

Министерство образования и науки РФ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

А.М. Усачев, С.М. Усачев

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
И ИЗДЕЛИЙ**

Учебное пособие

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальности
230201 «Информационные системы и технологии»*

Воронеж 2011

УДК 666 + 691
ББК 38.3
У 743

Усачев, А.М.

У 743 **Строительные материалы и изделия. Технология строительных конструкций и изделий: учеб. пособие для студ. спец. 230201 / А.М. Усачев, С.М. Усачев; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2011. – 252 с.**

Содержит сведения об основных видах строительных материалов, изделий и конструкций, применяемых для конструкционных, отделочных, теплоизоляционных, акустических и др. целей в современном строительстве. Представлены сведения о технологии получения данных материалов.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 230201 «Информационные системы и технологии», изучающих курсы дисциплин «Строительные материалы и изделия» и «Технология строительных конструкций и изделий».

Ил. 77. Табл. 45. Библиогр.: 17 назв.

УДК 666 + 691
ББК 38.3

Рецензенты: кафедра технологии вяжущих веществ, бетонов и керамики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства;
Е.Л. Королева, канд. техн. наук, доцент кафедры производства строительных конструкций Брянской государственной инженерно-технологической академии

ISBN 978-5-89040-319-3

© Усачев А.М., Усачев С.М., 2011
© Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Строительство – одна из самых материалоемких отраслей экономики Российской Федерации. Ежегодно в стране перерабатывается более 1 млрд т различных строительных компонентов. Стоимость материалов в общих затратах на производство составляет не менее половины, для уникальных зданий и сооружений может быть и больше. Грузовой железнодорожный транспорт примерно на 25 % загружен перевозкой строительных материалов, речной – более чем на половину, значителен объем таких перевозок и автотранспортом. Высокие темпы современного строительства повлекут дальнейшее развитие промышленности строительных материалов и стройиндустрии, транспортной инфраструктуры во всех регионах. Отраслью будут востребованы новые материалы и технологии, инновационные разработки, высококвалифицированные кадры, обладающие новым уровнем знаний.

Данное учебное пособие систематизирует сведения об основных видах и свойствах строительных материалов, закономерностях технологических процессов изготовления строительных изделий и конструкций, а также знания по прикладным вопросам управления технологическими процессами изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. Учебное пособие позволяет обеспечить получение детальных представлений о системном анализе технологических процессов в области производства строительных материалов, изделий и конструкций, а также о разработке технически и экономически обоснованных, социально приемлемых решений в области информационных систем промышленности строительной отрасли.

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочими программами дисциплин «Строительные материалы и изделия» и «Технология строительных конструкций и изделий» и соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и учебным планам по специальности 230201 «Информационные системы и технологии».

Пособие подготовлено на кафедрах «Материаловедение и технология строительных материалов» и «Технология строительных изделий и конструкций» ВГАСУ благодаря многолетнему опыту преподавания дисциплин «Строительные материалы», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Архитектурное материаловедение», «Технология керамики и огнеупоров», «Вязущие вещества», «Технология бетонов, строительных изделий и конструкций», «Технология изоляционных материалов и изделий» и др.

Учебное пособие «Строительные материалы и изделия. Технология строительных конструкций и изделий» предназначено для студентов, обучающихся по специальности 230201 «Информационные системы и технологии», а также может быть использовано студентами других специальностей, изучающих дисциплины «Материаловедение», «Строительные материалы», «Технология конструкционных материалов».

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие промышленности строительных материалов неразрывно связано с изменением производственных сил и отношений.

В первобытно-общинном обществе основными строительными материалами были природные камни, тростник, ветки деревьев, а в качестве связующего использовалась глина.

В рабовладельческом обществе при большом избытке дешевой рабочей силы в строительстве в значительной мере стали использоваться обработанные горные породы, глиняный кирпич-сырец, деревянные изделия, а в *конце рабовладельческого строя* уже использовался глиняный кирпич, черепица, стекло, керамические плитки, а из вяжущих глина, природный асфальт, воздушная известь и известь с гидравлическими добавками.

В средние века с удорожанием рабочей силы мало стали применять обработанные каменные материалы и все шире керамический кирпич, черепицу, бетон, а в качестве вяжущего – глину, воздушную и гидравлическую известь, гипсовые вяжущие.

Развитие *капитализма* вызвало строительство большого количества объектов промышленного, железнодорожного, военного и др. назначений, стали использоваться строительные стали, силикатный кирпич, керамический кирпич, плитка, черепица. Среди вяжущих наряду с воздушной и гидравлической известью, гипсом начали применяться романцемент, портландцемент, разновидности портландцемента.

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

К началу XXI века свои позиции сохранили металл, бетон и железобетон, керамика, древесина. Широкое применение в строительной практике получили полимерные материалы, стекло.

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

Производство строительных материалов в нашей стране возникло в далеком прошлом. Древнерусские строители и архитекторы опирались на опыт протославянских и славянских племен, обитавших на юго-западе, на северо-востоке и в центре Восточной Европы. Первые жилища здесь появились со времен трипольской культуры (III-II тыс. до н.э.). Оседлый образ жизни древние славяне начали вести со II века н.э. Обычно они размещали укрепленные поселения на холмах, вблизи крутых берегов рек. Для строительства широко использовались древесина и природный камень, в качестве вяжущих применяли глину, гипс, воздушную и гидравлическую известь, а основным типом строения

был сруб.

Во времена Киевской Руси (IX-XI вв.) возводится большое количество городов (Киев, Чернигов, Полоцк, Смоленск, Новгород), имеющих важное экономико-политическое и военно-культурное значение. Городские усадьбы, стены крепостей, башни городов были, в основном, деревянными. Нередко применялись и блоки из груботесанного камня.

В конце X века, вместе с принятием христианства, на Русь из Византии приходит стекло и обожженный керамический кирпич. В это время при князе Владимире и его сыне Ярославе Мудром начинается массовое строительство церквей, храмов, соборов из кирпича («плинфы»). Кладка производилась на толстых слоях известково-цемячного раствора. Часто ряды из керамического кирпича чередовались с рядами из природного камня.

В период феодальной раздробленности (XII-XV вв.) развиваются традиции местных школ, открывающих дорогу народному мастерству в сфере прикладного искусства, иконописи и строительства. Своей значимостью и самобытностью выделяются крупные архитектурно-строительные школы: Владимиро-Суздальская, Новгородская (и Псковская) и, несколько позже, Московская. Для нужд строительства, по-прежнему, используется древесина, а также тесаный камень из мягких пород известняка или песчаника, бутовый камень, кирпич.

К концу XII века относятся первые сведения о применении металлов в русских постройках [16]. Широкое применение находят декоративно-архитектурные детали зданий: беломраморные колонны и карнизы, орнаментальная резьба, барельефы, пилястры, арки, мозаичные полы из мрамора, яшмы и малахита.

Объединение русских земель, вызванное необходимостью самообороны, и последующее освобождение от татаро-монгольского ига способствовали росту русского государства. В это время разворачивается строительство крепостей, кремлей и укрепленных монастырей в центральной части государства, а также на границах со стороны Казанского и Сибирского ханств. Ведущая роль в строительстве той эпохи переходит к Москве. В конце XV-начале XVI века здесь начинается бурная строительная деятельность. Нехватка местных инженеров и зодчих компенсируется потоком иностранных мастеров из стран Западной Европы (в основном Италии).

В 1584 г. (при царствовании Ивана Грозного) для управления государственным строительством создается «Приказ каменных дел», которым контролировалось государственное производство строительных материалов, а также утверждались нормы расхода материалов и рабочей силы.

Объединение и централизация русского государства в XVI веке способствовала быстрому росту городов на крупных торговых путях и городов-крепостей.

В 1688 г. в целях пожарной безопасности царским указом в Москве было запрещено возведение «деревянного хоромного строения» [17].

В конце XVII-начале XVIII века (при Петре I) наблюдается строительный подъем, который связан с возникновением промышленных сооружений, обще-

ственных и правительственных зданий, городских и загородных резиденций, возведением городов-крепостей на дальних границах России. В этот период активно осваиваются нововведения зарубежных строителей и архитекторов. В строительной практике получил широкое применение керамический кирпич. И уже тогда, в XVIII в., в России все производители были обязаны ставить клеймо на свои кирпичи, так как только этот способ позволял выявлять бракоделов.

После смерти Петра I главными постройками становятся дворцы и храмы, происходит дальнейшая ориентация на запад, однако особое внимание уделяется теперь внешнему оформлению фасадов.

Начиная со второй половины XVIII и до середины XIX века, идеалом для русской архитектурно-строительной практике стала античность, переломленная через творчество мастеров (итальянского) Возрождения. С применением древесины, природного и искусственного камней, металлов, стекла создаются уникальные здания и сооружения русского зодчества.

Со второй половины XIX века, в связи с отменой крепостного права, в России начинается развитие капитализма. Наблюдается рост промышленности, в том числе и строительных материалов. Появляются заводы по производству портландцемента, механизированные печи для обжига известняка, предприятия по выпуску кирпича и облицовочной плитки, широко используется чугун и прокатная сталь, начинает применяться железобетон.

В начале XX века построено большое количество заводов и фабрик, металлургических и машиностроительных предприятий, мостов и жилых зданий. Расширение торговли привело к строительству зданий крытых рынков, универсальных магазинов. Промышленный переворот потребовал строительства железных дорог, портов и вокзалов.

Первая мировая война 1914-1918 гг., революция 1917 г. подорвали государственную систему и экономику страны. Была отменена частная собственность на землю и недвижимость, многие заводы и предприятия были разрушены. Почти полностью прекратилось строительство.

С середины 20-х годов развернулась реконструкция старых и возведение новых заводов строительных материалов. Первостепенное внимание уделяется строительству объектов энергетики (гидро- и электростанций) и центров культурно-бытового обслуживания (школ, больниц, дворцов культуры). В период с 1926 по 1939 гг. также возведено более 200 новых городов [17]. Существующие города претерпевали значительную реконструкцию. В это время создаются новые строительные материалы, такие как – пустотелый и высокопрочный кирпич, шлаковые цементы, цементы с активными минеральными добавками, легкие бетоны, сборные железобетонные конструкции и др.

Великая отечественная Война 1941-1945 гг. привела к разрушению огромного количества городов и поселков, сел и деревень, а также промышленных предприятий. В послевоенные годы начинается долгий восстановительный период. Усилия, в первую очередь, были направлены на восстановление объектов промышленности, больниц и школ. Это привело к постоянному увеличе-

нию объема выпуска строительных материалов.

В 50-е годы в стране введено в действие 3200 промышленных объектов, несколько мощных электростанций, в том числе первая в мире атомная [15, 17]. Возникают первые целинные совхозы, для которых были разработаны сборно-разборные конструкции.

С конца 50-х гг. создаются крупные жилые массивы. Новые достижения в области строительных технологий привели к разработке различных конструктивных систем крупнопанельных домов: панельно-рамных, каркасно-панельных и бескаркасных. Для обеспечения государственного строительства с 1954 года вступают в строй более 400 заводов железобетонных конструкций. Сборные железобетонные конструкции начали широко применяться как в промышленном, так и в гражданском строительстве. Перспективной зарекомендовала себя технология возведения зданий из монолитного железобетона в скользящей или передвижной опалубке.

К концу XX века Россия по производству цемента, металлов, сборного железобетона, асбоцемента, листового стекла намного опередила другие страны. При общем высоком уровне развития строительных технологий и техники, применении новых конструкционных и отделочных материалов, советская индустрия строительных материалов не смогла выйти на мировой уровень в связи с существующей экономической и политической системой жесткого государственного монополизма.

Распад Советского Союза в 1991 г. создал для России сложнейшую геополитическую ситуацию. По-новому организуется структура системы производства, экономики страны, ее культурных связей. Строительная гонка в этот период происходит на фоне общегосударственного экономического спада.

В 1992 году создан указ об организации Российской Академии архитектуры и строительных наук (РААСН). В 1998 году вышел Градостроительный кодекс РФ, в который позже были внесены дополнительные поправки.

Сегодня существующие предприятия промышленности строительных материалов пока еще не в состоянии конкурировать с зарубежными фирмами на мировом рынке. Сказываются изношенность оборудования, устаревшие технологии, низкая культура производства и качества выпускаемой продукции. Большинство передовых технологий, оборудования и материалов импортируются из-за рубежа.

Тем не менее, за последние годы реконструированы типовые и уникальные здания и сооружения, отреставрирована историческая застройка многих городов, заново воссозданы утраченные памятники истории и архитектуры. За последние десятилетия значительно увеличились капиталовложения в улучшение дорожно-транспортной сети городов, формирование автомобильных развязок и др. На рубеже XX и XXI веков построено большое количество жилых зданий, банков, торгово-развлекательных комплексов, бизнес-центров, объектов культурно-массового и спортивно-оздоровительного назначения, учебных и научных центров, храмов и церквей [5, 17].

РАЗДЕЛ 1

СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Общие сведения

Многообразие материалов, используемых в строительстве, делает изучение их свойств и особенностей применения достаточно сложным. Но общим для всех материалов является связь их свойств с особенностями строения и со свойствами тех веществ, из которых они состоят. Поэтому, прежде всего, необходимо усвоить связь между свойствами, составом и структурой материала. Так, разные способы обработки одного и того же сырья позволяют получить материалы с различным строением и, следовательно, с разными свойствами.

Состав – то, из чего состоит материал. Строительные материалы характеризуются химическим, минералогическим и фазовым составом.

Химический состав – совокупность оксидных составляющих в материале (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO и др.). Химический состав позволяет судить о свойствах материала: огнестойкости, биостойкости, механических и других характеристиках. Оксиды (основные и кислотные) связаны между собой и образуют минералы.

Минералогический состав – совокупность природных или искусственных химических соединений (минералов).

$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – каолинит;	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – тальк;
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гипс;	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ – доломит;
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – алит;	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – белит и др.

Минералогический состав дает более полную информацию о материале.

Фазовый состав – содержание в материале различных фаз (твердой, жидкой и газообразной). Твердая фаза представлена плотными веществами, слагающими «каркас» материала. Жидкая фаза – вода и различные жидкие вещества, находящиеся в материале. Газообразная фаза представлена воздухом, заполняющим поры.

Структура (строение) – пространственное взаиморасположение в материале компонентов, то есть размещение частей, элементов в объеме, их взаимосвязь и зависимость.

Структуру строительных материалов изучают на трех масштабных уровнях: 1) макроуровень; 2) микроуровень и 3) атомно-молекулярный уровень.

Макроуровень – макроструктура материала, видимая невооруженным глазом или при небольшом увеличении. У строительных материалов выделяют следующие типы макроструктур (рис. 1.1):

- конгломератная (характерна для бетонов на плотных и пористых заполнителях, асфальтобетонов);
- ячеистая (ячеистые бетоны, пенокерамика, пенопласты);

- мелкопористая (керамический кирпич, керамическая плитка);
- волокнистая (древесина, изделия из минеральной ваты, стеклопластики);
- слоистая (фанера, рулонные кровельные материалы);
- рыхлозернистая (песок, щебень, керамзитовый гравий);
- слитная (стекло, металл, пластик).

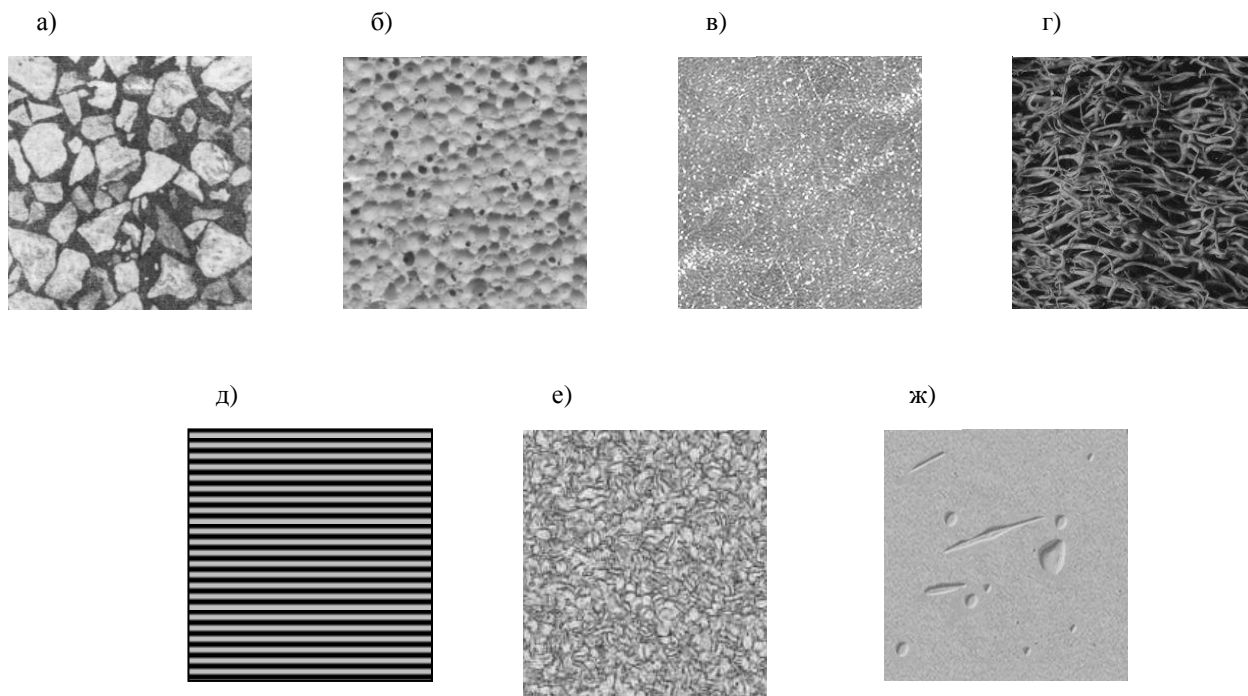


Рис. 1.1. Типы макроструктур строительных материалов:
 а – конгломератная; б – ячеистая; в – мелкопористая;
 г – волокнистая; д – слоистая; е – рыхлозернистая; ж – слитная

Микроуровень – микроструктура материала, видимая в оптический микроскоп. Обычно на этом уровне изучают строение твердой составляющей, которая может иметь кристаллическую или аморфную структуру.

Кристаллическая структура представлена кристаллами различных размеров и формы (призматической, пластинчатой, игловидной и др.). Кристаллическая форма более устойчива, чем аморфная. Материалы с кристаллическим строением имеют определенную температуру плавления и характеризуются анизотропией (неодинаковые свойства в различных направлениях).

Аморфная (бесформенная) структура характеризуется высокой химической активностью (вследствие большой внутренней энергии), низкой прочностью. Одно и то же вещество может находиться как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии. Примером может служить кварц, в кристаллической форме представляющий собой кварцевый песок. Аморфная структура кварца может быть представлена трепелом, опокой, диатомитом. Аморфная форма вещества может самопроизвольно перейти в более устойчивую кристаллическую форму.

Атомно-молекулярный уровень – внутреннее строение материала, изучаемое методами рентгеноструктурного анализа, электронной микроскопии и т.п. На атомно-молекулярном уровне можно выявить виды связей в материале (ковалентные, ионные, водородные), рассмотреть строение кристаллической решетки и определить механическую прочность, твердость, тугоплавкость и другие важные свойства материалов.

Состав и строение материала зависят от их происхождения и условий образования (для природных материалов), от технологии производства и обработки (для искусственных строительных материалов). Состав и структура материала определяют его свойства.

Свойство – способность материала реагировать на внешние или внутренние воздействия. Воздействия могут быть физическими (теплота, влага, радиация, свет и т.д.), механическими (силовые нагрузки), химическими (осадки, выхлопные газы, щелочи, кислоты), биологическими (грибки, микроорганизмы) и т.д. В соответствии с этим можно выделить физические, механические, химические, биологические и другие свойства материалов. Кроме этих свойств, которые относят к *эксплуатационным*, важными являются также *технологические* свойства материалов, которые проявляются в процессах их изготовления и последующей обработки [4, 5, 13].

1.2. Физические свойства

Физические свойства строительных материалов характеризуют параметры физического состояния, особенности структуры, а также определяют отношение материалов к различным физическим процессам.

1.2.1. Параметры состояния

К параметрам физического состояния относят массу, геометрические размеры, объем, истинную, среднюю и насыпную плотности.

Истинная плотность ρ – масса единицы объема материала, взятого в абсолютно плотном состоянии, то есть без пор и пустот.

Истинную плотность материала, кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho = \frac{m}{V_{abc}}, \quad (1.1)$$

где m – масса твердой фазы, кг (г);

V_{abc} – объем в абсолютно плотном состоянии, м³ (см³).

