебень — 1270 кг.

Задача 18.

Состав цементно-песчаного раствора по массе 1 : 4,5. Каков состав этого же раствора по объему? (Насыпная плотность, кг/м^3: цемента $\rho^{ц}_{нас} = 1100$, песка $\rho^{п}_{нас} = 1400$.)

Ответ: 1 : 3,67.

Задача 19.

Стандартные образцы раствора (3 шт.) при испытании на сжатие после 28 сут твердения разрушились при усилиях: 48; 56 и 54 кН. Определите среднюю прочность раствора и его марку.

Ответ: марка раствора 100.

Задача 20.

Бетонные образцы были испытаны после 7 дней твердения. Рассчитанная по результатам этих испытаний прочность бетона составила 16,7 МПа. Какую предположительную прочность этот бетон имел бы к 28 дням твердения и какова его марка?

Ответ: прочность 28,5 МПа; марка М250.

Задача 21.

Бетонная смесь состава (расход материалов на 1 м^3 бетона): цемент — 320 кг; вода — 224 кг; песок — 630 кг и щебень — 1220 кг имеет подвижность (осадка конуса

ОК = 2 см). Для того чтобы получить пластичную смесь (ОК = 10 см), добавили 50 кг воды. Какой материал и в каком количестве надо добавить, чтобы марка бетона не изменилась?

Ответ: цемент — 71 кг.

Методические указания к решению задач

Тема I. Основные свойства строительных материалов

Задачи 1 — 6 решаются с использованием формул и табличных данных гл. II и лабораторных работ № 1 и 2.

Задача 5. Длина стержня l используется при расчете абсолютной деформации этого стержня Δl по рассчитанному заранее значению относительной деформации ε. Последняя может быть определена по формуле $\varepsilon = \sigma E$ после расчета диаметра стержня и площади его поперечного сечения.

Диаметр стержня определяют по результатам расчета минимально допустимой площади поперечного сечения стержня, выдерживающего заданную нагрузку, округляя расчетное значение в бо́льшую сторону до ближайшего стандартного значения диаметра 14; 16; 18; 20; 22; 24 мм и т. д.

Задача 6. Необходимо обратить внимание на время, за которое определяется количество прошедшего через стену тепла. В целом задача решается исходя из определения понятия «теплопроводность».

Тема II. Природные каменные материалы

Задача 7. По сути аналогична задачам по теме I.

Задача 8. Для решения задачи надо знать химический состав мрамора и гранита, и на основании этого можно предположить, например, их реакцию на действие соляной кислоты. Простейшее механическое свойство, по которому эти две породы резко различаются,— твердость. Мрамор намного мягче гранита; он царапается любым стальным предметом или осколком стекла.

Тема III. Керамические материалы, кирпич и камни

Задача 9. Недостающие данные и ход решения задачи можно узнать, просмотрев лабораторную работу № 4 и табл. 5.1.

Задача 10. Смысл задачи состоит в том, что усадка кирпича-сырца должна компенсироваться увеличением его размеров по сравнению со стандартными размерами кирпича.

Задача 11. (Задача повышенной трудности.) Ход решения задачи.

1. Определяют суммарную площадь стен дома.
2. Вычисляют объем стен для варианта строительства из полнотелого и пустотелого кирпича и его массу для того и другого варианта.
3. Потребное количество кирпича (тыс. шт.) можно определить, зная суммарный объем стен и объем одного кирпича.

Тема IV. Неорганические вяжущие вещества

Задача 12 и 13. Решаются расчетом по химическому уравнению получения извести (§ 8.6) с учетом влаги, содержащейся в известняке.

Задача 14. Решается также по химическому уравнению гашения извести (§ 8.6) с учетом влаги, остающейся в известковом тесте.

Задача 15. Ход решения задачи:

1. Определяют объем цементного теста (он же объем цементного камня) как сумму объемов воды и зерен цемента.

2. Вычисляют количество химически связанной и свободной воды.

3. Рассчитывают пористость (по формуле § 2.3), исходя из предположения, что объем пор равен объему свободной воды, так как последняя постепенно испаряется. Весь расчет ведут на 1 масс. ч. цемента.