Истинная плотность неорганических материалов – 2,2...2,8 г/см³, органических – 0,9...1,8 г/см³.

Изменение значения истинной плотности может произойти только при

изменении химического состава материала.

Средняя плотность ρ_m – масса единицы объема материала в естественном состоянии, то есть с порами и пустотами.

Среднюю плотность материала, кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho_m = \frac{m}{V_{ест}}, \quad (1.2)$$

где m – масса образца, кг (г);

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

Так как большинство строительных материалов содержит в своем объеме поры и пустоты, то средняя плотность пористых материалов всегда меньше их истинной плотности. Лишь у плотных материалов (стали, стекла и др.) средняя и истинная плотности практически равны.

Средняя плотность строительных материалов колеблется в очень широких пределах: от 15 кг/м³ (пористые пластмассы) до 7850 кг/м³ (сталь).

Насыпная плотность ρ_n – масса единицы объема рыхлонасыпанных зернистых или волокнистых материалов (песка, щебня, гравия, цемента и т.п.).

Насыпную плотность зернистых материалов, кг/м³ (г/см³), определяют по формуле

$$\rho_n = \frac{m}{V_n} = \frac{m}{V_{т.ф.} + V_{пор} + V_{пуст}}, \quad (1.3)$$

где m – масса зернистого материала, кг (г);

V_n – объем, занимаемый этой массой, м³ (см³);

$V_{т.ф.}$ – объем, занимаемый твердой фазой материала, м³ (см³);

$V_{пор}$ – объем пор в зернах материала, м³ (см³);

$V_{пуст}$ – объем межзерновых пустот, м³ (см³).

Для одного и того же материала $\rho > \rho_m > \rho_n$.

1.2.2. Структурные характеристики

Строение материала характеризуется пористостью, а для рыхлых, сыпучих материалов также межзерновой пустотностью.

Пористость общая $P_{общ}$ – процентное содержание в материале пор и пустот.

Размеры пор могут быть от миллионных долей миллиметра до нескольких миллиметров. Более крупные ячейки или полости называют пустотами.

Экспериментальный метод определения пористости основан на замещении порового пространства в материале сжиженным гелием или другой средой. Экспериментально-расчетный метод использует найденные опытным путем

значения истинной и средней плотности материала:

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Пористость строительных материалов колеблется в широких пределах: от 0 (стекло, сталь) до 98 (пенопласты, минеральная вата) %.

Общая пористость складывается из открытой и закрытой пористости.

Открытая пористость $P_{\text{отк}}$ представлена порами, выходящими на поверхность материала. Эти поры заполняются водой при погружении материала в воду, поэтому судить о количестве открытых пор можно по величине водопоглощения:

$$P_{\text{отк}} \approx V_V, \quad (1.5)$$

где V_V – водопоглощение по объему, %.

Открытые поры увеличивают проницаемость, водопоглощение материала и ухудшают его морозостойкость и долговечность.

Закрытая пористость P_z образована изолированными порами, которые не имеют сообщения с внешней средой и при контакте с водой не заполняются ею.

Закрытую (замкнутую) пористость определяют по формуле

$$P_z = P_{\text{общ}} - P_{\text{отк}}. \quad (1.6)$$

От величины пористости, размера и формы пор, равномерности распределения их в материале зависят важнейшие его свойства: средняя плотность, прочность, водопоглощение, теплопроводность, морозостойкость и др.

Межзерновая пустотность $P_{\text{мз}}$ – объемное содержание в рыхлозернистом материале межзерновых пустот.

Для рыхлозернистых и порошкообразных материалов межзерновую пустотность (%) определяют по формуле

$$P_{\text{мз}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_m}\right) \cdot 100, \quad (1.7)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³ (г/см³);

ρ_m – средняя плотность зерен материала, кг/м³ (г/см³).

1.2.3. Гидрофизические свойства

Гидрофизические свойства определяют отношение материала к статическому или циклическому воздействию воды и пара.

Влажность W – процентное содержание влаги в порах материала при естественных условиях его эксплуатации. Различают влажность абсолютную и относительную, определяемую по формулам

$$W_{абс} = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (1.8)$$

$$W_{отн} = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{вл}} \cdot 100, \quad (1.9)$$

где $m_{вл}$ – масса образца во влажном состоянии, г;

$m_{сух}$ – масса сухого образца, г.

Влажность оказывает значительное влияние на долговечность материалов, их теплоизоляционные, электрические и другие свойства. В зависимости от окружающих условий влажность может меняться от 0 % до полного насыщения водой.

Гигроскопичность – способность материала поглощать пары влаги из окружающего воздуха. Гигроскопичность зависит как от свойств материала (величины и характера пористости), так и от условий внешней среды (температуры и относительной влажности). Материалы, которые хорошо впитывают влагу, называют *гидрофильными*. Материалы, отталкивающие влагу, называют *гидрофобными*.

Капиллярное насыщение (всасывание) – процесс поднятия влаги по капиллярам материала, когда он частично находится в воде. В результате этого процесса грунтовые воды могут подниматься по капиллярам и увлажнять нижнюю часть стены здания. Для устранения сырости в помещениях устраивают гидроизоляционный слой, отделяющий фундамент от наземной части конструкции.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать воду при непосредственном соприкосновении с нею.

Различают водопоглощение материала по массе B_m и объему B_V , которые в % вычисляют по формулам

$$B_m = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (1.10)$$

$$B_V = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{V \cdot \rho_{воды}} \cdot 100, \quad (1.11)$$

где $m_{вл}$ – масса влажного образца, г;

$m_{сух}$ – масса высушенного образца, г;

V – объем образца, см³;

$\rho_{воды}$ – плотность воды, г/см³.

Водопоглощения материала по объему и массе связаны между собой следующей зависимостью:

$$B_V = B_m \cdot \rho_m. \quad (1.12)$$

Водопоглощение строительных материалов колеблется в широких пределах: 0,02...0,7 % (для гранита), 2...4 % (для тяжелого бетона), 8...12 % (для кирпича), более 100 % (для теплоизоляционных материалов).

Водопоглощение отрицательно влияет на основные свойства материалов: увеличивает среднюю плотность и теплопроводность, снижает прочность и морозостойкость.

Водостойкость – способность материала сохранять прочность при увлажнении. Числовой характеристикой водостойкости является коэффициент размягчения K_p , который определяется по формуле

$$K_p = \frac{R_{вл}}{R_{сух}}, \quad (1.13)$$

где $R_{вл}$ – предел прочности при сжатии влажного образца, МПа;

$R_{сух}$ – предел прочности при сжатии сухого образца, МПа.

Этот коэффициент изменяется от 0 (необожженные глинистые материалы) до 1 (сталь, гранит, стекло). К водостойким относятся строительные материалы, коэффициент размягчения которых больше 0,8. Эти материалы разрешается применять в конструкциях, находящихся в воде без специальных мер по защите от увлажнения.

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

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

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит коэффициент фильтрации K_f , который определяет количество воды, прошедшей через 1 м² в течение 1 часа при заданном давлении.

Водопроницаемость зависит от средней плотности, пористости и строения материала. Водопроницаемость не допускают при строительстве гидротехнических сооружений, резервуаров, коллекторов, стен подвалов.

Водонепроницаемость характеризуется периодом времени, по истечении которого появляются признаки просачивания воды под определенным давлением через образец материала (кровельные материалы), или предельной величиной давления воды, при которой она не проходит через образец (бетон).

Газо- и паропроницаемость – способность материала пропускать через свою толщу водяной пар или газы (воздух). Характеризуются коэффициентами газо- и паропроницаемости. Этот показатель важен для материалов, используемых в качестве стеновых конструкций для жилых и общественных зданий, поскольку через наружные стены должна проходить естественная вентиляция.

Влажностные деформации – изменение объема и размеров материала при изменении влажности. Влажностные деформации характеризуются усадкой и набуханием.

Усадка – уменьшение размеров и объема пористых строительных материалов (керамика, древесина, ячеистые бетоны) при удалении влаги.

Набухание – увеличение размеров строительных материалов в результате поглощения ими большого количества воды.

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

Разрушение материала при таких циклических изменениях температуры связано, главным образом, с появлением в нем напряжений, вызванных увеличением объема воды при переходе в лед (примерно на 9 %).

Морозостойкость материала количественно оценивается циклами (4 часа замораживания при $-18 \dots -20$ °С, 4 часа оттаивания при $+18 \dots +20$ °С) и соответственно маркой по морозостойкости (F10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 500).

Материал считается морозостойким, если после заданного количества циклов замораживания и оттаивания потеря массы образцов в результате выкрашивания и расслаивания не превышает 5 %, а прочность снижается не более чем на 15...35 %.

Легкие бетоны, кирпич, керамические камни для наружных стен зданий обычно имеют марку по морозостойкости F15, 25, 35. Бетон, применяемый для строительства дорог и мостов, должен иметь марку F50, 100, 200; гидротехнический бетон – F500 [5, 13].

1.2.4. Теплофизические свойства

Теплофизические свойства определяют отношение материала к постоянному или переменному тепловому воздействию.

Теплопроводность – способность материала передавать теплоту от одной поверхности к другой при градиенте температур. Теплопроводность численно характеризуется коэффициентом теплопроводности λ .

Теплопроводность материала зависит от его химического состава и структуры, характера пористости, влажности и температуры.

В материалах теплота перемещается через твердый «каркас» и воздушные поры. Так как теплопроводность воздуха очень мала ($\lambda_{\text{возд}} = 0,023$ Вт/(м·°С)), по сравнению с теплопроводностью каркаса вещества, то материалы с большей

пористостью будут иметь меньший коэффициент теплопроводности.

С увеличением влажности материала теплопроводность возрастает, поскольку вода имеет коэффициент теплопроводности в 25 раз больший, чем у воздуха ($\lambda_{\text{воды}} = 0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$). Теплопроводность влажного материала также увеличивается при понижении температуры, особенно при замерзании воды в порах, так как коэффициент теплопроводности льда равен $\lambda_{\text{льда}} = 2,3 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$, что в 4 раза выше аналогичного показателя для воды.

Теплопроводность большинства строительных материалов увеличивается с повышением температуры. Это необходимо учитывать при выборе материалов для тепловой изоляции теплопроводов, котельных установок и др.

Показатели теплопроводности некоторых строительных материалов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Показатели истинной, средней плотности, пористости и теплопроводности некоторых строительных материалов

Материал	Истинная плотность, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³	Общая пористость, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C)
Гранит	2800...2900	2530...2700	0,2...1,5	3,49
Сталь строительная	7800...7850	7800...7850	0	58
Стекло строительное	2400...2700	2400...2700	0	0,55...0,76
Пеностекло	2400...2700	100...700	70...90	0,04...0,14
Древесина сосны	1500...1600	400...600	53...70	0,17...0,34
Бетон:				
тяжелый	2500...2600	1800...2500	5...10	1,28...1,86
легкий	2500...2600	500...1800	10...60	0,12...0,81
ячеистый	2500...2600	300...1200	55...85	0,08...0,58
Кирпич керамический:				
обыкновенный	2500...2700	1600...1800	18...25	0,80
пустотелый	2500...2700	1300...1400	18...40	0,65
Кирпич силикатный	2500...2600	1800...2000	12...30	0,75...0,85
Минераловатная плита	2400...2700	25...350	80...90	0,04...0,11
Пенопласт	1050...1070	35...400	80...95	0,03...0,06
Древесноволокнистая плита	1500	250...950	36...84	0,07...0,29

Зная величину теплопроводности, можно определить толщину стены ограждающей конструкции по формуле

$$\delta = R^{mp} \cdot \lambda, \quad (1.14)$$

где δ – минимально допустимая толщина стены, м;

R^{mp} – требуемое термическое сопротивление наружных стен (для климатических условий г. Воронежа должно быть не менее $2,89 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$).

Теплоемкость – способность материала поглощать теплоту при нагревании и выделять – при остывании.

Теплоемкость стали $0,48 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, неорганических строительных материалов (бетонов, кирпича, природных каменных материалов) изменяется в пределах от $0,75$ до $0,92 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$. Теплоемкость сухих органических материалов (древесины) около $2,39 \dots 2,72 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$. Вода имеет наибольшую теплоемкость – $4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$, поэтому с повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает.

Огнестойкость – способность материала сопротивляться действию огня при пожаре в течение определенного времени.

По степени огнестойкости строительные материалы делятся на:

- *несгораемые материалы*, не подверженные воспламенению, тлению (бетоны, керамический кирпич, сталь);
- *трудногораемые*, способные воспламеняться и тлеть, но только в присутствии огня (фибrolит, асфальтовый бетон, некоторые пенопласты);
- *сгораемые*, способные воспламеняться и гореть даже после удаления огня (древесина, битум, смолы).

Для защиты материалов от возгорания применяют различные конструктивные меры, покрывают конструкции защитными составами.

Огнеупорность – способность материала выдерживать длительное воздействие высокой температуры, не деформируясь и не расплавляясь.

По огнеупорности строительные материалы делятся на группы:

- *огнеупорные*, выдерживающие температуру более 1580 °C ;
- *тугоплавкие* – $1350 \dots 1580 \text{ °C}$;
- *легкоплавкие*, выдерживающие температуру ниже 1350 °C .

Огнеупорные материалы применяют для внутренней футеровки промышленных печей.

Жаростойкость – способность материала выдерживать воздействие температур до 1000 °C без видимых деформаций и потерь прочности.

Термическая стойкость – способность материала противостоять воздействию циклически изменяющихся положительных температур. Это свойство в значительной степени зависит от однородности материала и коэффициента линейного температурного расширения. Коэффициент линейного температурного расширения является важной характеристикой для многокомпонентных строительных материалов. Для бетона и стали он практически одинаков и составляет $10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°C}$, для дерева – $20 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°C}$, гранита – $8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/°C}$.

Например, мономинеральные горные породы (мрамор) обладают большей термической стойкостью, чем полиминеральные (гранит) [5].

1.2.5. Радиационная стойкость

Радиационная стойкость характеризует способность материала сохранять свою структуру при воздействии ионизирующих лучей. При действии радиации повышается хрупкость стали, происходит аморфизация структуры природных каменных материалов, у бетонов и других строительных материалов снижается прочность в результате структурных изменений

Сравнительной оценкой материалов по этому свойству является толщина конструкции, способствующая половинному ослаблению интенсивности излучения.

Для защиты от радиации наиболее пригодны свинец и бариты ($BaSO_4$).

1.3. Механические свойства

Механические свойства отражают способность материала сопротивляться различным нагрузкам, которые вызывают в них внутренние напряжения и деформации. Нагрузки делятся на статические (вес оборудования, мебели, людей, самих конструкций и т.д.) и динамические (взрывы, удары, землетрясения, ураганы, наводнения и т.д.).

При действии на материал механической нагрузки в нем возникают напряжения. Если величина внешней нагрузки больше напряжения, то материал разрушается. Если величина нагрузки невелика, то материал деформируется.

1.3.1. Деформационные свойства

Деформация – внешнее проявление напряжений в материале. Деформации бывают *обратимыми* (исчезающие после снятия нагрузки) и *необратимыми* (сохраняются после снятия нагрузки). Обратимые деформации могут быть упругими, исчезающими мгновенно, и эластичными, исчезающими со временем.

Деформационное состояние материала характеризуется деформационными свойствами: упругостью, пластичностью, хрупкостью, текучестью, ползучестью, вязкостью и релаксацией.

Упругость – свойство материала самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия силы. Одной из основных величин, характеризующих это свойство, является модуль упругости (модуль Юнга), определяемый по формуле

$$E = \frac{\delta}{\varepsilon}, \quad (1.15)$$

где δ – напряжение, МПа;

ε – относительные деформации, определяемые по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (1.16)$$

где Δl – изменение длины, м;

l – первоначальная длина изделия, м.

Пластичность – свойство материала изменять форму и размеры под действием внешних сил без образования трещин разрывов и сохранять эту форму после снятия нагрузки (пластилин, глина).

Хрупкость – свойство материала разрушаться под воздействием внешних сил без заметных деформаций.

Текучесть – свойство материала деформироваться при постоянном нагружении без увеличения внутренних напряжений.

Ползучесть – свойство материала медленно деформироваться при воздействии нагрузок, меньших тех, которые способны вызвать деформации за обычный период.

Вязкость – свойство жидкостей и газов сопротивляться перемещению одной части относительно другой. Это мера внутреннего трения жидкостей и газов. Величиной, характеризующей вязкость, является коэффициент вязкости μ (Па·с).

Релаксация – свойство материала самопроизвольно снимать внутреннее напряжение при неизменной деформации [5, 13].

1.3.2. Прочностные свойства

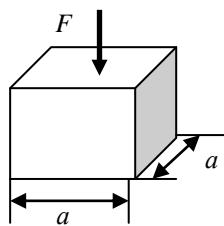
Прочность – способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних сил. Прочность является одной из основных характеристик для большинства строительных материалов, так как они в сооружениях всегда подвергаются воздействиям, вызывающим напряжения (сжатие, растяжение, изгиб, срез, удар и др.).

Прочность зависит от многих факторов: размеров, формы, характера поверхности образцов материала, скорости приложения нагрузки, влажности образцов и др.

Прочность материала оценивают **пределом прочности**, который равен максимальной нагрузке, которую показывает материал в момент своего разрушения. Значение разрушающей нагрузки определяют на прессах или разрывных машинах. По величине предела прочности устанавливается марка строительных материалов по прочности.

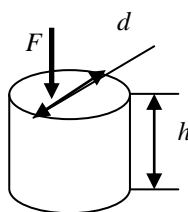
Предел прочности при сжатии определяют путем сдавливания образцов на гидравлических или механических прессах. Образцы материала могут быть различной формы (рис. 1.2).

1) куб



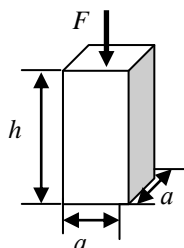
$a = 7, 10, 15, 20, 30$ см

2) цилиндр



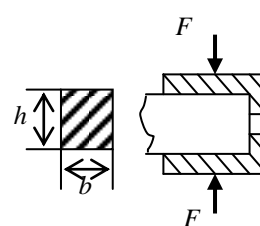
$a = 7, 10, 15, 20, 30$ см,
 $h = d$ или $2d$

3) призма



$a = 4, 10, 15, 20$ см,
 $h = 4a$

4) половинка балочки



$b = 4$ см, $h = 4$ см,
 $A = 25$ см²

Рис. 1.2. Образцы материалов, подвергаемые испытанию на сжатие

Предел прочности при сжатии (кгс/см², МПа) рассчитывается по формуле

$$R_{сж} = \frac{P}{A}, \quad (1.17)$$

где P – разрушающая нагрузка, кгс;

A – площадь образца, на которую действует нагрузка, см².

Предел прочности при сжатии материала является определяющим показателем для конструкций, воспринимающих сжимающие нагрузки: колонн, опор, фундаментов, стен и др.

Предел прочности при изгибе характеризует способность материала сопротивляться разрушению от действия изгибающей нагрузки. Величину предела прочности при изгибе определяют на прессах или используют испытательную машину МИИ-100.

Испытанию на изгиб подвергаются образцы в виде балочек стандартных размеров $4 \times 4 \times 16$ см или $2 \times 2 \times 30$ см, а также целые кирпичи (рис. 1.3).

Величина предела прочности при изгибе определяется по формулам
- при одноточечной нагрузке (см. рис. 1.3, а и б)

$$R_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1.18)$$

- при двухточечной нагрузке (см. рис. 1.2, в)

$$R_{изг} = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2}, \quad (1.19)$$

где P – разрушающая нагрузка, кгс; l – расстояние между опорами, см;
 b – ширина балочки, см; h – высота балочки, см.