З а д а ч а 16. Расчет можно вести на 100 г гипсового вяжущего.

1. Количество воды, связываемой гипсом, вычисляют по уравнению твердения гипса (§ 8.3).

2. Определяют количество свободной воды в затвердевшем гипсе, считая, что ее объем и есть объем пор в гипсовом камне.

3. Находят полный объем гипсового камня, считая, что он равен объему гипсового теста, который можно рассчитать как сумму абсолютных объемов гипса ($\rho = 2{,}65$ г/см^3) и воды ($\rho = 1$ г/см^3).

4. Расчет пористости проводят по формуле, приведенной в § 2.3).

Т е м а V. Бетоны и растворы

З а д а ч а 17. Сначала определяют количество воды, вносимой в бетонную смесь с влажным песком и щебнем, и затем с учетом этого производят корректировку количества воды затворения, расхода песка и щебня.

З а д а ч а 18. Массовые части переводят в объемные, используя насыпные плотности; затем пересчитывают объемные доли так, чтобы доля цемента была равна 1.

З а д а ч а 19. Решается с помощью данных и формул, содержащихся в § 2.5 и § 11.2.

З а д а ч а 20. Для ее решения надо знать, как растет прочность бетона во времени (§ 12.5).

З а д а ч а 21. Ход ее решения станет ясен после осмысления формулы основного закона прочности бетона (§ 12.3).

ЛИТЕРАТУРА

Александровский А.В., Попов К.Н. Материалы для декоративных штукатурных, плиточных и мозаичных работ.— М.: Высшая школа, 1986.

Ананьев В.П., Потапов А.Д. Основы геологии, минералогии и петрографии.— М.: Высшая школа, 1999.

Баженов Ю.М. Технология бетона.— М.: Стройиздат, 1978.

Берней И.И., Колбасов В.М. Технология асбестоцементных материалов.— М.: Стройиздат, 1985.

Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества.— М.: Стройиздат, 1986.

Гордон Дж. Почему мы не проваливаемся сквозь пол? — М.: Наука, 1971.

Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов.— М.: Стройиздат, 1989.

Деревянные конструкции и детали (справочник строителя). Под ред. В.М. Хрулева — М.: Стройиздат, 1995.

Добавки в бетон. Под ред. В.С. Рамачандран — М.: Стройиздат, 1988.

Кешляк Л.П., Калиновский В.В. Производство изделий из строительной керамики.— М.: Высшая школа, 1985.

Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов.— М.: Металлургия, 1984.

Микульский В.Г., Горчаков Г.И., Козлов В.В. Строительные материалы.— М.: АСВ, 2000.

Онищенко А.Г. Отделочные работы в строительстве.— М.: Высшая школа, 1989.

Петров В.П. Сложные загадки простого камня.— М.: Недра, 1984.

Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов.— М.: АСВ, 1999.

Рамачандран В.С. и др. Наука о бетоне.— М.: Стройиздат, 1986.

Рыбьев И.А., Владычин А.С., Казеннова Е.П. Технология гидроизоляционных материалов.— М.: Высшая школа, 1991.

Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение.— М.: Экология, 1991.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоклав 276
Аглопорит 203
Активные минеральные добавки 160
Акустическая штукатурка 223
Алит 154
Алюминиевые сплавы 132
Ангидрит 67
Ангоб 83
Антипирены 51
Антисептики 50
Аргболит 287
Арматура 261
Асбест 58, 282
Асбестоцемент 281
Асфальт природный 252
Асфальтобетон 252

Базальт 63
Базальтовое волокно 321
Белит 154
Бетон
— жаростойкий 250
— кислотоупорный 251
— крупнопористый 250
— легкий 244
— монолитный 263
— сборный 265
— товарный 235
— тяжелый 265
— ячеистый 248
Бетонополимер 251
Биостойкость 304
Бумажнослоистые пластики 296
Битум 176
Блоки стеклянные 111
Бутовый камень 73

Вата минеральная 320
Вибрирование бетона 435
Вибропрессование бетона 435
Вибропрокат бетона 267
Водонепроницаемость 243
Водопоглощение 17
Возгораемость 50
Вилатерм 315

Габбро 62
Газобетон 248
Газосиликат 248
Герметики 313
Гернит 314
Гигроскопичность 17; 39
Гидростеклоизол 312
Гипс
— природный 67
— строительный 138
Гипсобетон 278
Глазурь 83
Глина 80
Глифталевые смолы 335
Гнейс 68
Гравий 197
Гранит 62
Грибы домовые 38

Деготь 179
Диатомит 66
Диорит 62
Доломит 67
Древесноволокнистые плиты 49; 323
Древесностружечные плиты
Древеснослоистые пластики 298

Железобетон 261
Жесткость бетонной смеси 228
Жидкое стекло 144

Заполнители для бетона
— плотные 201
— пористые 203

Известняк 66
Известь
— воздушная 146
— гидравлическая 152
— молотая негашеная 148

Каменное литье 114
Каолинит 59
Карбамидный полимер 186
Кварц 57
Кварцит 68
Керамзит 79
Керамика

— отделочная 93
— санитарно-техническая 97
— эффективная 90
Керамический камень 86
Кирпич
— сырец 84
— керамический 86
— силикатный 275
Кладочный цемент 161, 210
Клеи 299, 333
Клинкер 153
Коррозия цементного камня 155
Краски
— вододисперсионные 349
— известковые 346
— клеевые 347
— масляные 348
— силикатные 347
— эмалевые 348
Кремнийорганические соединения 310

Лабрадорит 63
Лаки 344
Лесоматериалы 45
Линолеум 294

Магнезиальные вяжущие 143
Металлы
— черные 115
— цветные 116, 131
Минеральная вата 320
Морозостойкость 17
Мочевиноформальдегидные смолы 186
Мрамор 68
Мусковит 58

Наполнители 343
Напряженно-армированный бетон 262

Огнеупорность 20; 82
Огнеупорные материалы 98
Оргалит 49
Отвердители 195, 290
Отжиг 105
Отпуск 125

Паркет 47
Пасты 312
Пек 179
Пемза 63
Пенопласты 293, 324
Пеносиликат 249
Пеностекло 321
Перлит вспученный 203
Пепел вулканический 63
Песок 65
Песчаник 65
Пигменты 339
Пиломатериалы 45
Плавни 83
Плотность 14
Пергамин 303
Перхлорвинил 184
Поливинилхлорид 183
Полимеры 174
Полимербетон 251
Полимерцементный бетон 251
Полистирол 182
Полиэтилен 181
Полиэфирные смолы 187
Пористость 15
Портландцемент 152
Пропаривание бетона 238

Раствор строительный 206
Растворители 336
Рубероид 303

Ситаллы 113
Слоистые пластики 296
Смальта 110
Сталь 115; 120
Стекловолокно 113
Стекловолокнистые нетканые материалы 297
Стекло
— жидкое 144
— растворимое 144
— ячеистое 321
Стеклянная вата 320
Стеклопластики 297

Твердость 24; 56
Твердение бетона 237
Тепловлажностная обработка бетона 266
Теплоемкость 19
Теплопроводность 18
Трепел 66
Туф вулканический 63
Туф известковый 67

Удельная поверхность 26
Удобоукладываемость 207; 228
Усадка бетона 241
Усушка древесины 39

Фанера 47
Фарфор 97
Фаянс 97
Фенолформальдегидная смола 185

Фибробетон 281
Фибролит 287

Цемент
— безусадочный 163
— белый 159
— быстротвердеющий 158
— гидрофобный 159
— глиноземистый 161
— напрягающий 164
— пуццолановый 160
— расширяющийся 163
— цветной 160

Черепица 91

Чугун 115; 118

Шамот 82
Шлаки 160
Шлакопортландцемент 160
Шпон 47
Шлаковая пемза 203

Экструдирование 291
Эмульсии битумные 310
Эпоксидные смолы 187
Эстрих-гипс 142
Эттрингит 157, 164