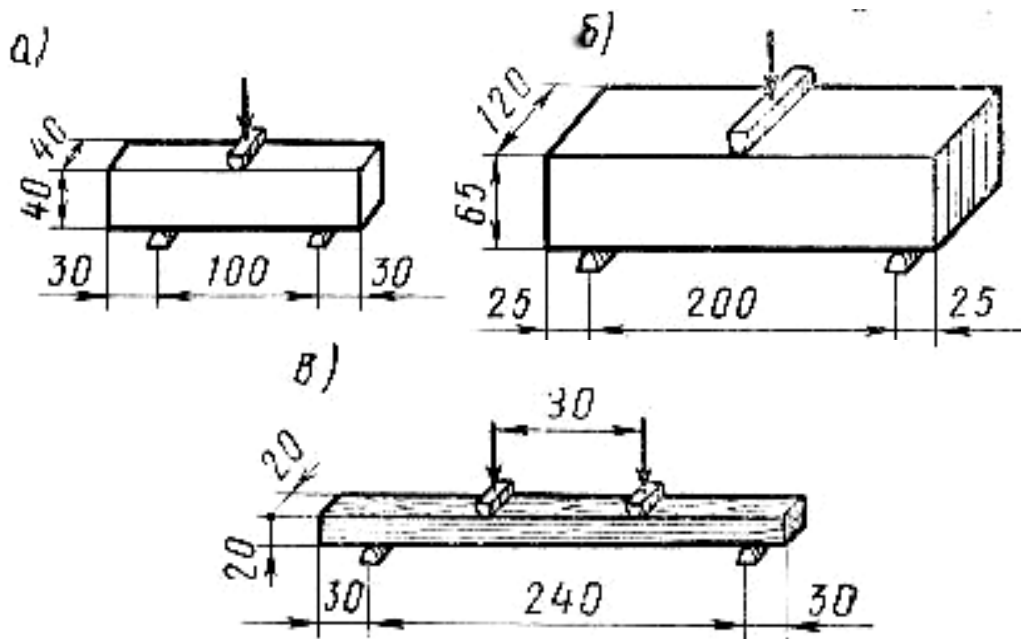


Рис. 1.3. Стандартные образцы при испытании на изгиб:
 а – балочка из цементного раствора, гипсового теста;
 б – керамический и силикатный кирпич;
 в – балочка из древесины

Предел прочности при изгибе является определяющим показателем для материала балок, ферм, покрытий, перекрытий и др.

Динамическая или ударная прочность (ударная вязкость) – способность материала сопротивляться разрушению при ударных нагрузках. Испытания проводят на приборах – копрах.

Оценивается динамическая прочность работой, затрачиваемой на разрушение единицы объема образца. Величину динамической прочности A_{yo} (Дж/м³) определяют по формуле

$$A_{yo} = \frac{P(1+2+3+\dots+n)}{V_{обр}}, \quad (1.20)$$

где P – сила удара, Н ($P = m \cdot g$, где m – масса сбрасываемого груза, кг);

$(1 + 2 + 3 + \dots + n)$ – сумма высот сбрасывания груза, м;

n – высота сбрасывания груза, при котором произошло разрушение образца, м;

$V_{обр}$ – объем образца, м³.

На ударную вязкость испытывают материалы, которые в процессе монтажа или эксплуатации подвергаются динамическим ударным воздействиям (сваи, дорожно-строительные материалы, фундаменты под оборудование, полы промышленных зданий и др.).

Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела. Для определения твердости материалов в зависи-

мости от их вида и назначения существует ряд методов. Твердость *хрупких природных или искусственных каменных материалов* оценивают с помощью шкалы Мооса, которая состоит из десяти эталонных минералов с условным показателем твердости от 1 до 10. Показатели твердости минералов по шкале Мооса приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Твердость минералов по шкале Мооса

Минерал	Показатель твердости	Характеристика твердости	Другие минералы с аналогичной твердостью
Тальк $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1	Легко царапается ногтем	Графит
Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	Царапается ногтем	Хлорит, галит
Кальцит CaCO_3	3	Легко царапается стальным ножом	Биотит, золото, серебро
Плавиновый шпат CaF_2	4	Царапается стальным ножом под небольшим нажимом	Доломит
Апатит $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$	5	Царапается ножом под сильным нажимом	Гематит, лазурит
Ортоклаз (полевой шпат) $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	6	Стальной нож черты не оставляет, слегка царапает стекло	Опал, рутил
Кварц SiO_2	7	Легко царапают стекло, применяются в качестве абразивных (истирающих) материалов	Гранат, турмалин
Топаз $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F},\text{OH})_2$	8		Берилл, шпинель
Корунд Al_2O_3	9		-
Алмаз С	10	Режет стекло	-

Показатель твердости испытуемого материала определяется по разности между условной твердостью того минерала, который оставляет черту на испытуемом образце, и предыдущим, более мягким минералом, не оставляющим черты на образце.

Для *пластичных материалов* (бетона, дерева, пластмасс, металла) твердость определяют вдавливанием в испытуемый образец стандартного стального или алмазного конуса. За характеристику твердости принимают отношение нагрузки к площади отпечатка.

Твердость материала влияет на легкость его обработки, назначение, долговечность и ряд других свойств [13].

Истираемость – свойство материала сопротивляться истирающим воздействиям. Истираемость I , ($\text{г}/\text{см}^2$), определяют по потере массы образца после его испытания на круге истирания по формуле

$$I = \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (1.21)$$

где m_1 – масса образца до истирания, г; m_2 – масса образца после истирания, г; S – площадь истираемой грани образца, см^2 .

Испытанию на истираемость подвергают материалы, применяемые для устройства дорог, полов, лестничных ступеней, каменных тротуаров и т.п.

Износ – свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и удара. Износ Iz определяют по потере массы материала при его испытании в полочном барабане, куда вместе с материалом загружают определенное количество металлических шаров.

Показатель износа определяется по формуле

$$Iz = \frac{m - m_1}{m} 100, \quad (1.22)$$

где m – масса пробы материала, г;

m_1 – суммарная масса остатков после просеивания на контрольных ситах, г.

Этому испытанию подвергают сыпучие материалы (щебень).

1.4. Химические свойства

Химические свойства характеризуют способность материала вступать в химическое взаимодействие с веществами внешней среды или сохранять свой состав и структуру в условиях инертной окружающей среды.

Оба явления могут изменять первоначальные свойства материала, иногда улучшая (например, взаимодействие вяжущих веществ с водой), но в большинстве случаев ухудшая показатели свойств, что приводит к уменьшению срока службы конструкции (например, разрушение бетонных конструкций агрессивными средами, старение пластмасс).

Некоторые из химических свойств (твердение, стойкость против гниения, горючесть, старение) будут рассмотрены в дальнейшем, в конкретных разделах.

Адгезия – способность одного материала прилипать к поверхности другого. Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, состояния поверхности, условий контакта и др. Она появляется и развивается в результате сложных поверхностных явлений, возникающих на границе раздела фаз, и характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого.

Важное значение адгезионные свойства имеют при получении композиционных материалов, клееных изделий, ремонтных и других видах работ.

Химическая стойкость – способность материала сопротивляться действию агрессивных сред (кислот, щелочей, растворов солей, газов).

Приближенную оценку химической стойкости материала можно получить на основе модуля основности M_o :

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

При модуле основности $M_0 < 1$, когда в неорганическом материале преобладает кремнезем, наблюдается высокая стойкость к кислотам (например, гранит и другие магматические горные породы). Когда модуль основности $M_0 > 1$, то есть в составе неорганического материала преобладают преимущественно основные окислы, этот материал нестойк к действию кислот, но в щелочных средах устойчив (бетоны и растворы на неорганических вяжущих).

При $M_0 = 1$ материал устойчив как в кислых, так и в щелочных средах (стекло, керамика).

Органические материалы (древесина, битумы, пластмассы) относительно стойки к действию слабых кислот и щелочей. Однако большинство строительных материалов не обладает достаточной стойкостью к действию агрессивной среды и требует специальной защиты.

1.5. Обобщающие эксплуатационные свойства строительных материалов и изделий

Основным обобщающим свойством, характеризующим состояние строительной конструкции в целом, а также отдельных ее элементов, является надежность.

Надежность – способность материала в течение заданного срока эксплуатации сохранять свое состояние в целом, в отдельных элементах, узлах и в материалах. Надежность характеризуется долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Долговечность – способность материала сохранять работоспособность в течение заданного срока эксплуатации с учетом проведения планового ремонта.

Безотказность – способность материала сохранять свойства и работоспособность в условиях эксплуатации без перерыва на ремонт.

Ремонтпригодность – способность материала восстанавливать свои эксплуатационные свойства после ремонта и сохранять их при дальнейшей эксплуатации.

Сохраняемость – способность материала сохранять свои свойства при хранении на складе и транспортировании.

1.6. Технологические свойства

Технологические свойства характеризуют способность материала воспринимать некоторые технологические операции, изменяющие его состояние, структуру, форму и размеры.

К технологическим свойствам относятся дробимость, распиливаемость, спекаемость, укрывистость (красочные составы) и др.

Технологические свойства имеют важное практическое значение, так как от них будет зависеть качество и стоимость готовых изделий и конструкций.

1.7. Основные разновидности строительных материалов и конструкций

Строительные материалы – это природные и искусственные материалы, используемые при строительстве и ремонте зданий и сооружений. Различия в назначении и условиях эксплуатации зданий (сооружений) определяют разнообразные требования к строительным материалам и их обширную номенклатуру.

По назначению различают две основные категории строительных материалов:

- общего назначения (цемент, песок, раствор, бетон, сталь, лесоматериалы и др.), применяемые при возведении или изготовлении разнообразных строительных конструкций;

- специального назначения (акустические, теплоизоляционные, огнеупорные материалы).

По степени готовности строительные материалы условно делят на:

- строительные материалы (вяжущие материалы, заполнители, древесина и т.д.);

- строительные изделия – готовые детали и элементы, монтируемые в здании на месте строительства (железобетонные панели, санитарно-технические кабины, дверные и оконные блоки и т. п.).

По совокупности технологических и эксплуатационных признаков строительные материалы принято подразделять на следующие основные группы.

1. *Природные каменные материалы* – горные породы, подвергнутые механической обработке (облицовочные плиты, стеновые камни, щебень, гравий, бутовый камень и др.).

2. *Материалы и изделия из древесины* – строительные материалы, получаемые главным образом механической обработкой древесины (круглый лес, пиломатериалы и заготовки, паркет, фанера, клееные конструкции).

3. *Керамические материалы и изделия* – изготавливают из глиносодержащего сырья посредством его формования, сушки и обжига. Широкий ассортимент, высокая прочность и долговечность керамических строительных материалов обуславливают разнообразные области их применения в строительстве: в качестве стеновых материалов (кирпич, керамические камни), кровельных (черепица) и санитарно-технических изделий (умывальники, раковины, унитазы), для наружной и внутренней облицовки зданий (керамическая плитка) и др.

4. *Стекло* – применяется главным образом для устройства светопрозрачных ограждений. Наряду с обычным листовым стеклом выпускается стекло специального назначения (армированное, закаленное, теплозащитное и др.) и стеклянные изделия (стеклоблоки, стеклопрофилит, стеклянные облицовочные плитки и др.). По технологическим признакам к стеклянным строительным материалам относят также каменное литье, ситаллы и шлакоситаллы.

5. *Неорганические вяжущие вещества* – преимущественно порошкообразные материалы (цемент, гипс, известь и др.), образующие при смешении с водой пластичное тесто, приобретающее затем камневидное состояние.

6. *Бетоны и растворы* – искусственные каменные материалы с широким

диапазоном физико-механических и химических свойств, получаемые из смеси вяжущего вещества, воды, заполнителей и добавок. Основные виды бетонов - цементный, силикатный, легкий и ячеистый бетоны, железобетон. Бетоны и строительные растворы применяют непосредственно на строительных объектах (монолитный бетон), а также для изготовления строительных изделий в заводских условиях (сборный железобетон). К этой же группе относятся асбестоцементные изделия и конструкции, получаемые из цементного теста, армированного асбестовым волокном.

7. *Органические вяжущие вещества* – битумы, дегти, применяются для получения асфальтобетона, рубероида, толя, герметизирующих материалов в виде мастик и эластичных прокладок и других материалов.

8. *Полимерные строительные материалы* – группа материалов, получаемых на основе синтетических полимеров. Они обладают высокими механическими и декоративными свойствами, водо- и химической стойкостью, технологичностью. Основные области их применения: в качестве материалов для покрытия полов (линолеум, релин, поливинилхлоридные плитки и др.), конструкционных и отделочных материалов (бумажнослоистый пластик, стеклопластики, древесностружечные плиты, декоративные плёнки и др.), тепло- и звукоизоляционных материалов (пенопласты, сотопласты), погонажных строительных изделий.

9. *Теплоизоляционные материалы* – строительные материалы, применяемые для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий, сооружений, промышленного оборудования, трубопроводов. В эту группу входит большое количество разнообразных по составу и строению материалов: минеральная вата и изделия из неё, ячеистые бетоны, асбестовые материалы, пеностекло, вспученные перлит и вермикулит, древесноволокнистые плиты, камышит, фибролит и др. Использование теплоизоляционных строительных материалов в ограждающих конструкциях позволяет значительно снизить массу последних, уменьшить общий расход материалов и сократить энергозатраты на поддержание необходимого теплового режима здания (сооружения). Некоторые теплоизоляционные материалы находят применение в качестве акустических материалов.

10. *Акустические материалы* – материалы, используемые для звукоизоляции и звукопоглощения. К ним относятся минеральная вата, фибролит, пористая резина и др.

11. *Лаки и краски* – отделочные строительные материалы, образующие на поверхности окрашиваемой конструкции декоративное и защитное покрытие.

12. *Металлы*. В строительстве применяют в основном стальной прокат. Сталь используют для изготовления арматуры в железобетоне, каркасов зданий, пролётных строений мостов, трубопроводов, отопительных приборов, как кровельный материал (кровельная сталь) и т. д.

Качество строительных материалов характеризуется маркой – величиной, определяющей основной эксплуатационный показатель (например, прочность,

плотность, огнестойкость, морозостойкость и другое) или совокупностью нескольких показателей.

Дальнейшее повышение эффективности строительства связано: 1) с расширением областей применения новых, преимущественно легких материалов (легких бетонов, полимерных материалов, металлических конструкций на основе легких сплавов и др.); 2) с увеличением выпуска специальных строительных материалов (быстротвердеющих цементов, эффективных теплоизоляционных, отделочных материалов и др.); 3) с повышением качества традиционных строительных материалов; 4) с расширением использования местных строительных материалов; 5) с утилизацией отходов промышленности (металлургических шлаков, зол ТЭС, отходов деревообработки и др.).

Строительная конструкция – строительный элемент, состоящий из одного или нескольких строительных материалов, отличающийся высокой степенью заводской готовности, способствующий быстрому темпу строительства, снижающий стоимость монтажных работ.

По функциональному назначению строительные конструкции делятся на *несущие и ограждающие* конструкции. Это деление весьма условно, так как если такие конструкции, как арки, фермы или рамы, являются только несущими, то панели стен и покрытий, оболочки, своды и т.п. обычно совмещают ограждающие и несущие функции.

В зависимости от расчётной схемы строительные конструкции подразделяют на линейные (балки, колонны), плоские (плиты, панели, фермы, рамы) и пространственные (оболочки, своды, купола и т.п.). Пространственные конструкции характеризуются более выгодным (по сравнению с линейными и плоскими) распределением усилий и соответственно меньшим расходом материалов; однако их изготовление и монтаж во многих случаях оказываются весьма трудоемкими.

По виду материала различают следующие основные типы строительных конструкций: бетонные и железобетонные, стальные, каменные и армокаменные, деревянные.

1. Бетонные и железобетонные конструкции – наиболее распространённые по объёму и областям применения конструкции. Для современного строительства особенно характерно применение железобетона в виде сборных конструкций индустриального изготовления, используемых при возведении жилых, общественных и производственных зданий и многих инженерных сооружений. Рациональные области применения монолитного железобетона - гидротехнические сооружения, дорожные и аэродромные покрытия, фундаменты под промышленное оборудование, резервуары, башни, элеваторы и т.п. Специальные виды бетона и железобетона используют при строительстве сооружений, эксплуатируемых при высоких и низких температурах или в условиях химически агрессивных сред (тепловые агрегаты, здания и сооружения черной и цветной металлургии, химической промышленности и др.). Уменьшение массы, снижение стоимости и расхода материалов в железобетонных конструкциях возмож-

но на основе использования высокопрочных бетонов и арматуры, роста производства предварительно напряженных конструкций, расширения областей применения легких и ячеистых бетонов.

2. *Стальные конструкции* применяются главным образом для каркасов большепролетных зданий и сооружений, для цехов с тяжелым крановым оборудованием, доменов, резервуаров большой емкости, мостов, сооружений башенного типа и др. Области применения стальных и железобетонных конструкций в ряде случаев совпадают. При этом выбор типа конструкций производится с учётом соотношения их стоимостей, а также в зависимости от района строительства и местонахождения предприятий строительной индустрии. Существенное преимущество стальных конструкций по сравнению с железобетонными - их меньшая масса. Этим определяется целесообразность их применения в районах с высокой сейсмичностью, труднодоступных областях Крайнего Севера, пустынных и высокогорных районах и т.п. Расширение области применения сталей высокой прочности и экономичных профилей проката, а также создание эффективных пространственных конструкций (в том числе из тонколистовой стали) позволит значительно снизить вес зданий и сооружений.

3. Основная область применения *каменных и армокаменных конструкций* - стены и перегородки. Здания из кирпича, природного камня, мелких блоков и т. п. в меньшей степени удовлетворяют требованиям индустриального строительства, чем крупнопанельные здания. Поэтому их доля в общем объёме строительства более низкая. Однако применение высокопрочного кирпича, армокаменных и комплексных конструкций (каменных конструкций, усиленных стальной арматурой или железобетонными элементами) позволяет значительно увеличить несущую способность зданий с каменными стенами, а переход от ручной кладки к применению кирпичных и керамических панелей заводского изготовления - существенно повысить степень индустриализации строительства и снизить трудоемкость возведения зданий из каменных материалов.

4. Основное направление в развитии современных *деревянных конструкций* – переход к конструкциям из клеёной древесины. Возможность индустриального изготовления и получения конструктивных элементов необходимых размеров посредством склеивания определяет их преимущества по сравнению с конструкциями других видов. Несущие и ограждающие клееные конструкции находят широкое применение в сельскохозяйственном строительстве.

В современном строительстве значительное распространение получают новые типы индустриальных конструкций – *асбестоцементные конструкции, конструкции из лёгких сплавов и с применением пластических масс*.

С точки зрения эксплуатационных требований строительные конструкции должны отвечать своему назначению, быть огнестойкими и коррозионно-стойкими, безопасными, прочными, устойчивыми, удобными и экономичными в эксплуатации, при транспортировке и монтаже на строительном объекте, унифицированными, индустриальными в изготовлении, экономичными (по расходу материалов и стоимости).

При проектировании того или иного здания (сооружения) оптимальные типы строительных конструкций и материалы для них выбираются в соответствии с конкретными условиями строительства и эксплуатации здания, с учетом необходимости использования местных материалов и сокращения транспортных расходов.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой химический, минералогический и фазовый состав?
2. Дайте определение структуры строительных материалов. Какие типы макроструктур Вы знаете?
3. Что характеризуют физические свойства строительных материалов?
4. Какие свойства относятся к параметрам состояния?
5. Что представляют собой структурные характеристики?
6. Перечислите гидрофизические свойства строительных материалов.
7. Дайте определения влажности, гигроскопичности и водопоглощению.
8. Какие влажностные деформации Вы знаете?
9. Как оценивается морозостойкость строительных материалов?
10. Назовите теплофизические свойства строительных материалов.
11. Дайте определение теплопроводности. От каких факторов зависит величина коэффициента теплопроводности.
12. Что представляют собой огнестойкость, огнеупорность и жаростойкость.
13. Дайте определение термической стойкости.
14. Перечислите основные деформационные свойства.
15. Что называется прочностью и пределом прочности?
16. Какие Вы знаете прочностные свойства?
17. Что характеризуют химические свойства?
18. Назовите обобщающие эксплуатационные свойства строительных материалов и изделий.
19. Какие свойства строительных материалов относят к технологическим?
20. Что называют строительным материалом?
21. Представьте классификацию строительных материалов и изделий.
22. Охарактеризуйте основные группы строительных материалов.
23. Как проводится оценка качества строительных материалов и изделий?
24. Что называют строительной конструкцией? Чем она отличается от строительного материала и изделия?
25. Отрадите классификацию строительных конструкций.
26. Укажите требования, предъявляемые к строительным конструкциям.

РАЗДЕЛ 2

ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

2.1. Общие сведения

При производстве любого строительного материала, изделия или конструкции существуют общие принципы их получения, несмотря на то, что для их изготовления может использоваться различное сырье (природное или техногенное), технологическое оборудование и полученные изделия могут существенно отличаться друг от друга по составу, структуре и свойствам. Изучением таких закономерностей занимается наука – технология.

Технология (технология производства) – сочетание методов, приемов и операций, в результате выполнения которых из исходных сырьевых материалов получают товарную продукцию в виде полуфабрикатов, изделий и конструкции.