Ячеистый бетон 248

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ВВЕДЕНИЕ 4

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ 6

Глава 1. Классификация и требования к строительным материалам 6
1.1. Классификация строительных материалов 6
1.2. Эксплуатационные требования к материалам 8

Глава 2. Строение и свойства строительных материалов 10
2.1. Общие сведения 10
2.2. Состав и строение материалов 10
2.3. Структурные характеристики материала 14
2.4. Физические свойства 16
2.5. Механические свойства 20
2.6. Химические свойства 24
2.7. Стандартизация материалов 26
Лабораторная работа № 1 27
Лабораторная работа № 2 30

РАЗДЕЛ 2. ПРИРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 32

Глава 3. Древесина и материалы из нее 32
3.1. Общие сведения 32
3.2. Строение и состав древесины 33
3.3. Пороки древесины 34
3.4. Важнейшие свойства древесины 39
3.5. Основные древесные породы, применяемые в строительстве 43
3.6. Лесоматериалы и изделия из древесины 45
3.7. Защита древесины от гниения и возгорания 50
Лабораторная работа № 3 52

Глава 4. Природные каменные материалы 54
4.1. Общие сведения 54
4.2. Породообразующие минералы 56
4.3. Главнейшие горные породы, применяемые в строительстве 60
4.4. Добыча и обработка природного камня 69
4.5. Материалы и изделия из природного камня 72
4.6. Использование отходов камнеобработки 76
4.7. Коррозия природного камня и меры защиты от нее 76

РАЗДЕЛ 3. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧАЕМЫЕ СПЕКАНИЕМ И ПЛАВЛЕНИЕМ 79

Глава 5. Керамические материалы 79
5.1. Общие сведения 79

5.2. Сырье для производства керамики 80
5.3. Основы технологии керамики 83
5.4. Стеновые и кровельные керамические материалы 86
5.5. Отделочные и керамические материалы 93
5.6. Специальные виды керамических материалов 97
Лабораторная работа № 4 99
Лабораторная работа № 5 99

Глава 6. Стекло, ситаллы и каменное литье 102
6.1. Общие сведения 102
6.2. Получение стекла 103
6.3. Свойства стекла 106
6.4. Листовое стекло 107
6.5. Отделочное стекло 109
6.6. Изделия из стекла 110
6.7. Ситаллы и шлакоситаллы 113
6.8. Каменное и шлаковое литье 114

Глава 7. Металлы и металлические изделия 115
7.1. Общие сведения о металлах и сплавах 115
7.2. Строение и свойства железоуглеродистых сплавов 117
7.3. Основы технологии черных металлов 118
7.4. Свойства сталей 120
7.5. Углеродистые и легированные стали 123
7.6. Термическая обработка стали 125
7.7. Стальной прокат и стальные конструкции 126
7.8. Стальная арматура 128
7.9. Соединение стальных конструкций 130
7.10. Цветные металлы и сплавы 131
7.11. Коррозия металлов и способы защиты от нее 133

РАЗДЕЛ 4. ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ 135

Глава 8. Неорганические вяжущие вещества 135
8.1. Общие сведения 135
8.2. Глина 137
8.3. Гипсовые вяжущие вещества 138
8.4. Магнезиальные вяжущие 143
8.5. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент 144
8.6. Воздушная известь 146
8.7. Гидравлические известьсодержащие вяжущие 151
8.8. Портландцемент 152
8.9. Разновидности портландцемента 158
8.10. Портландцементы с минеральными добавками 160
8.11. Глиноземистый цемент 161
8.12. Расширяющиеся цементы 163
Лабораторная работа № 6 166
Лабораторная работа № 7 170

Глава 9. Органические вяжущие вещества 173
9.1. Общие сведения 173
9.2. Битумы, дегти 176
9.3. Термопластичные полимеры 180

9.4. Термореактивные полимеры 185
9.5. Каучуки и каучукоподобные полимеры 189
9.6. Природные полимерные продукты 192
9.7. Добавки к органическим вяжущим 194