Операция (передел, этап) – часть технологического процесса с определенным составом работ, выполняемых, как правило, на одном рабочем посту (месте). Операции по своей функциональной значимости делятся на основные, вспомогательные и обслуживающие.

Основные операции – это операции, в результате выполнения которых осуществляется процесс производства (добыча сырья, подготовка, дозировка и специальная обработка: формование, отвердевание, тепловая обработка и другие).

Вспомогательные операции помогают осуществлению основных операций (складирование, упаковка, маркировка).

Обслуживающие операции применяются для обслуживания первых двух видов операций (транспортировка, отделка, ремонт).

Графическое модельное представление технологического процесса в виде совокупности последовательных операций называется **технологической схемой**. В общем виде для всех строительных материалов, изделий и конструкций технологическая схема может быть представлена следующим образом:

*Добыча сырья → Транспортирование → Складирование сырья →
→ Подготовка сырья → Специальная переработка →
→ Складирование готовой продукции → Отправка потребителю*

2.2. Общие представления о технологических операциях производства строительных материалов, изделий и конструкций

Рассмотрим теперь представленные операции технологической схемы более подробно.

Добыча сырья при производстве строительных материалов осуществля-

ется открытым способом в карьерах с помощью различных землеройных машин (экскаваторов различного типа). Закрытым способом добываются отдельные виды гипсового сырья. Наряду с природным сырьем используется и техногенное (искусственное) сырье. Как правило, это побочные продукты различных производств или специально приготовленные компоненты: золы, шлаки, отходы керамического производства и другое.

Транспортирование может осуществляться любым видом транспорта в зависимости от расстояния и экономической целесообразности. В качестве транспорта в основном используется автомобильный, железнодорожный, водный, а также конвейеры различного типа.

Складирование – вспомогательный передел, который может осуществляться как в открытые (штабель), так и закрытые (бункера, силосы) склады. Объем или вместимость склада определяется мощностью предприятия, видом сырья и транспорта, которым доставляется сырье, типом производства. Наряду со складированием сырья в технологии может осуществляться промежуточное складирование полуфабрикатов, складирование готовой продукции. На практике иногда имеет место, так называемая «технология с колес», когда стремятся минимизировать количество материала на складах сырья и готовой продукции.

Подготовка сырья – основной передел, который осуществляется с помощью ряда операций, например, дробления, измельчения, обогащения (усреднения), сортировки, промывки, увлажнения, сушки, перемешивания и т.д.

К **специальной обработке** относят процессы формования и твердения.

Формование – процесс придания изделию требуемой формы, который может осуществляться следующими способами: литьем, литьем под давлением, виброформованием, прессованием, штампованием, прокатом, термоформованием, сваркой, экструзией (выдавливанием) и др.

Твердение (отвердевание) – основной и заключительный этап всей технологии. Твердение строительных материалов на основе минеральных вяжущих веществ (цемент, гипс, известь) может происходить в естественных условиях, но на предприятиях используют ускоренные методы твердения - тепловую или тепловлажностную обработку. Для ряда строительных материалов тепловая обработка обязательна (керамика, стекло).

Различают следующие виды тепловой обработки:

1) *сушка* – это тепловая обработка, применяемая для удаления избытка влаги из материала (щебень, песок, деревянные, керамические и гипсовые изделия);

2) *теповлажностная обработка (ТВО)* – это тепловая обработка с температурой до 80 °С с применением пара влажностью до 100 %. Этот способ применяется для строительных материалов на основе вяжущих веществ и осуществляется в специальных установках, работающих при атмосферном и повышенном давлениях;

3) *обжиг* – высокотемпературная обработка от 150 °С до 1200 °С применяется, в основном, для получения керамических строительных материалов;

4) *плавление* – перевод сырья в жидкотекучее состояние и получение изделий из расплава (сталь, металлические сплавы, стекло, стекловата, шлаковата и др.);

5) *вспучивание при обжиге* – обжиг с одновременным образованием порового воздушного пространства в структуре материала (керамзит, ячеистое стекло);

б) *спекание* – тепловая обработка, используемая при производстве специальных материалов (например, аглопорита).

2.2.1. Способы обработки строительных материалов и изделий

В общем случае различают три основных способа обработки строительных изделий.

1. Механическая обработка – способ производства, при котором меняется форма, размеры, отделка образца при неизменном химическом, фазовом составе материала (облицовочные изделия из камня, щебень, гравий, песок, древесина без химической обработки).

2. Химическая обработка – это технология, в которой наряду с изменением внешних параметров происходит изменение структуры материала, его фазового, химического, минералогического составов (технология вяжущих веществ, керамики и др.).

3. Комбинированная обработка – наиболее распространенный способ обработки, сочетающий в себе первые два способа.

2.2.2. Способы организации производства

При разработке той или иной технологии производства важное место уделяется выбору способа организации производства. Существуют три основных способа организации производства.

1. *Агрегатно-поточный* – это наиболее распространенный способ организации производства, при котором изделие (или форма с изделием) с помощью грузоподъемных механизмов и транспортных средств передается с одного рабочего поста на другой. При этом время нахождения изделия на постах может быть различным. Достоинствами такого способа являются небольшие капиталовложения, быстрый переход от одного вида изделия к другому, широкая номенклатура выпускаемой продукции. К недостаткам способа можно отнести большую трудоемкость операций при использовании ручного труда, малую степень автоматизация и механизации.

2. *Стеновый способ* – применяется при производстве крупногабаритных изделий, узкой номенклатуры (пролеты мостов, фермы, балки, металлические конструкции). При этом способе производства рабочие (бригады рабочих) перемещаются от одного стенда к другому, выполняя определенные виды работ.

3. *Конвейерный* – способ производства, когда изделие ритмично через равные промежутки времени (или с определенной скоростью) перемещается по

конвейеру от поста к посту, где осуществляется определенный набор операций. Этот способ производства наиболее эффективен при массовом выпуске однотипных изделий, позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации всех технологических процессов, но требует самых больших капиталовложений.

Выбор того или иного способа организации производства строительных материалов, изделий и конструкций зависит от вида выпускаемого материала, объемов его выпуска и в общем случае определяется технико-экономической эффективностью.

Создание любого строительного материала осуществляется по схеме:

Заданные свойства материала → Сырье → Технология → Готовый материал

Представленная схема будет работать только тогда, когда заданные свойства материала будут соответствовать свойствам готового материала. Эта схема является основной любой технологии. Изучением и раскрытием закономерностей данной схемы и занимается наука технология.

С этой точки зрения, **технология** – это наука, развивающая представления о том, как из исходного сырья получить готовый материал с заданными составом, структурой и набором свойств.

2.3. Основные положения теории управления технологическими процессами изготовления строительных материалов, изделий и конструкций

Управление любыми технологическими процессами – это основное направление повышения качества получаемых материалов и эффективности производства.

Управление – это процесс целенаправленного воздействия на «объект», в результате которого он (объект) становится «ближе» к выполнению поставленной цели, чем до управления. Простейший пример схемы управления технологическим процессом представлен на рис. 2.1.

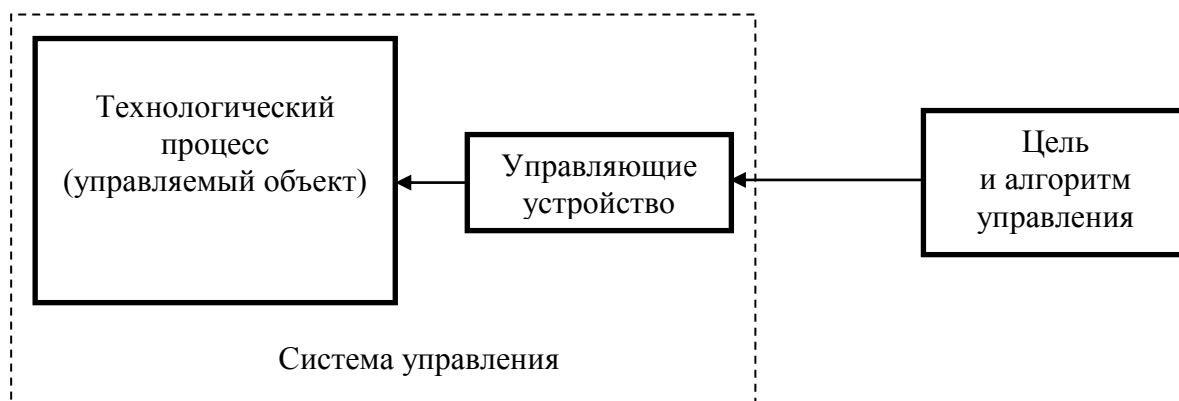


Рис. 2.1. Схема управления технологическим процессом

Современные методы управления технологическими процессами базируются на применении системного (структурного) подхода. Необходимость применения такого подхода в технологии изготовления строительных материалов, изделий и конструкций определяется их нестационарностью, нелинейностью, многомерностью, стохастичностью, синергизмом. Это обстоятельство дает основание рассматривать процесс изготовления строительного материала как иерархически многоуровневую систему и классифицировать его как сложную физико-химическую систему (ФХС). Это позволяет в теории управления абстрагироваться от конкретных представлений о технологическом процессе, его характеристик и параметров, определяющих условия протекания этого процесса. Технологический процесс рассматривают как нечто целое и представляют в виде многомерного объекта с набором входных X_i , управляющих Z_i и выходных Y_i переменных (рис. 2.2).

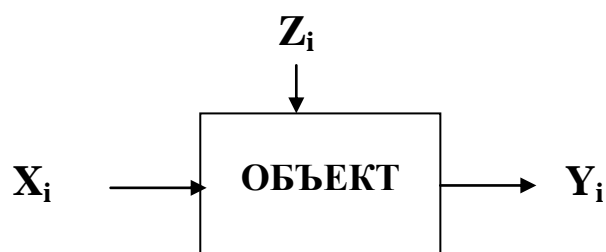


Рис. 2.2. Блок-схема технологического процесса

Учитывая, что практически невозможно точно учесть количество и величины X_i и Y_i переменных, их рассматриваются как случайные. Из-за сложности разделения входных X_i и управляющих Z_i параметров их объединяют в группу входных параметров.

В качестве входных переменных могут выступать свойства сырья (влажность, крупность, химический и минералогический составы, наличие примесей и т.д.), режим работы и конструктивные особенности аппарата (температура, давление, скорость, частота и т.д.). Входные переменные делятся на управляющие и фиксированные (контролируемые и неконтролируемые).

Выходными переменными являются энергетические и материальные затраты, свойства готовой продукции. Каждая выходная переменная Y_i полностью определяется всеми или частью входных и управляющих переменных X_i и Z_i .

Учесть все входные переменные, влияющие на процесс, и зависящие от них выходные переменные практически невозможно, поэтому приходится ограничиваться только частью основных переменных, а остальные относить к неконтролируемым.

Ключевой проблемой при разработке систем управления является иден-

тификация объекта управления, т.е. установление соотношений между входными и выходными переменными при заданном изменении параметров входных переменных (определение структуры и связей, математической модели, параметров функционирования объекта). Зависимость Y_i от X_i может быть графической, математической, словесной. Простейшая математическая модель технологического процесса может быть описана уравнением

$$Y_i = f(X_i, Z_i). \quad (2.1)$$

Когда определены значения основных входных переменных, а число неизвестных сведено к минимуму, можно осуществлять управление. Такая модель решения называется **алгоритмом управления** – совокупностью воздействий «извне» с целью реализации определенных действий.

При рассмотрении общих тенденций, имеющих место в области автоматизации производственных процессов, можно выделить два основных варианта к решению этой задачи. Необходимо отметить, что оба варианта способствуют реализации задачи оптимального управления технологическим процессом.

В первом варианте роль системы автоматического регулирования сводится к минимуму. Основной задачей в этом случае является выявление определенных свойств объекта, позволяющих при минимальном управлении ходом процесса обеспечить поддержание заданного режима. Для реализации этого направления исследований по созданию автоматизированных производств необходимо создание кибернетически организованного процесса. Кибернетически организованный процесс должен исключить применение автоматики, возлагая часть или все функции системы автоматического управления на сам технологический процесс или на процесс, организованный параллельно основному и осуществляющий, помимо получения желаемого продукта, управление основным технологическим процессом.

Во втором варианте основная нагрузка выполнения задачи возложена на систему автоматического управления. Постановка задачи управления в этом случае предполагает наличие возможности тем или иным способом воздействовать на технологический процесс, осуществляя при этом целенаправленный выбор из нескольких альтернативных воздействий. Неправомерно ставить вопрос об управлении теми объектами, на которые нельзя воздействовать. Такие объекты называют *неуправляемыми*. Процесс управления целесообразно реализовывать на основе использования и переработки поступающей информации о поведении объекта и воздействиях внешней среды.

В общем случае схема автоматического управления технологическим процессом может быть представлена следующим образом (рис. 2.3.).

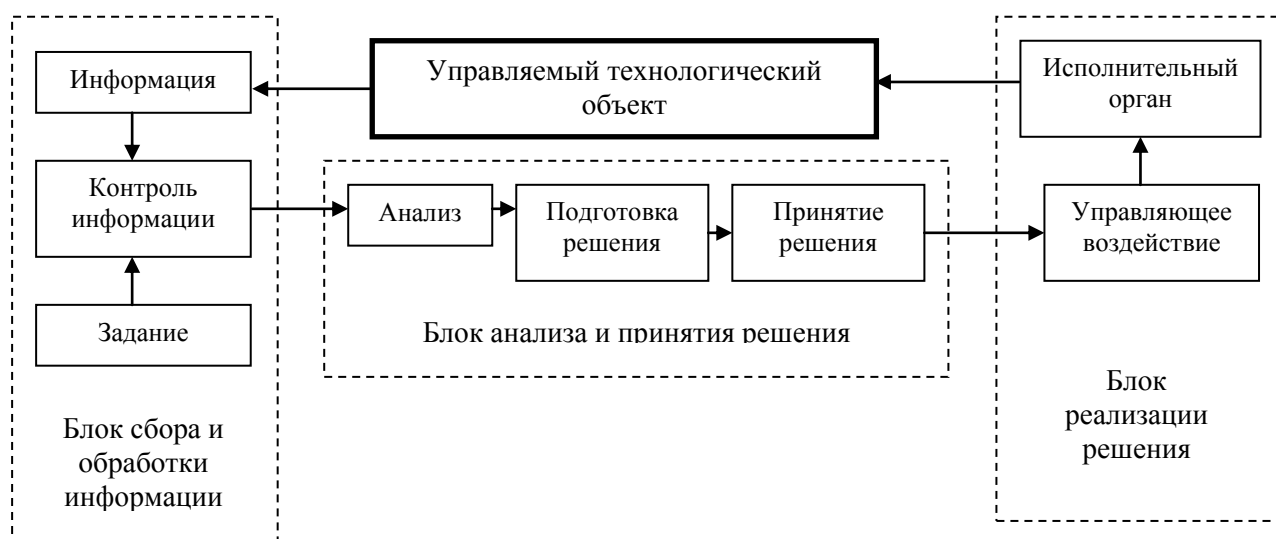


Рис. 2.3. Пример схемы автоматизированной системы управления технологическим процессом

Таким образом, любой процесс управления включает реализацию следующих элементов:

- 1) получение информации о состоянии объекта путем измерения выходной переменной и определение требований, предъявляемых к ее значениям;
- 2) обработка информации о состоянии выходной переменной и сравнение полученного результата с заданием;
- 3) принятие решений об изменении состояния объекта и выработка закона управления;
- 4) отработка исполнительными органами воздействия на объект в соответствии с выработанным законом управления.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение термину «технология». Как вы понимаете «технологию» в узком и широком смысле?
2. Что такое технологическая операция (передел, этап)? На какие виды делятся технологические операции в зависимости от функциональной значимости?
3. Может ли быть организована технология строительных материалов, изделий и конструкций без обслуживающих операций? Объясните свой ответ.
4. Представьте общий вид технологической схемы для производства строительных материалов, изделий и конструкций.
5. Охарактеризуйте технологические операции: добыча и складирование сырья, подготовка, формование, твердение.
6. Что такое производство строительных материалов, изделий и конст-

рукций «с колес»?

7. Что включает передел «специальная обработка» при производстве строительных материалов, изделий и конструкций?

8. При расстоянии от карьера сырья до предприятия равным 10 км, какой вид транспорта предпочтительнее и почему?

9. Какие строительные материалы и изделия формуются способом прессования?

10. Какими свойствами должна обладать строительная смесь, чтобы ее формирование осуществлялось способом литья?

11. Какие вы знаете способы обработки строительных материалов и изделий? Охарактеризуйте эти способы.

12. Назовите строительные материалы и изделия, которые изготавливаются комбинированным способом обработки?

13. Какие вы знаете способы организации производства? Дайте характеристику этим способам

14. Для каких строительных материалов, изделий и конструкций применим конвейерный способ организации производства?

15. От каких факторов зависит выбор способа обработки и организации производства строительных материалов и изделий?

16. Представьте схему создания строительных материалов с учетом того, что получаемый материал должен быть экологически безопасным?

17. Какими факторами определяется целесообразность производства того или другого вида строительного материала, изделия или конструкции?

18. Как Вы понимаете словосочетание «управление технологическими процессами»?

19. Представьте и охарактеризуйте простейшую схему управления технологическими процессами.

20. Что такое «неуправляемый технологический процесс»? Какими характеристиками он обладает?

21. Охарактеризуйте технологический процесс с точки зрения входных, выходных и управляющих переменных.

22. Раскройте основные элементы теории управления технологическими процессами изготовления строительных материалов, изделий и конструкций.

23. Представьте и охарактеризуйте схему автоматизированной системы управления технологическими процессами изготовления строительных материалов, изделий и конструкций.

24. Какие основные подходы к управлению технологическими процессами вы знаете?

РАЗДЕЛ 3

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

3.1. Общие сведения

Природный камень – один из древнейших конструктивных и отделочных строительных материалов. Долговечность этого материала позволила сохранить до нашего времени величайшие шедевры архитектуры.

Природные каменные материалы и изделия получают из горных пород без изменения их основных свойств.

Горные породы – это природные новообразования более или менее однородного состава и строения, образующие в земной коре самостоятельные геологические тела. Они слагают поверхностный слой земной коры толщиной 15...60 км.

Горные породы представляют собой сочетание одного или нескольких минералов и могут быть мономинеральными (гипс, кальцит и др.) или полиминеральными (гранит, сиенит и др.).

Минералы – однородные по химическому составу, строению и физико-механическим свойствам тела, образовавшиеся в земной коре в результате физико-химических процессов. В большинстве случаев минералы – твердые тела, иногда жидкие и газообразные. Всего в природе известно более 2 тыс. минералов, но в образовании горных пород участвуют лишь около 50. Такие минералы называются порообразующими. Зная содержание минералов в горной породе, можно определить важнейшие свойства горной породы.

Современные технологии обработки природного камня определяют широкое его использование в строительстве. Так, в результате относительно несложной механической обработки монолитных горных пород получают материалы в виде плит, блоков, бортовых и облицовочных камней, дорожной брусчатки, бутового камня, щебня и др. В огромных количествах используются рыхлые горные породы: валуны, гравий, песок, глина и др. Также горные породы являются главным сырьем для производства искусственных строительных материалов (строительной керамики, огнеупоров, стекла, минеральной ваты), различных вяжущих веществ (цемента, извести и др.), для чего их подвергают сложным видам механической, химической и термической обработки.

В настоящее время в нашей стране на нужды промышленности стройматериалов ежегодно расходуется около 2 млрд т горных пород.

Рациональное использование природных каменных материалов обусловлено учетом их минералогического состава, декоративных характеристик (цвета, текстуры, насыщенности) и основных физико-технических свойств: плотности, пористости, водопоглощения, морозостойкости, теплопроводности, прочности, твердости, истираемости и др.

Физико-технические и декоративные свойства природного камня опреде-

ляют вид фактурной обработки его поверхности.

Учет строителем совокупности свойств природного камня при возведении зданий и сооружений предопределяет их долговечность и архитектурную выразительность [5, 13].

Горные породы в общем объеме современных строительных материалов занимают 20 %, а в дорожном строительстве и при производстве различных растворов и бетонов – 80 %.

3.2. Классификация природных каменных материалов

Природные каменные материалы классифицируют по средней плотности, пределу прочности при сжатии, морозостойкости, области применения, форме изделия, а также по специфике технологии получения.

1. *По средней плотности* природные каменные материалы бывают:

- тяжелые (со средней плотностью более 1800 кг/м^3);

- легкие ($\rho_m \leq 1800 \text{ кг/м}^3$).

2. *По пределу прочности при сжатии* каменные материалы делятся на марки от 4 до 1000, причем легкие каменные материалы имеют марки до 200, а тяжелые – от 100 и выше.

3. *По показателю морозостойкости* природные каменные материалы делятся на марки от F10 до F500.

4. *По области применения* природные каменные материалы делятся на три большие группы:

- нерудные материалы – камень в виде кусков неправильной формы (щебень, гравий, бутовый камень и др.); мелкий заполнитель – песок (природный, дробленый, обогащенный, отсеив от дробления). Данный материал в основном используется для производства строительных бетонов и растворов, дорожного цементобетона, асфальтобетона и др.;

- штучный стеновой камень – изделия правильной геометрической формы, получаемые непосредственно из горного массива с помощью специальных механизмов;

- облицовочный (декоративный) камень – изделия для отделочных работ со специально обработанной поверхностью.

Основной объем производства каменных строительных материалов приходится на нерудные материалы. Ежегодный объем их производства превышает 1 млрд м^3 .

5. *По форме изделий* каменные материалы бывают штучные и рыхлозернистые.

6. *По специфике технологии производства* природные каменные материалы разделяют на материалы, изготавливаемые дроблением, раскалыванием, распиливанием, обтесыванием, шлифованием и т. д.

3.3. Генетическая классификация горных пород

По условиям образования горные породы делят на три группы: магматические, осадочные и метаморфические (рис. 3.1).

Магматические (изверженные) горные породы образовались из расплавленной магмы, поднявшейся из глубины земли и отвердевшей при остывании. Различные условия, в которых происходило остывание и затвердевание магмы, привели к образованию изверженных пород с различным строением и свойствами: глубинные (плотные) и излившиеся (пористые).

Глубинные (интрузивные) породы образовались на большой глубине в земной коре под значительным давлением верхних слоев в результате медленного и равномерного остывания магмы. Эти условия достаточно благоприятны для процессов кристаллизации, для создания зернисто-кристаллического строения. Такие горные породы отличаются высокой плотностью, прочностью, малым водопоглощением, высокой морозостойкостью, стойкостью против выветривания. Все это предопределяет высокие строительные-технические свойства пород и изготовленных из них материалов. Представителями этого вида пород являются: гранит, сиенит, диорит, габбро.

Излившиеся (эффузивные) породы образовались в результате быстрого и неравномерного охлаждения магмы на поверхности земли. Эти породы подразделяют на массивные (диабаз, базальт, андезит, порфир и др.) и обломочные (рыхлые и сцементированные). К рыхлым относят вулканическую пемзу, вулканический пепел, а к сцементированным – вулканический туф. Эти породы, как правило, имеют стекловидную, скрытокристаллическую или порфировую структуру.

На долю магматических пород приходится около 80 % от общего объема всех горных пород.

Осадочные горные породы образовались при естественном разрушении изверженных (первичных) горных пород под влиянием различных факторов, действующих в природе. В зависимости от условий образования осадочные горные породы делятся на три группы: механические отложения (обломочные), химические осадки и органические отложения.

Механические отложения (обломочные) получились в результате разрушения других горных пород под воздействием воды, ветра, колебаний температур, замораживания и оттаивания и др. атмосферных факторов. Среди них различают рыхлые породы (песок, глина, гравий и др.) и сцементированные (песчаник, конгломераты, брекчии и др.).

Химические осадки – породы, образовавшиеся при выпадении в осадок веществ, перешедших в состав водных растворов в процессе разрушения горных пород. Они образовались вследствие изменения условий среды, взаимодействия растворов различного состава и испарения (гипс, доломит, известковый туф и др.).



Рис. 3.1. Генетическая классификация горных пород

Органические отложения – породы, образовавшиеся в результате отложения отмирающего растительного мира и мелких животных организмов (мел, ракушечник, диатомит, трепел, известняк).

Все осадочные породы более разнообразны по составу, структуре, свойствам, менее однородны, чем изверженные породы; имеют слоистое строение, менее прочны. На их долю от общего объема всех горных пород приходится 10...12 %.

Метаморфические (видоизмененные) горные породы (греч. metamorphosis – *превращение*) образовались в толще земной коры в результате глубокого преобразования изверженных и осадочных горных пород под влиянием высоких температур и давлений, а иногда и под химическим воздействием. В этих условиях происходила перекристаллизация минералов без их плавления, что способствовало повышению плотности породы по сравнению с исходной породой. Как правило, метаморфические породы имеют сланцевое строение, но иногда могут сохранять структуру первичных пород.

Различают метаморфические горные породы из изверженных пород: гнейс (из гранита) и из осадочных пород: мрамор (из известняка и мела), глинистый сланец (из глины), кварциты (из песчаника).

На долю метаморфических пород приходится не более 8...10 %.

3.4. Основы технологии производства природных каменных материалов

3.4.1. Оценка качества горных пород

Оценить качество горной породы – это установить степень пригодности ее для изготовления требуемой строительной продукции при принятой технологии разработки горного массива и переработки горной массы.

Для оценки качества горной породы определяются ее строительно-технические свойства. При этом отбираются полевые пробы для проведения лабораторных испытаний. Размер и количество проб зависит от однородности породы и целевого назначения пробы. Проба должна отвечать среднему составу породы и отбираться без применения взрывных работ. При оценке месторождения учитывают также гидрологические условия и возможность разработки месторождения в течение года.

Оценку качества горной породы ведут в следующей последовательности:

- 1) изучают петрографию и состав горной породы, что дает возможность получить предварительные данные о целесообразности переработки ее в тот или иной строительный материал;
- 2) устанавливают внешние признаки (размер, форму, цвет, блеск, структуру, минералогический состав, твердость, степень выветренности);
- 3) определяют технологические свойства (раскалываемость, дробимость, характер раскола, степень шероховатости поверхности раскола и т.п.);

4) после описания внешних признаков и результатов выборочных испытаний пробы проводят оценку физико-механических свойств горной породы, основными показателями которых являются: истинная и средняя плотности, пористость, водопоглощение, морозостойкость, прочность при сжатии, истираемость, износ, химическая стойкость и др.;

5) по физико-механическим и технологическим признакам устанавливают марку горной породы (I, II, III и IV) и дают заключение о качестве горной породы как сырья для производства требуемого строительного материала, прогнозируют свойства этого строительного материала.

3.4.2. Основные технологические процессы при добыче природного камня

Производство каменных материалов начинается с добычи горной породы. Разработка месторождений полезных ископаемых осуществляется открытым, подземным и комбинированным способами. Возможен и подводный способ добычи. Выбор того или иного способа разработки зависит от качества полезного ископаемого, величины запасов, глубины залегания и условий выработки.

Предприятия, осуществляющие добычу полезного ископаемого, называют **карьерями**. Пустые пространства, образующиеся в породе в процессе добычи полезного ископаемого, называются **выработками**. Различают карьеры коренных месторождений, когда разрабатывают сплошные скальные породы (гранит, известняк), и рыхлых горных пород (пески, гравий). В зависимости от условий залегания, качества и запасов горных пород, географического расположения месторождения карьеры бывают:

- *промышленные*, с большими запасами сырья, территориально не связанные со строительными объектами. Срок действия таких карьеров более 10 лет при производительности не менее 100 000 м³ в год. Готовая продукция из таких карьеров транспортируется железнодорожным транспортом, водным путем, а на небольшие расстояния – автосамосвалами;

- *притрассовые* - карьеры местного значения, расположенные в районе строящегося объекта. Срок действия таких карьеров менее 10 лет. Готовая продукция транспортируется автосамосвалами. Себестоимость продукции таких карьеров выше, чем промышленных.

Разработка месторождения полезного ископаемого включает следующие основные производственные процессы.

1. **Планировка местности** и организация мероприятий по отводу атмосферных и талых вод.

2. **Вскрышные работы**. Их проводят с опережением по отношению к работам по добыче сырья. Выбор системы вскрышных работ определяется рядом факторов: мощностью залежи, характером ее залегания, мощностью вскрышных пород, рельефом местности и т.д. Вскрышные работы осуществляют бульдозерами, экскаваторами, скреперами или гидромеханическим способом.

3. **Разработка и удаление** на специально отведенные площади сильно

выветренного (дресвяного) слоя.

4. **Добыча** полезного ископаемого. Нерудные материалы (песок, гравий, глина) добывают открытым способом, используя одно- и многоковшовые экскаваторы или с помощью гидромеханизации. В последнем случае вода, подаваемая под большим давлением, размывает породу, и далее из легко текучей смеси воды и породы (пульпы) в специально отведенных местах происходит осаждение песка или гравия и их сортировка.

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

Пористые породы (известняки-ракушечники, туфы и др.), используемые для изготовления штучных стеновых камней и блоков, разрабатывают обычно специальными камнерезными машинами, основными режущими элементами которых являются дисковые пилы, имеющие резцы, армированные твердыми сплавами или алмазами. Для получения более крупных блоков применяют машины с бесконечными режущими цепями или машины, в которых диски заменены кольцевыми фрезами.

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

При добыче блоков применяют буроклиновой, абразивный и термический способы. Буроклиновой способ применяют при добыче очень твердых и прочных пород (гранита). Абразивный способ (распиливание) используют при вырезке блоков из более мягких пород (мрамора, известняка, туфа). При термическом способе на разрабатываемую породу направляют высокотемпературную (2500 °С) газовую струю, которая выбрасывается со сверхзвуковой скоростью (около 2000 м/с), что приводит к разрушению породы.

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

Для обрезки плит и получения профилированных изделий (поясков, карнизов и др.) применяют фрезерные и профилирующие машины. Режущими элементами в этих машинах являются истирающие диски или профилирующие детали, изготовленные из особо твердых абразивов.

5. **Транспортировка** полезного ископаемого осуществляется автомобильным, конвейерным, железнодорожным транспортом, канатными дорогами (в горной местности) и др. Выбор транспорта зависит от вида материала, размеров карьера, его производительности и т.д.

Наибольшее распространение получил *автомобильный транспорт* (около 90 % всех перевозок). Эффективность автотранспорта зависит от емкости

ковша экскаватора и грузоподъемности автомобиля.

Конвейерный транспорт имеет целый ряд преимуществ перед автотранспортом: компактность, поточность, высокую степень автоматизации и др. К недостаткам этого вида транспорта можно отнести: зависимость от климатических условий, ограниченность размера загружаемого материала, износ транспортирующих механизмов. В качестве таких транспортеров используют ленточные конвейеры, подвесные канатные дороги (особенно в горной местности), скиповые и клетьевые подъемники.

Железнодорожный транспорт на карьерах применяют редко из-за больших первоначальных капитальных затрат и необходимости периодического переноса временных путей.

3.4.3. Технология получения и обогащения нерудных строительных материалов

Поскольку нерудные материалы, поступающие с карьеров, по крупности, зерновому составу, количеству примесей обычно непригодны для непосредственного использования, необходима их переработка, включающая дробление, фракционирование, мойку, обогащение.

В зависимости от требований к выпускаемой продукции, от вида исходного сырья различают следующие виды переработки:

- дробление;
- грохочение (классификация или фракционирование) материала;
- промывка от глинистых и илистых включений;
- обезвоживание для снижения избыточной влажности и предотвращения смерзания материала;
- обогащение для повышения однородности и качества материала по отдельным показателям;
- складирование готовой продукции без ухудшения ее качества.

Дробление – это процесс измельчения горной породы до требуемой крупности и гранулометрии. Горная порода, поступающая на дробление, может иметь размеры в куске 1200...1500 мм. Крупность же щебня должна быть 5...70 (80) мм, а дробленого песка – 0,16...5 мм. Дробление производят в несколько стадий.

По виду различают:

- крупное (первичное) дробление – до 250 мм;
- среднее (вторичное) дробление – до 40...250 мм;
- мелкое дробление – менее 40 мм.

При производстве нерудных строительных материалов применяют двух-, трех- и, реже, четырехстадийное дробление массивных горных пород и одно-, двух- и трехстадийное при переработке песчано-гравийных смесей.

Вид дробилки выбирают в зависимости от свойств материала, требуемой формы заполнителя и т.д. На предприятиях нерудной промышленности для дробления применяют щековые, конусные, молотковые, роторные, валковые и другие дробилки (рис. 3.2).

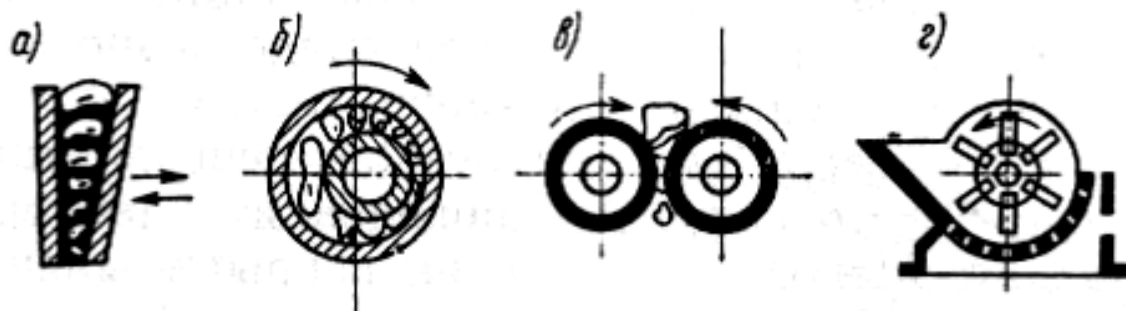


Рис. 3.2. Кинематические схемы дробилок:
 а – щековой; б – конусной; в – валковой; з – молотковой

Щековые дробилки используют преимущественно для крупного и среднего дробления. Производительность щековых дробилок – 5...500 т/ч. При большом содержании глины в породе (> 6 %) производительность щековых дробилок падает.

Конусные дробилки пригодны для крупного, среднего и мелкого дробления. Для дробления вязких, влажных и глинистых пород они не пригодны. Конусные дробилки отличаются большой производительностью (250...2400 т/ч). Такие дробилки устанавливают на предприятиях большой мощности, каждая из них заменяет 2...3 и более щековых дробилок. Однородность дробления в них также выше.

Дробилки ударного действия (*молотковые и роторные*) используют в основном на второй и третьей стадиях дробления. Они отличаются небольшой массой и габаритами, простотой конструкции. Главный их недостаток – быстрый износ рабочей поверхности при измельчении прочных пород, поэтому они предназначены, в основном, для измельчения пород с прочностью до 120...150 МПа. С увеличением скорости вращения ротора резко возрастает количество мелкой фракции (0...5 мм), поэтому молотковые дробилки часто применяют при получении минеральных порошков, известковой муки, дробленых песков.

Грохочение – разделение материала до или после дробления по фракциям. Различают три вида грохочения: *предварительное, контрольное и окончательное*.

При *предварительном грохочении* из материала отделяют мелкие фракции, которые на данной стадии не нуждаются в измельчении.

Контрольное грохочение позволяет отделить негабаритные куски, которые подлежат возврату обратно на дробление.

Окончательное грохочение – это разделение (фракционирование) дробленого материала на отдельные фракции по крупности, для получения наиболее

качественных фракционированных материалов (песка, щебня, гравия).

В качестве рабочего органа для фракционирования могут использоваться решета, сита или колосники.

На предприятиях нерудных материалов для грохочения чаще всего применяют плоские вибрационные грохоты, основной рабочей частью которых являются сита или решетки и барабанные грохоты (рис. 3.3).

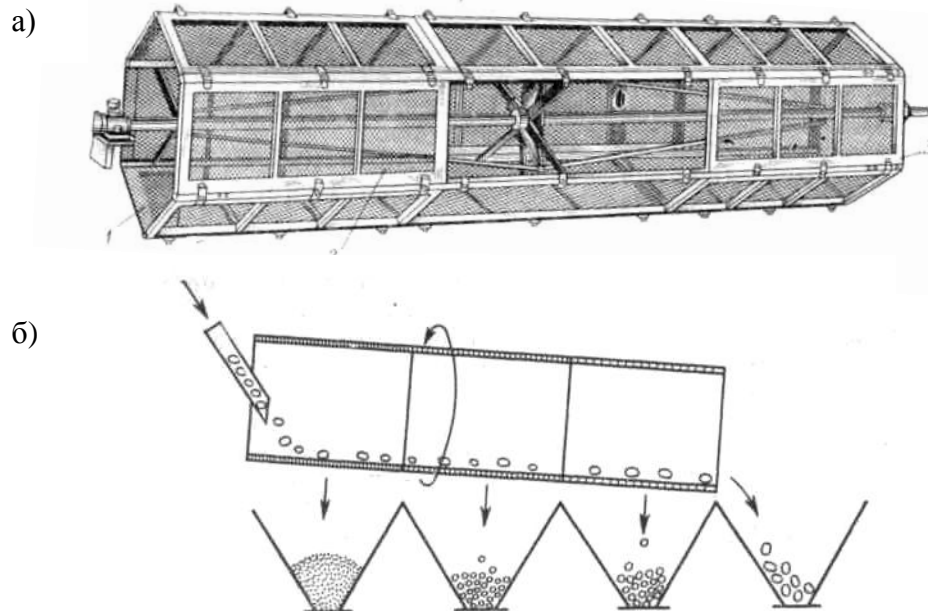


Рис. 3.3. Вращающийся барабанный грохот (сито-бурат):
а) внешний вид, б) схема работы

Из новых типов грохотов следует отметить резонансные, валково-роликовые, дуговые для разделения пульпы. В грохотах с несколькими плоскими ситами применяют схемы грохочения от крупного к мелкому (рис. 3.4, а), при котором сначала выделяются крупные, а затем мелкие фракции и грохочение от мелкого к крупному (рис. 3.4, б).

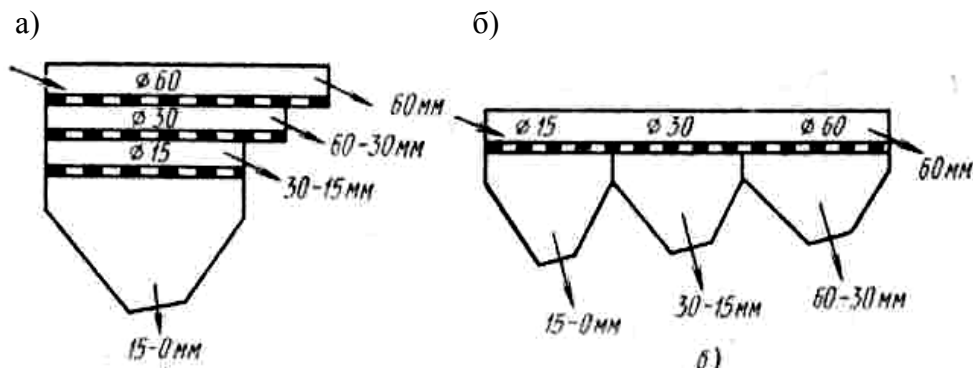


Рис. 3.4. Схемы грохочения:
а) от крупного к мелкому; б) от мелкого к крупному

Качество грохочения характеризуется эффективностью грохочения и производительностью грохота (т/ч с 1 м² поверхности сита). Наиболее эффективно мокрое грохочение, оно протекает в 1,2...3,5 раза быстрее сухого.

Промывка служит для удаления из материала глины, ила, пыли, частиц слюды.

По трудности промывки горные породы разделяются: на легкопромываемые (требуемое время промывки 2...3 мин); среднепромываемые (3...6 мин); труднопромываемые (более 6 мин).

Для промывки нерудных материалов применяют различные по конструкции и принципу действия машины. Наибольшее распространение получили крытообразные горизонтальные и наклонные лотки, имеющие высокую производительность и эффективность отмытки. Кроме того, промывку песков осуществляют также в механических и гидравлических классификаторах с одновременным разделением песка по фракциям. В настоящее время наибольшее распространение для промывки нерудных материалов получило оборудование, представленное на рис. 3.5...3.8.