РАЗДЕЛ 5. МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ 197

Глава 10. Заполнители для бетонов и растворов 197
10.1. Общие сведения 197
10.2. Песок 198
10.3. Крупные заполнители 201
Лабораторная работа № 8 204

Глава 11. Строительные растворы 206
11.1. Общие сведения 206
11.2. Свойства растворных смесей и затвердевших растворов 207
11.3. Пластификаторы для растворов 209
11.4. Подбор состава, приготовление и транспортирование растворов . . . 211
11.5. Растворы для каменной кладки и монтажа железобетонных элементов 214
11.6. Простые и смешанные растворы для обычных штукатурок 215
11.7. Декоративные растворы 221
11.8. Специальные растворы 221

Глава 12. Бетоны 226
12.1. Общие сведения 226
12.2. Свойства бетонной смеси 227
12.3. Основной закон прочности бетона 230
12.4. Основы технологии бетона 233
12.5. Прочность, марка и класс бетона 238
12.6. Основные свойства тяжелого бетона 240
12.7. Легкие бетоны 244
12.8. Специальные виды бетонов 250
Лабораторная работа № 9 254

Глава 13. Железобетон и железобетонные изделия 260
13.1. Общие сведения 260
13.2. Монолитный железобетон 263
13.3. Сборный железобетон 265
13.4. Основные виды сборных железобетонных изделий 267
13.5. Маркировка, транспортирование и складирование железобетонных изделий 273

Глава 14. Искусственные каменные материалы и изделия на основе вяжущих веществ 275
14.1. Общие сведения 275
14.2. Силикатный кирпич и силикатобетонные изделия 275
14.3. Гипсовые и гипсобетонные изделия 278
14.4. Бетонные камни и мелкие блоки 280
14.5. Асбестоцемент и асбестоцементные материалы 281
14.6. Деревоцементные материалы 286

РАЗДЕЛ 6. МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ 301

Глава 15. Строительные пластмассы 288
15.1. Общие сведения 288
15.2. Основы технологии пластмасс 291
15.3. Основные виды строительных пластмасс 294

Глава 16. Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы . 301
16.1. Общие сведения 301
16.2. Кровельные материалы 302
16.3. Гидроизоляционные материалы 310
16.4. Герметезирующие материалы 313

Глава 17. Теплоизоляционные и акустические материалы 315
17.1. Общие сведения 315
17.2. Строение и свойства теплоизоляционных материалов 317
17.3. Основные виды теплоизоляционных материалов 319
17.4. Акустические материалы 326

Глава 18. Лакокрасочные материалы 330
18.1. Общие сведения 330
18.2. Связующие, растворители и разбавители 332
18.3. Пигменты и наполнители 339
18.4. Лаки 344
18.5. Краски 346
18.6. Грунтовки и шпатлевки 352
18.7. Правила смешивания красок 353

ПРИЛОЖЕНИЕ 355
ЛИТЕРАТУРА 360
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 361

Учебное издание

Попов Кирилл Николаевич
Каддо Мария Борисовна

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Редактор *Т.Ф. Мельникова*
Художественный редактор *Ю.Э. Иванова*
Технические редакторы *Н.В. Быкова, Л.А. Овчинникова*
Компьютерная верстка *С.Н. Луговая*
Корректор *В.О. Бродская*
Оператор *М.Н. Паскарь*

ЛР № 010146 от 25.12.96. Изд. № СТР-171. Сдано в набор 11.08.2000.
Подп. в печать 18.12.2000. Формат 60 x $88^{1}/_{16}$. Бум. газетн. Гарнитура «Таймс».
Печать офсетная. Объем 22,54 усл. печ. л. 23,04 усл. кр.-отт. 23,81 уч.-изд. л.
Тираж 10000 экз. Зак. № А-50

ГУП «Издательство «Высшая школа»,
127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Факс: 20-03-01, 200-06-87
E-mail: V-Shkola@23.relcom.ru
http: // www.v-shkola.ru

Набрано на персональных компьютерах издательства.

Отпечатано в типографии ГУП ПИК «Идел-Пресс».
420066, г. Казань, ул. Декабристов, д.2.