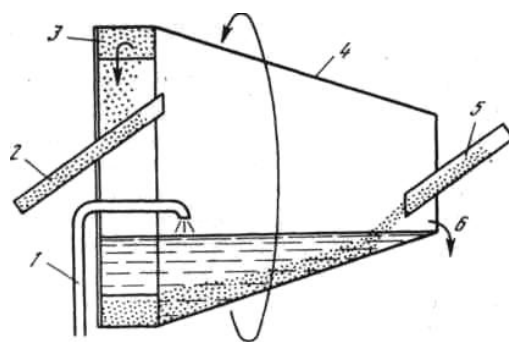


Рис. 3.5. Пескомойка:

- 1 – трубопровод для подачи воды; 2 – лоток для выгрузки промытого песка; 3 – кольцевой элеватор; 4 – конусный барабан; 5 – лоток для загрузки песка; 6 – слив загрязненной воды

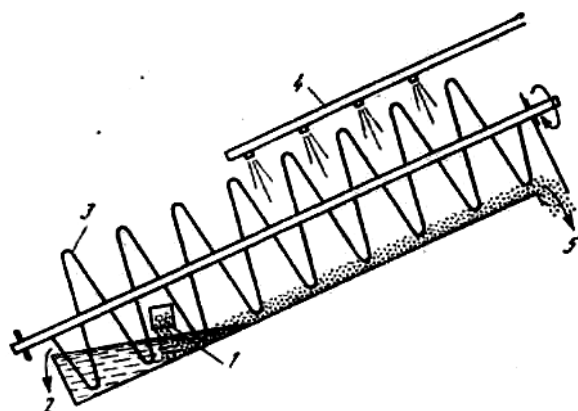


Рис. 3.6. Спиральный классификатор:

- 1 – загрузка песка; 2 – слив загрязненной воды; 3 – вращающаяся спираль (шнек); 4 – подача воды; 5 – выгрузка промытого песка

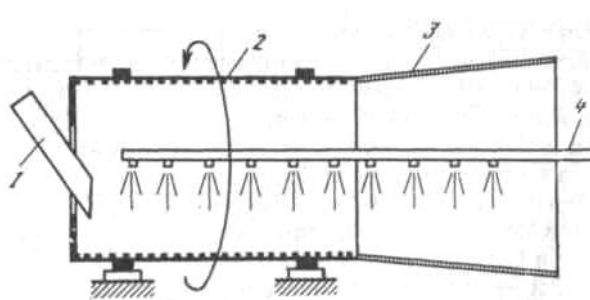


Рис. 3.7. Барабанная мойка:

1 – загрузочный лоток; 2 – барабан со стальными шипами;
3 – сетчатая часть; 4 – подача воды

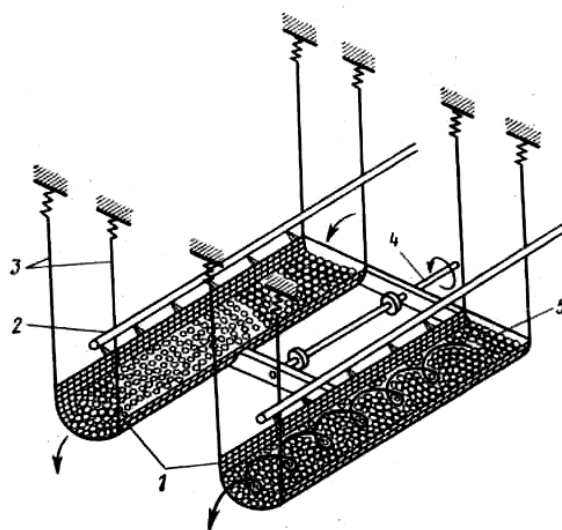


Рис. 3.8. Вибромойка:

1 – перфорированные желоба; 2 – подача воды; 3 – пружинные подвески;
4 – вибратор; 5 – загрузка щебня (гравия)

В целом промывка нерудных строительных материалов осуществляется с помощью оборудования, работающего по принципам:

- механического перемешивания в водной среде, в результате чего глина диспергируется и переходит в водную суспензию;
- разрушения глины, которое происходит под действием высоконапорной струи воды;
- диспергирования за счет ультразвуковых и звуковых колебаний, электрогидравлического эффекта, электрофореза, самодиспергации.

В настоящее время наибольшее распространение для промывки нерудных материалов получили:

- *наклонные лопастные двухвальные корытные мойки;*
- *барабанные промывочные машины,* в которых промывка ведется путем перетирания глины кусками промываемого материала при вращении барабана о стенки барабана и за счет лопастей;
- *вибрационные промывочные машины,* работающие по принципу комби-

нированного воздействия трения, вибрации и взаимного соударения кусков между собой и о стенки короба;

- *гидравлические классификаторы* предназначены для одновременной промывки и разделения песков по фракциям. Принцип их действия основан на использовании разницы оседания разновеликих частиц в воде. По принципу действия различают *гравитационные с восходящей струей* и *центробежные* классификаторы.

Обезвоживание. После промывки или гидравлической классификации материал имеет высокую влажность, что затрудняет его транспортировку, дозировку, он способен замерзнуть в зимнее время. В связи с этим перед складированием материал обезвоживают. Чем мельче материал, тем больше его удельная поверхность и тем влага прочнее удерживается капиллярными и адсорбционными силами и труднее удаляется.

Для обезвоживания нерудных материалов применяют следующие способы:

- *дренирование*, то есть стекание воды из крупнокусковых материалов под действием силы тяжести. При использовании этого способа в летнее время за 2...3 суток влажность щебня снижается до 5...7 %, а песка – до 7...10 %. Такой способ обезвоживания возможно осуществить на складских площадках, в бункерах, в движущихся элеваторах, с помощью дренирования на грохотах с использованием вибрации;

- *сгущение* – осаждение из пульпы твердых частиц под действием силы тяжести или центробежных сил. Этот процесс проводят в отстойниках. Этот способ наименее эффективен и используется в основном для уменьшения объема транспортируемой пульпы;

- *фильтрование* – выделение из пульпы влаги отсасыванием через пористые перегородки или сетки тканей. При этом способе используют барабанные, дисковые и ленточные вакуум-фильтры;

- *сушка* – удаление влаги из материала испарением. Это самый надежный прием обезвоживания практически до любой требуемой величины. Различают естественную (на открытом воздухе) и искусственную сушку (в барабанных сушилках).

Обогащение нерудных строительных материалов. Рассмотренные выше технологические операции (грохочение, промывка, обезвоживание) одновременно способствуют и обогащению, и повышению качества материалов. Существуют и специальные способы обогащения, главные из которых представлены ниже.

Избирательное дробление основывается на более интенсивном разрушении при дроблении слабых кусков, отсев которых позволяет собрать куски щебня повышенной прочности. Этот процесс чаще всего реализуется с помощью щековых дробилок, дробилок ударного действия, конусных дробилок, дезинтеграторов, барабанных дробилок, роторных дробилок. Роторные дробилки одновременно обеспечивают улучшенную форму зерен щебня.

Грануляция обеспечивает обогащение высокопрочного щебня по форме.

Грануляцию ведут в дробилках-грануляторах, отличающихся от обычных дробилок тем, что они работают с постоянно переполненной рабочей камерой, что значительно сокращает образование зерен плоской (лещадной) формы. Этот способ обогащения часто называют обогащением щебня по форме.

Обогащение в тяжелых средах заключается в разделении неоднородных по средней плотности зерен материала на фракции в среде, плотность которой имеет промежуточное значение между средними плотностями зерен материала. Тяжелые фракции оседают, а легкие всплывают, что позволяет легко их разделить. Разделение материала в тяжелых средах производят в специальных сепараторах – конусных, барабанных и др. (рис. 3.9).

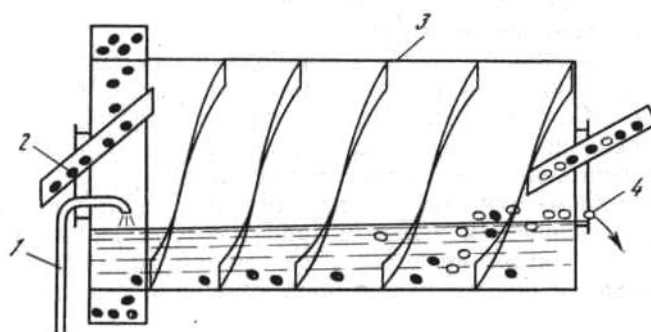


Рис. 3.9. Барабанный сепаратор для разделения материалов в тяжелых средах:

1 – подача суспензии; 2 – тяжелая фракция; 3 – барабан; 4 – легкая фракция

Обогащение щебня по упругости и трению. Этот способ обогащения заключается в разделении материала на фракции по прочности, по величине упругого отскока от твердой поверхности или различия в условиях скольжения по этой поверхности (рис. 3.10).

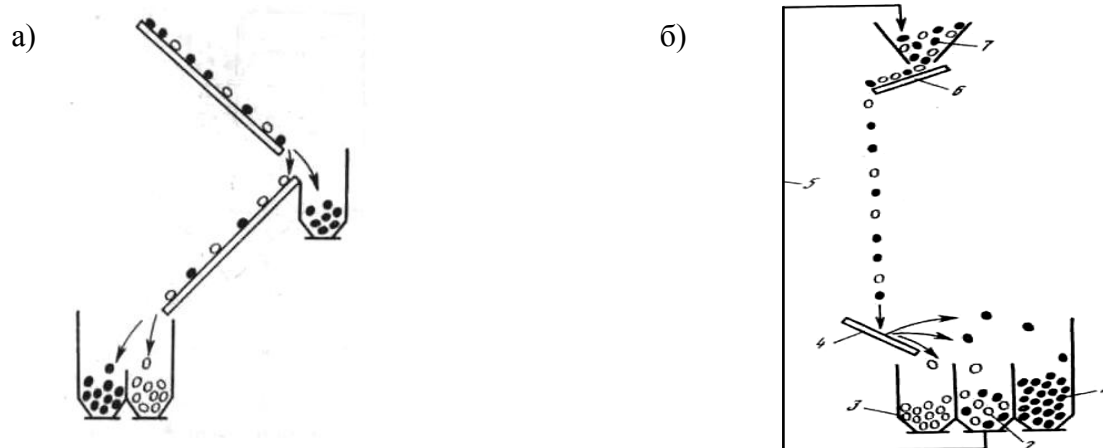


Рис. 3.10. Схемы разделения гравия:

а) по скорости движения зерен; б) по упругим свойствам зерен;

1 – обогащенный гравий высокого качества; 2 – промежуточный класс;

3 – гравий низкого качества; 4 – упругая плита; 5 – возврат на повторное разделение;

6 – питатель; 7 – исходный бункер

Складирование. Главная цель складирования – создание необходимых запасов материала и условий, при которых сохраняется его высокое качество и уменьшаются потери.

Различают следующие типы складов: готовой продукции, резервный и отходов производства.

Емкость складов готовой продукции принимают из расчета 7...15 суточного запаса. Резервные склады предназначены для исключения срывов работы при кратковременных остановках карьерных механизмов (1...3 суток запаса).

В зависимости от *вида транспорта* доставки различают склады:

- прирельсовые (железная дорога);
- притрассовые (автосамосвалы, подвесные канатные дороги);
- береговые – с доставкой материала баржами.

По *способу хранения* различают склады:

- открытые – штабельные, конусные, штабельно-траншейные, штабельно-эстакадные;
- закрытые – полубункерные, бункерные, силосные.

Тип склада должен гарантировать бесперебойную круглосуточную работу карьера. Необходимо обеспечить раздельное хранение заполнителей по видам, фракциям и сортам в отдельных местах.

Полубункерные, бункерные и силосные склады обеспечивают высокое качество хранения и наиболее экономичны. Здесь значительно выше показатель использования площади (для полубункерных до 75 %, для силосных – 90 %), меньше удельные капиталовложения и численность обслуживающего персонала.

3.4.4. Технологические схемы заводов по производству нерудных строительных материалов

В зависимости от вида перерабатываемого сырья и выпускаемой продукции различают следующие типы заводов нерудных строительных материалов:

- дробильно-сортировочные – для переработки горных пород в щебень;
- гравийно-сортировочные – для переработки валунно-гравийно-песчаных смесей в гравий, щебень и песок;
- заводы обогащенного песка для переработки природного песка в песок классифицированный по фракциям;
- заводы для получения искусственного дробленого песка.

Выбор конкретной технологии определяется характером перерабатываемой горной массы, заданной номенклатуры готовой продукции и типом применяемого оборудования, возможностью обеспечения варьирования объема и номенклатуры готовой продукции при минимально возможных капитальных и эксплуатационных затратах.

Схема дробильно-сортировочного завода приведена на рис. 3.11.

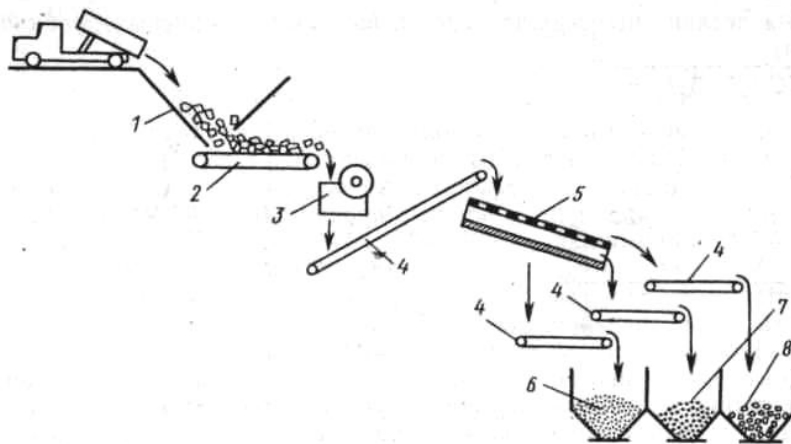


Рис. 3.11. Технологическая схема дробильно-сортировочного завода:
 1 - приемный бункер; 2 - питатель; 3 - дробилка; 4 - транспортеры;
 5 – грохот; 6, 7, 8 – бункера для мелкого, среднего и крупного продуктов дробления

3.4.5. Способы обработки поверхности изделий из природного камня

Штучные стеновые камни, блоки и облицовочные (декоративные) изделия из горных пород с лицевой поверхности подвергают соответствующей обработке. При этом под обработкой камня следует понимать совокупность технологических процессов, направленных на придание ему заданных формы, размеров и фактуры лицевой поверхности. Любой из этих процессов связан с направленным разрушением камня. Выбор способа такого разрушения зависит от технологических свойств, состава, структуры горной породы и требований к качеству готовой продукции.

Процессы обработки природного камня делят на традиционные механические и новые немеханические способы: к первым относят ударную обработку (скалывание) и абразивную (резку, шлифование и др.); ко вторым - термообработку, ультразвуком, плазменную резку, разрушение и оплавление лазером, токами высокой частоты и др. В общем случае обработку ведут по следующей схеме: приближенная обработка по форме и размерам (пассировка) → точная обработка по форме и размерам в цехах камнеобрабатывающих предприятий → фактурная обработка лицевой поверхности изделий.

Современные способы фактурной обработки лицевой поверхности природного каменного материала позволяют наиболее полно раскрыть его эстетические свойства, при этом одновременно порой решаются и вопросы защиты природного камня от вредного воздействия окружающей среды.

Ударные фактуры, получаемые обработкой поверхности механизированными, реже ручными ударными инструментами, различают по характеру обработки поверхности и высоте получаемого рельефа: скальная (или фактура скалы) – более 50 мм; бугристая – более 5 мм до 15 мм; рифленая и бороздчатая – 1...3 мм; точечная (кованая) – 0,5...2 мм.

Абразивные (гладкие) фактуры получают механизированным способом

– распиловкой, фрезерованием и истиранием поверхности с применением абразивных материалов (шлифованием и полированием).

Матовая гладкая поверхность может быть получена обработкой камня ультразвуком в водной среде. Шероховатую, рифленую и бороздчатую фактуры можно получить термообработкой или лазерной обработкой. Разновидности фактур, характеристики лицевой поверхности материала и способы обработки поверхности представлены на рис. 3.12 [13].

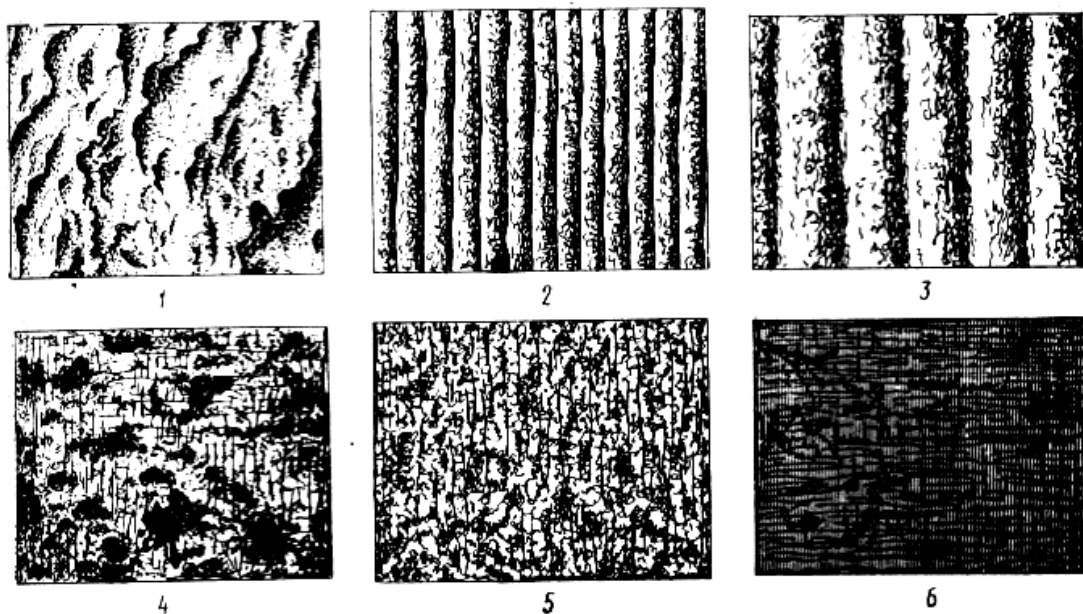


Рис. 3.12. Виды фактуры камня:
1 – скальная; 2 – рифленая; 3 – бороздчатая;
4 – бугристая; 5 – точечная; 6 – грубошлифованная

Для нанесения рисунков и надписей на полированную поверхность укрепляют металлический шаблон с вырезанным рисунком или надписью и незащищенные шаблоном места лицевой поверхности обрабатывают струей кварцевого песка с помощью пескоструйного аппарата.

Шлифовку поверхности производят на шлифовальных станках с помощью чугунных брусков или дисков с подсыпкой стального или корундового порошка.

Абразивы или материалы, служащие для резки, шлифовки и полировки, могут быть природными и искусственными. Природные абразивы – кварц, корунд, наждак, алмаз; искусственные – карборунд, алунд, стальмасса. Работа по шлифовке и полировке состоит из последовательных операций: обдира, шлифовки, лощения (тонкая шлифовка), мастиченья и полировки. Обдир ведут мокрым способом при помощи отходов стальмассы. При этом поверхность камня смазывают стальмассой, шлифуют зерновым абразивом (корундом или карборундом) с периодическим увлажнением. Окончательную обработку ведут пемзой или карборундовым бруском.

Тонкую шлифовку производят тонким зерновым абразивом. После лоще-

ня перед полировкой поверхность изделия мастичат путем закрытия мелких дефектов щелочной мастикой горячим способом. Полировка достигается с помощью полирующих порошков при помощи войлочных полировальных дисков. В качестве полирующих порошков применяют окись олова, окись железа, свинцовые опилки, азотнокислое золото и др.

3.5. Разновидности материалов из природного камня и основные требования к ним

Природные каменные материалы используют для производства целого ряда конструкционных материалов как без достаточной последующей обработки (песок, гравий), так и с использованием соответствующей обработки.

Обломочные осадочные горные породы образовали залежи песка и гравия – самых доступных, дешевых и широко применяемых заполнителей для производства конструкционных строительных материалов.

Пески с содержанием кварца от 60 до 95 % называют кварцевыми, а с содержанием зерен полевого шпата до 50 % – кварцево-полевошпатными, при большем содержании полевых шпатов – полевошпатными.

Пески, перенесенные водой (речные, озерные, морские), более или менее однородны по гранулометрии, промыты, имеют окатанную форму. Песок и гравий горные (овражные) образованы ледниками, не отсортированы, часто залегают в виде песчано-гравийных смесей, загрязнены глинистыми примесями. Ветровая энергия образовала дюнные и барханные пески.

Пески подразделяются: на природные, дробленые, гранулированные и из отсеков дробления. Размеры зерен песка колеблются от 0,16 до 5 мм. Качество песка для строительных работ оценивают зерновым и минералогическим составом, насыпной плотностью, плотностью зерен, межзерновой пустотностью, модулем крупности (M_k), содержанием глинистых, пылевидных и илистых частиц и др.

Если песок не удовлетворяет по зерновому составу, то применяют обогащенные или фракционированные пески. В качестве укрупняющей добавки в мелкие пески вводят крупную фракцию дробленых песков или высевок. Содержание глинистых, илистых и пылеватых частиц в песках не должно превышать 3 % в природном песке, 2 % - в дробленном и 5 % - в дробленном песке из отсеков дробления.

При производстве дробленых песков предел прочности изверженных и метаморфических пород должен быть не менее 50 МПа, а осадочных – не менее 40 МПа. Прочность конструкционных материалов при использовании дробленых песков выше, чем при использовании природных в силу лучшего сцепления с вяжущим материалом.

Гравием называют каменные обломки пород крупностью от 5 (иногда 3) до 70 (80) мм. Преобладающими породами, из которых состоят зерна гравия, являются граниты, гнейсы, диабазы, известняки, песчаники. Из-за недостаточного сцепления гравий не применяется в бетонах с пределом прочности выше

30 МПа. Крупные фракции гравия используют для дробления на щебень.

Прочность гравия характеризуют его маркой, определяемой по дробимости при сжатии в цилиндре. Кроме того, определяют марку гравия по истираемости в полочном барабане. Марка гравия по дробимости колеблется от Др-8 до Др-24, а по истираемости от И-I до И-IV.

Важными показателями качества гравия являются морозостойкость (от 15 до 30 циклов), содержание глинистых и пылеватых частиц (до 3 % по массе), содержание слабых пород (от 5 до 15 % по массе).

Гравий применяют для строительства покрытий переходного типа, оснований дорог, дренажных водоотводных сооружений, как крупный заполнитель в цементо - и асфальтобетонах.

Щебень получают дроблением каменных пород. Сырьем для получения щебня являются в основном изверженные и осадочные горные породы: гранит, габбро, диабаз, базальт, известняки, доломиты. Щебень для строительства делят по размеру зерен:

гигантский –	150...70 мм;
крупный –	70...40 мм;
средний –	40...20 (25) мм;
мелкий –	20 (15)...10 (15) мм;
клинец –	10 (15)...5 мм;
высевки –	< 5 мм.

Качество щебня определяют путем изучения внешних признаков и испытания отобранных проб. При этом определяют петрографические признаки; зерновой состав, форму зерен; шероховатость поверхности; плотность зерен; среднюю плотность; пустотность; морозостойкость; водопоглощение; прочность при расколе, ударе, раздавливании в цилиндре; износ.

По форме зерен щебень подразделяется на три группы: *обычный* (до 35 % зерен лещадной и игловатой форм); *улучшенный* (до 25 %) и *кубовидный* (до 15 %).

Марку щебня по прочности устанавливают по показателю раздавливания щебня в водонасыщенном состоянии в цилиндре. Так, минимальному показателю дробимости щебня из магматических пород Др-12 соответствует марка щебня по прочности 1400, а для максимального показателя Др-25 – этот показатель – 600.

По прочности различают щебень:

очень прочный –	> 1200...1400;
прочный –	800...1200;
средней прочности –	600...800;
слабый –	300...600;
очень слабый –	200.

Щебень используют самостоятельно для строительства щебеночных слоев, как заполнитель в цементо – и асфальтобетонах [7].

Бутовый камень (бут) (рис. 3.13) получают посредством отделения кусков породы взрывом или применяя ударный инструмент (перфораторы, кирки,

ломы). Лучшими для получения бута являются плитовидные и слоистые породы. Бутовый камень имеет неправильную форму и различные размеры, но не более 50 см по наибольшему измерению. По форме бут бывает постелистый, лещадный и рваный. Прочность бутового камня должна быть не ниже 20 МПа. Размеры в поперечнике – 150...500 мм, масса – 20...40 кг.

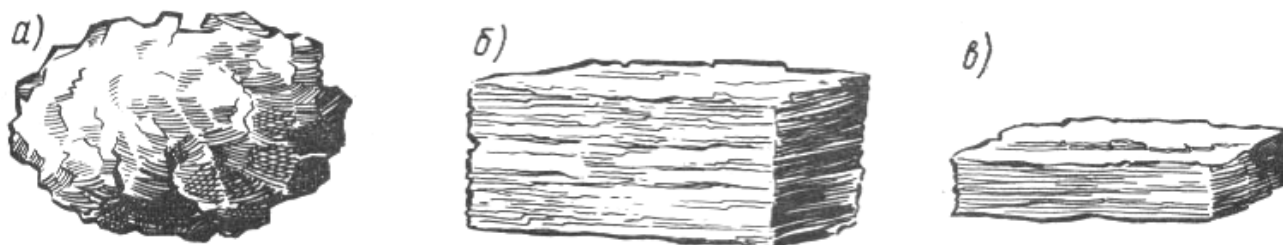


Рис. 3.13. Бутовый камень:
а – рваный; б – постелистый; в – лещадный

Бутовый камень применяют для кладки фундаментов, мостовых устоев, укрепления откосов насыпей, кладки подпорных стен.

Шашка каменная для мощения дорог (рис. 3.14) представляет собой грубоколотые камни неправильной формы, приближающейся к призме или усеченной пирамиде. Верхняя (лицевая) сторона шашки должна иметь форму четырехугольника или многогранника. По размеру шашку делят на высокую (высота 16...20 см), среднюю (14...18 см) и низкую (12...16 см). Шашку используют для обыкновенного и рядового мощения дорог.

Брусчатка – колотые и тесаные бруски камня, приближающиеся по форме к параллелепипеду (рис. 3.15). Лицо и постель брусчатки параллельны, а боковые грани несколько суживаются книзу. По размерам брусчатку делят на 3 сорта. Применяют брусчатку для мощения дорог.

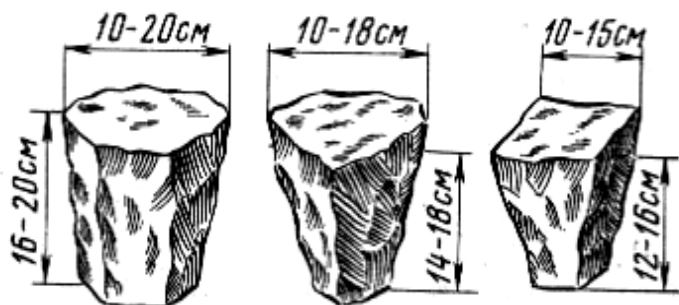


Рис. 3.14. Шашка для мощения

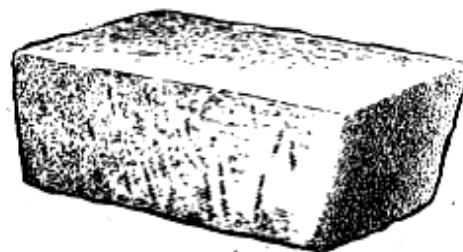


Рис. 3.15. Брусчатка

Бортовые камни представляют собой параллелепипедальные бруски длиной от 70 до 200 см с наклонной или вертикальной лицевой гранью. Они могут быть прямоугольные и криволинейные (рис. 3.16). Верхняя часть бортовых камней обтесана чисто, а нижняя – грубо. Бортовые камни по размерам могут быть: низкие – 30 см и высокие – 40 см с шириной поверху 10, 15 и 25 см. Бортовые камни служат для отделения проезжей части дорог от тротуаров, обочин, для устройства газонов в городских условиях.

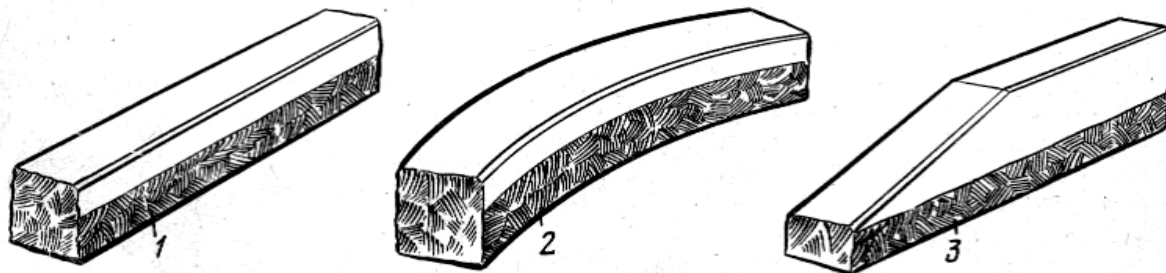


Рис. 3.16. Бортовой камень:
1 – прямой; 2 – лекальный; 3 – для съездов

Плиты парапетные и карнизные для набережных, мостов изготавливают следующих размеров: парапетные – 100...200×90×20...30 см, карнизные 100...200×50×20...30 см.

Плиты тротуарные изготавливают из сланцевых или слоистых горных пород. По форме эти плиты приближаются к квадрату или прямоугольнику. Размеры плит составляют 20...80×4...5×12...15 см.

Стеновые камни и блоки – это каменные материалы правильной геометрической формы, изготовленные из известняков, туфов и других горных пород. Масса камней может достигать 40...45 кг. Блоки отличаются от камней большими размерами и массой (более 100 кг). По способу изготовления блоки и камни делят на пиленные, колотые и тесаные (рис. 3.17).

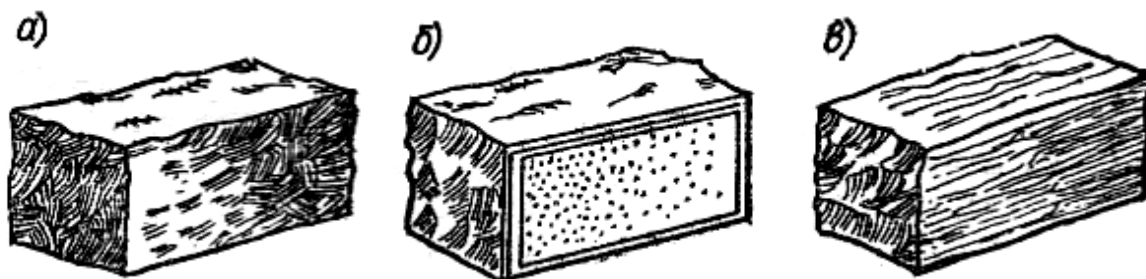


Рис. 3.17. Стеновые камни:
а – колотый; б – тесаный, в – пиленный

Средняя плотность горных пород, используемых для изготовления камней и блоков, 800...1800 кг/м³. Размеры стеновых камней 39×19×19; 39×19×29; 49×24×19 см и др.; размеры блоков колеблются от 90×50×90 до 260×130×130 см. По себестоимости 1 м³ природного пиленого стенового камня в среднем в 2 раза ниже 1 м³ кирпича, а удельные капитальные вложения на производство меньше в 2...2,5 раза. Применяют камни и блоки для кладки стен, а колотые из них – для фактурной кладки цоколей и стен монументальных зданий.

Облицовочные материалы из природного камня – это широкая номенклатура плит, плиток, фасонных и профильных элементов наружной и внутренней облицовки. Лицевая поверхность облицовочных материалов может иметь самую разнообразную фактуру.

Плиты для наружной облицовки изготавливают из твердых пород: гранита, габбро, кварцита, сиенита и др., а также из мрамора, известняка, туфа, доломита. Все облицовочные материалы изготавливают способом распиливания или раскалывания блоков-полуфабрикатов с последующей обработкой поверхности и кромок. Плиты для облицовки стен выпускают шириной до 400...600 мм и длиной до 1 м. Для устройства лестниц, полов используют плитки, изготовленные из твердых пород, с показателем истираемости не ниже 0,5 г/см².

Кровельные плитки (природный шифер) изготавливают из глиняного сланца раскалыванием с последующей обрезкой. Форма плитки – прямоугольная или ромбическая. Максимальный размер плиток 350×600 мм, толщина 4...8 см. Кровельные плитки обладают высокими эксплуатационными свойствами. Используют такие плитки для устройства кровель, реже – для устройства тротуаров и полов.

Плиты для дорожного строительства включают в себя плиты для подземного и дорожного строительства. Такие материалы должны обладать высокой прочностью, морозостойкостью, атмосферно – и химической стойкостью. Прочность на сжатие их не ниже 100 МПа, морозостойкость – не ниже 100 циклов.

3.6. Предохранение каменных материалов от разрушения в конструкциях

Основные причины разрушения каменных материалов в конструкциях и облицовке зданий и сооружений – действие атмосферных осадков, влаги, газов, пыли, резкие изменения температур, замерзание воды в порах, действие ветра, воздействие химических веществ и др. Наиболее стойки против разрушения (коррозии) мелкозернистые, однородные по структуре горные породы (например, граниты, сиениты и др.).

Нередко причиной разрушения материала могут быть микротрещины, образующиеся при добыче и обработке каменного материала. Полиминеральные породы порой разрушаются от сильных морозов и солнечного нагрева вследствие различных коэффициентов линейного расширения породообразующих минералов. Карбонатные породы (известняки, мраморы, доломиты) разрушаются под действием воды, содержащей кислотные соединения. Возможно и биологи-

ческое разрушение камня мхами и лишайниками в порах.

Для защиты конструкций из природного камня применяют два способа защиты: конструкционный и химический.

Первый предусматривает защиту конструкций от увлажнения путем обеспечения отвода стока воды, а также придания поверхности конструкции гладкости (полировка, шлифовка).

Химический способ защиты заключается в том, что для повышения стойкости материала на его поверхности и внутренней поверхности пор создают плотную, прозрачную водонепроницаемую пленку, практически не растворимую в воде. Разновидностью этого способа является флюатирование или кремнефторизация поверхности, а также гидрофобизация путем пропитки пористого камня водоотталкивающими жидкостями. Флюатированию подвергают известняки, мрамор, доломит. В качестве флюатов используют соли магния, цинка, алюминия и др. Если пористый материал не относится к карбонатному, то перед флюатированием его поверхность обрабатывают хлористым кальцием. При гидрофобизации применяют кремнеорганические жидкости (ГКЖ, пасты, растворы парафина, стеарина в бензине, лаковом керосине).

При силикатировании поверхность обрабатывают раствором растворимого стекла с последующим введением кремнефтористого натрия или окиси свинца.

Наиболее простым способом защиты каменных материалов от коррозии является покрытие поверхности камня бесцветными или цветными пленкообразующими полимерными материалами. Разновидностью этого способа защиты является промывка поверхности камня раствором мономера с последующей полимеризацией мономера в порах камня при термокаталитической или радиационной обработке.

Долговечность хорошо защищенного от коррозии (выветривания) каменного материала может достигь 500...1000 лет и более.

Контрольные вопросы

1. Представьте классификацию строительных материалов из природного камня.
2. Представьте генетическую классификацию горных пород. Укажите особенности происхождения горных пород.
3. В какой последовательности происходит оценка качества горных пород?
4. Как производятся технологические процессы при добыче природного камня?
5. Охарактеризуйте процессы обогащения нерудных строительных материалов: дробление, грохочение, промывку.
6. Охарактеризуйте процессы обогащения нерудных строительных материалов: обезвоживание, специальные способы обогащения, складирование.
7. Представьте технологические схемы заводов по производству нерудных строительных материалов.
8. Укажите основные виды строительных материалов из природного камня и требования к ним.

РАЗДЕЛ 4

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

4.1. Общие сведения

Древесина относится к одному из весьма распространенных строительных материалов с многовековым опытом применения. Этому способствует то, что древесина является самовосстанавливающимся материалом.

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

Древесные породы подразделяются на две группы: *хвойные* и *лиственные*. К *хвойным породам* относят сосну, лиственницу, ель, пихту и кедр. Широкое применение этих пород в строительстве объясняется большой территориальной распространенностью, повышенным качеством древесины. *Лиственные породы* используются в строительстве значительно реже, чем хвойные. Это объясняется меньшей их распространенностью, большей кривизной стволов. Среди многообразия лиственных пород наибольшее применение в строительной практике имеют дуб, ясень, бук, береза, осина.

Широкое применение в строительстве древесина получила благодаря целому комплексу положительных свойств: высокой прочности при небольшой средней плотности; малой теплопроводности; высокой морозостойкости и сопротивляемости действию химических реагентов; легкости обработки.

Вместе с тем древесина обладает и отрицательными свойствами, ограничивающими область ее применения. К числу недостатков древесины можно отнести неоднородность (анизотропность) строения; наличие пороков; гигроскопичность, приводящую к изменению размеров древесины, короблению и растрескиванию; способность к загниванию и возгоранию.

Сегодня из древесины наряду с традиционными материалами (круглый лес, доски, брусья, шпалы и др.) изготавливают сборные дома и клеенные конструкции. Отходы от переработки древесины (горбыль, стружки, опилки) путем хорошо освоенной технологии превращают в древесноволокнистые, древесностружечные изделия, фанеру и др.

4.2. Строение и состав древесины

Растущее дерево состоит из корневой системы, ствола и кроны. Промышленное значение имеет ствол, так как из него получают от 60 до 90 % древесины.

Обычно изучают три основных разреза ствола (рис. 4.1): поперечный (торцевой), радиальный, проходящий через ось ствола, и тангенциальный, проходящий по хорде вдоль ствола.

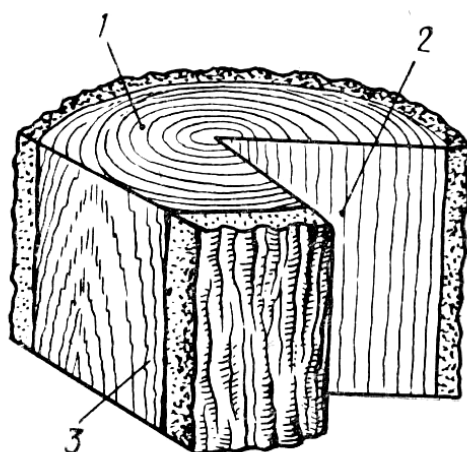


Рис. 4.1. Разрезы ствола древесины:
1 – поперечный (торцовый); 2 – радиальный;
3 – тангенциальный

При изучении древесины различают макроструктуру и микроструктуру.

Макроструктурой называют строение дерева и древесины, видимое невооруженным глазом или через лупу. При рассмотрении разрезов ствола различают его следующие основные части: кору, камбий, древесину и сердцевину (рис. 4.2).

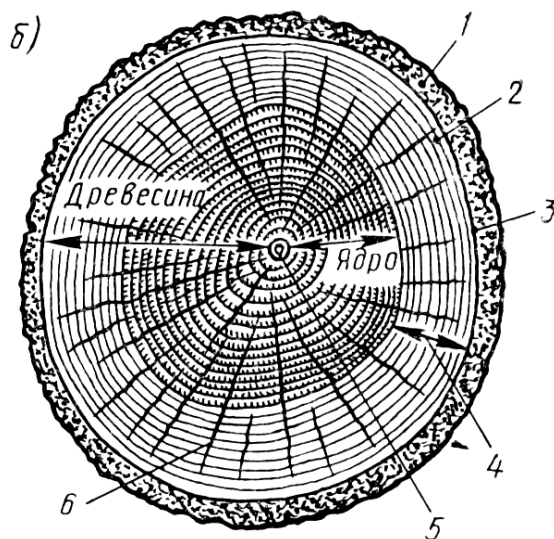


Рис. 4.2. Строение ствола дерева на поперечном разрезе:
1 – кора; 2 – камбий; 3 – луб;
4 – заболонь; 5 – сердцевина;
6 – сердцевинные лучи

Кора состоит из кожицы, или корки, пробковой ткани и луба. Корка, или кожица, и пробковая ткань защищает дерево от вредных влияний среды и механических повреждений. Луб проводит питательные вещества от кроны в ствол и корни.

Под лубяным слоем у растущего дерева располагается тонкий кольцевой слой живых клеток – *камбий*. Ежегодно камбий откладывает в сторону коры клетки луба и внутрь (в значительно большем объеме) клетки древесины. Деление клеток камбиального слоя начинается весной и заканчивается осенью.

Поэтому *древесина* ствола (часть ствола от луба до сердцевины) в поперечном разрезе состоит из ряда концентрических, так называемых годовичных колец, располагающихся вокруг сердцевины.

Каждое годовичное кольцо состоит из двух слоев: ранней (весенней) древесины, образовавшейся весной или в начале лета, и поздней (летней) древесины, которая образуется к концу лета. Ранняя древесина светлая и состоит из крупных, но тонкостенных клеток; поздняя древесина более темного цвета, менее пориста и обладает большей прочностью, так как состоит из мелкополостных клеток с толстыми стенками.

В процессе роста дерева стенки клеток древесины внутренней части ствола, примыкающей к сердцевине, постепенно изменяют свой состав и пропитываются у хвойных пород смолой, а у лиственных – дубильными веществами. Движение влаги в древесине этой части ствола прекращается и она становится более прочной, твердой и менее способной к загниванию. Эту часть ствола, состоящую из мертвых клеток, называют ядром, или спелой древесиной.

Часть более молодой древесины ствола, расположенная ближе к коре, в которой еще имеются живые клетки, обеспечивающие перемещение питательных веществ от корней к кроне, называют заболонью. Эта часть древесины имеет большую влажность, относительно легко загнивает, малопрочна, обладает большой усушкой и склонностью к короблению.

Породы, у которых ядро отличается от заболони более темной окраской и меньшей влажностью, называют *ядровыми* (сосна, лиственница, дуб, кедр). Породы, у которых центральная часть отличается только меньшей влажностью, называют *спелодревесными* (ель, пихта, бук, липа). Древесные породы, у которых нельзя заметить значительного различия между центральной и наружной частями древесины ствола, носят название *заболонные породы* (береза, клен, ольха, осина).

В древесине всех пород располагаются сердцевинные лучи, которые служат для перемещения влаги и питательных веществ в поперечном направлении и создания запаса этих веществ на зимнее время. У хвойных пород они обычно очень узки и видны только под микроскопом. Древесина легко раскалывается по сердцевинным лучам, по ним же она растрескивается при высыхании.

Микроструктуру древесины можно увидеть под микроскопом. Основную массу древесины составляют клетки веретенообразной формы, вытянутые вдоль ствола. Некоторое количество клеток вытянуто в горизонтальном направлении, то есть поперек основных клеток (клетки сердцевинных лучей).

Одинаковые по форме и функциям группы клеток объединяются в ткани, имеющие различное назначение в жизни дерева: проводящие, запасные, механические (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Типы клеток древесины по выполняемым ими функциям [5, 13]

Типы клеток	Хвойные породы	Лиственные породы
Клетки проводящей ткани	Трахеиды весеннего слоя, веретенообразные клетки, вытянутые вдоль ствола, имеют широкую полость и тонкую стенку. Оболочки клеток имеют поры, через которые клетки сообщаются друг с другом	Крупные полые клетки, стенки которых пронизаны мелкими отверстиями, образуют древесные сосуды в виде овальных трубочек, идущих вдоль ствола
Клетки механической (опорной) ткани	Трахеиды летнего слоя имеют строение и форму, аналогичные трахеидам весеннего слоя, но более толстостенные и прочные	Узкие клетки, вытянутые в длину с заостренными концами и сравнительно толстыми оболочками, образуют древесные волокна, называемые либрифом. Эти элементы равномерно распределены по годичному слою, плотно соединены между собой, что и придает лиственным породам необходимую прочность
Клетки запасной ткани	Различают запасные клетки – древесную и лучевую паренхиму. Древесная паренхима состоит из тонкостенных клеток шаровидной или кубической формы, располагающихся в древесине вертикальными рядами; в них создается запас питательных веществ. Лучевая паренхима образована подобными же клетками и располагается горизонтальными рядами, образуя сердцевинные лучи, выполняющие запасные и проводящие функции	

Живая клетка имеет оболочку, протоплазму, клеточный сок и ядро. Срубленная древесина состоит из отмерших клеток, то есть только из клеточных оболочек.

Оболочки клеток сложены из нескольких слоев тонких волоконцев, называемых микрофибриллами, которые контактно уложены (сходство с канатом). Микрофибрилла состоит из длинных нитевидных цепных молекул целлюлозы - высокомолекулярного природного полимера $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n = 2500...3100$, со сложным строением макромолекул. Макромолекулы целлюлозы эластичны и сильно вытянуты.

В клеточной оболочке содержатся и другие природные полимеры – лигнин и гемицеллюлоза, которые размещаются преимущественно между микрофибриллами, а также небольшое количество неорганических веществ в виде солей щелочноземельных металлов.

Как по структуре, так и по физико-механическим свойствам древесина является природным композиционным материалом.

4.3. Свойства древесины

4.3.1. Физические свойства

Истинная плотность. Так как в составе всех древесных пород преобладает одно и то же вещество – целлюлоза, истинная плотность древесины примерно одинакова и составляет $1,54 \text{ г/см}^3$.

Влажность оказывает большое влияние на свойства древесины. По содержанию влаги различают сплавную, или мокрую, древесину (влажностью свыше 100 %), свежесрубленную (более 35 %), воздушно-сухую (15...20 %), комнатно-сухую (8...13 %) и абсолютно сухую (0 %).

Все показатели свойств древесины определяют при стандартной влажности 12 %.

При длительном хранении влажной древесины на воздухе она постепенно высыхает и достигает равновесной влажности. Равновесная влажность зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха.

Гигроскопичность. Древесина, имея волокнистое строение и большую пористость (30...80 %), легко сорбирует водяные пары из воздуха. Гигроскопичная влага покрывает поверхность мельчайших частиц в стенках клеток водными оболочками, увеличивая массу и объем древесины и снижая ее прочность.

Средняя плотность древесины разных пород и даже одной и той же породы зависит от строения и пористости растущего дерева, изменяющихся от климата, почвы, затененности и других природных условий. У большинства древесных пород в абсолютно-сухом состоянии средняя плотность меньше 1 г/см^3 .

С повышением влажности средняя плотность древесины увеличивается, поэтому для сравнения пород между собой этот показатель приводят к стандартной влажности 12 %.

Усушка и разбухание древесины вызывают коробление и растрескивание лесных материалов в результате испарения или поглощения влаги.

Вследствие неоднородного строения древесина усыхает в различных направлениях неодинаково. Вдоль волокон линейная усушка для большинства древесных пород не превышает 0,1 % (1 мм на 1 м), в радиальном направлении – 3...6 % (3...6 см на 1 м), а в тангенциальном – 7...12 % (7...12 см на 1 м). В результате этого боковые края досок стремятся выгнуться в сторону выпуклости годовых слоев, а наибольшему короблению подвержены доски, выпиленные из слоев, расположенных ближе к поверхности бревна, и широкие доски (рис. 4.3).

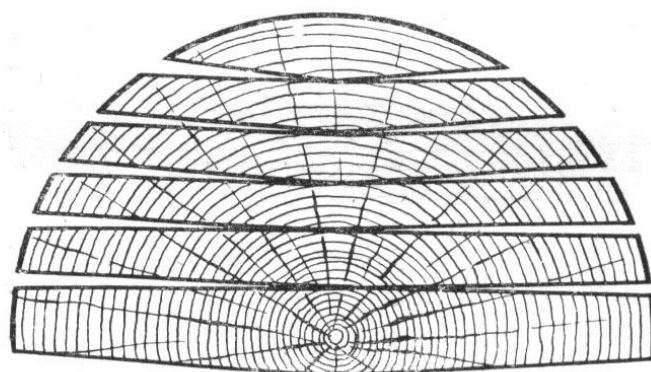


Рис. 4.3. Деформация досок при изменении влажности

Теплопроводность древесины зависит от ее пористости, влажности и направления потока теплоты. Например, теплопроводность сосны поперек волокон $0,17 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$, вдоль волокон – $0,34 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$.

Физические свойства древесины различных пород представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Физические свойства хвойных и лиственных пород древесины

Порода	Район произрастания	Плотность, кг/м^3				Пористость, %	Коэффициент объемной усушки, %	Среднее число годовых слоев в 1 см
		в абсолютно сухом состоянии	при стандартной влажности (12 %)	при 15 % влажности	свежесрубленной			
Хвойные породы								
Лиственница	Север европейской части страны	600	630	680	840	46...73	0,52	10
Сосна	Европейская часть страны	470	500	530	860	53...70	0,44	6
Ель	То же	420	445	460	790	62...75	0,43	12
Пихта	Урал	350	375	390	800	55...81	0,39	8
Кедр	Западная Сибирь	-	-	440	880	60...80	-	5
Лиственные породы								
Дуб	Европейская часть страны	650	690	720	1030	32...61	0,43	6
Ясень	То же	640	680	-	-	55...60	-	-
Бук	Кавказ	640	650	670	950	40...70	0,47	7
Береза	Европейская часть страны	600	640	650	880	50...61	0,54	5
Осина	То же	470	495	500	760	62...80	0,41	5
Липа	То же	470	495	-	-	50...70	0,49	-

4.3.2. Механические свойства

Прочность древесины зависит от многих факторов: от угла приложения нагрузки, от породы дерева, его средней плотности, пористости, наличия пороков и особенно от влажности в пределах 0...30 % (рис. 4.4). В связи с этим механические свойства древесины определяют на малых, чистых образцах (без видимых пороков). В отличие от других строительных материалов древесина делится на сорта путем тщательного осмотра и оценки имеющихся пороков.

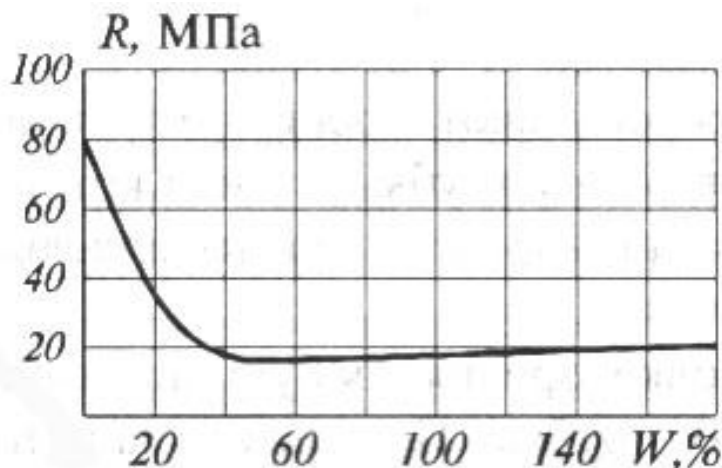


Рис. 4.4. Влияние влажности древесины на прочность при сжатии вдоль волокон

Прочность при сжатии определяют вдоль и поперек волокон на образцах размером $20 \times 20 \times 30$ мм. Прочность древесины при сжатии вдоль волокон в 3...6 раз больше, чем прочность поперек волокон.

Прочность древесины при растяжении вдоль волокон в 2...3 раза выше прочности при сжатии в этом направлении. Этот показатель для одной и той же породы мало изменяется от влажности, но существенно зависит от строения древесины (угла наклона волокон к направлению действующей силы) и особенно от наличия некоторых пороков.

Прочность при статическом изгибе древесины в 1,5...2 раза превышает прочность при сжатии вдоль волокон, но меньше, чем прочность при растяжении, и находится у различных пород в пределах 50...100 МПа. Поэтому древесина (балки, настилы и т.п.) чаще всего работают на изгиб.

Прочность древесины при скалывании и перерезании имеет важное значение при устройстве соединений из дерева (врубков, шпонок, клеевых швов, нагелей). При скалывании вдоль волокон прочность самих древесных волокон практически не нарушается и разрушение древесины происходит вследствие нарушения сцепления между волокнами. Предел прочности при скалывании вдоль волокон для основных древесных пород составляет 6,0...13,0 МПа, а при

скалывании поперек волокон – в 3...4 раза выше.

При испытании на перерезание внешние силы направлены перпендикулярно волокнам, поэтому сопротивление древесины перерезанию значительно больше (в 3...4 раза), чем скалыванию.

В связи с тем, что механические свойства древесины зависят от влажности, для сравнения результатов испытаний прочностные показатели при фактической влажности приводят к стандартной 12-процентной влажности.

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha(W - 12)], \quad (4.1)$$

где R_{12} , R_w – предел прочности образцов соответственно при 12 % и фактической влажности в момент испытаний, МПа;

W – влажность образцов в момент испытания, %;

α – коэффициент изменения прочности при изменении влажности на 1 % (при сжатии и статическом изгибе $\alpha = 0,04$, при скалывании $\alpha = 0,03$).

Основные механические свойства древесины хвойных и лиственных пород, применяемых в строительстве, приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Механические свойства древесины

Порода	Предел прочности, МПа, при влажности 12 %				
	Сжатие вдоль во- локон	Растяже- нии вдоль волокон	Статиче- ский из- гиб	Скалывание вдоль волокон	
				радиаль- ное	тангенци- альное
Хвойные породы					
Лиственница	65	125	112	9,9	9,4
Сосна	49	104	86	7,5	7,3
Ель	45	103	80	6,9	6,8
Пихта	39	67	69	6,4	6,5
Лиственные породы					
Дуб	58	123	108	10,2	12,2
Ясень	59	-	123	13,9	13,4
Бук	56	123	109	11,6	14,5
Береза	55	168	110	9,3	11,2
Осина	43	125	78	6,3	8,6
Липа	46	121	88	8,6	8,1

4.4. Пороки древесины

Пороки – недостатки отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность использования. Пороки образуются как при росте дерева, так и при хранении на складах и эксплуатации.

Степень влияния пороков на пригодность древесины для строительства за-

висит от их вида и места расположения, размеров поражения, а также характера и назначения лесопродукции. Так, например, один и тот же порок в некоторых видах лесопродукции может сделать древесину непригодной для строительных целей, а в других понижает ее сорт или не имеет существенного значения.

Сучки и трещины

Сучки (рис. 4.5) – части ветвей, заключенных в древесине. Они нарушают однородность строения древесины, вызывают искривление волокон и годичных слоев, уменьшают рабочее сечение пиломатериалов, ухудшают внешний вид древесины и затрудняют ее механическую обработку.

По состоянию древесины самого сучка различают *здоровые сучки*, *загнившие*, *гнилые* и *табачные*. *Здоровые сучки* имеют древесину твердую и плотную без признаков мягкой гнили. *Загнившие* и *гнилые сучки* окружены здоровой древесиной, но древесина самих сучков частично или полностью размягчилась (содержит мягкую гниль). *Табачные сучки* имеют совершенно выгнившую древесину, которая превратилась в рыхлую массу, распадающуюся в порошок при растирании пальцами.

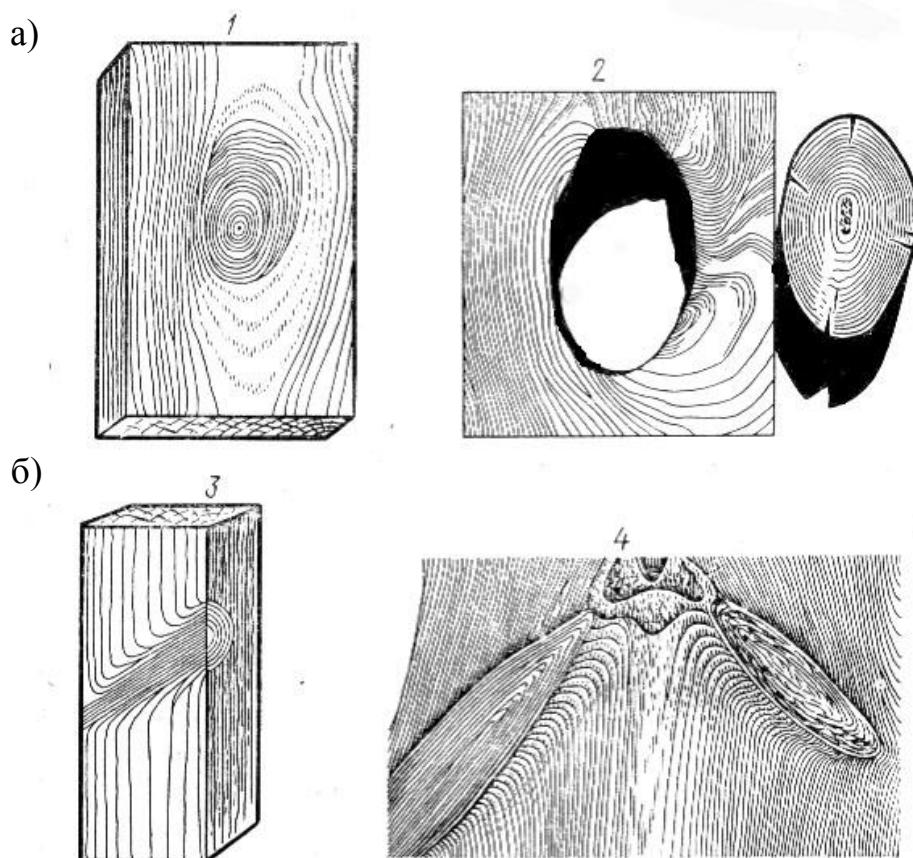


Рис. 4.5. Вид сучков а) по степени срастания с древесиной и б) по форме:

- 1 – сросшийся; 2 – несросшийся выпадающий;
3 – шивной; 4 – разветвленный (лапчатый)

По степени срастания сучки могут быть *сросшиеся*, *частично сросшиеся*, *несросшиеся* и *несросшиеся выпадающие* (см. рис. 4.5). *Сросшиеся* и *частично сросшиеся сучки* имеют годовые слои, сросшиеся или не полностью сросшиеся с окружающей древесиной. У *несросшихся сучков* годовые слои не имеют срастания с окружающей древесиной, сюда же относятся *несросшиеся выпадающие сучки* и отверстия от них (см. рис. 4.5).

По взаимному расположению выделяют три разновидности сучков: *разбросанные*, *групповые* и *разветвленные*. Кроме того, сучки классифицируют по положению в сортименте, форме разреза и степени зарастания.

Трещины – разрывы древесины вдоль волокон, могут появляться как на растущем дереве, так и при высыхании срубленного дерева. Они нарушают целостность лесоматериалов, уменьшают выход высокосортной продукции, снижают прочность, а в некоторых случаях, например в мелком сортименте, делают их непригодными. Кроме того, трещины задерживают влагу в древесине, что создает условия для развития в ней грибков, вызывающих гниение.

Различают следующие типы трещин: *метиковые* (простые и сложные), *морозные*, *отлупные* и *трещины усушки* (рис. 4.6).

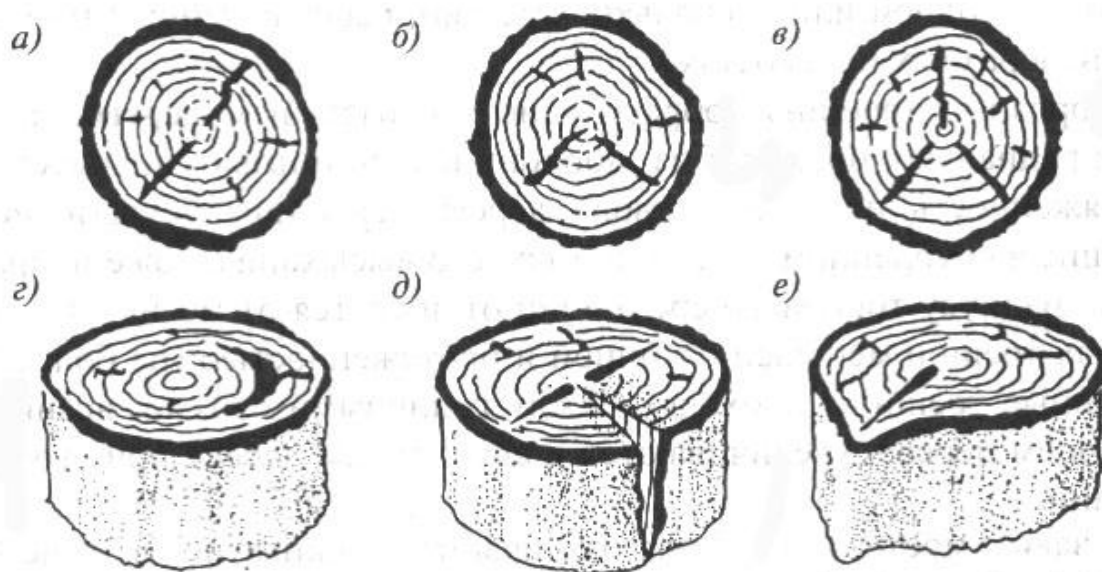


Рис. 4.6. Виды трещин:

a – метик простой; *б, в* – метик сложный; *г* – отлуп;
д – морозная открытая; *е* – морозная закрытая

Метиковые трещины – радиально направленные трещины в ядре или заболони, отходящие от сердцевины. Они возникают в растущем дереве и увеличиваются в срубленном дереве при высыхании. Простые метиковые трещины состоят из одной или двух трещин, расположенных на обоих торцах бревна в одной плоскости. Сложные метиковые трещины состоят из нескольких трещин,

расположенных на торцах бревна в разных плоскостях.

Морозные трещины, образующиеся в растущем дереве, направлены радиально, проходят из заболони в ядро и имеют значительную протяженность по длине ствола дерева. Они могут быть открытые и закрытые.

Отлупные трещины возникают у растущего дерева в результате сильного усыхания центральной части ствола и проходят между годичными кольцами (см. рис. 4.6).

Трещины усушки возникают в срубленном дереве по мере его высыхания ниже предела гигроскопичности и направлены по радиусу торцового среза.

Пороки формы ствола

Эти дефекты устанавливаются на растущем дереве и потому стволы деревьев могут быть заранее отбракованы или переведены в низший сорт. К этой группе пороков относятся *сбежистость*, *закомелистость* и *кривизна ствола* (рис. 4.7).

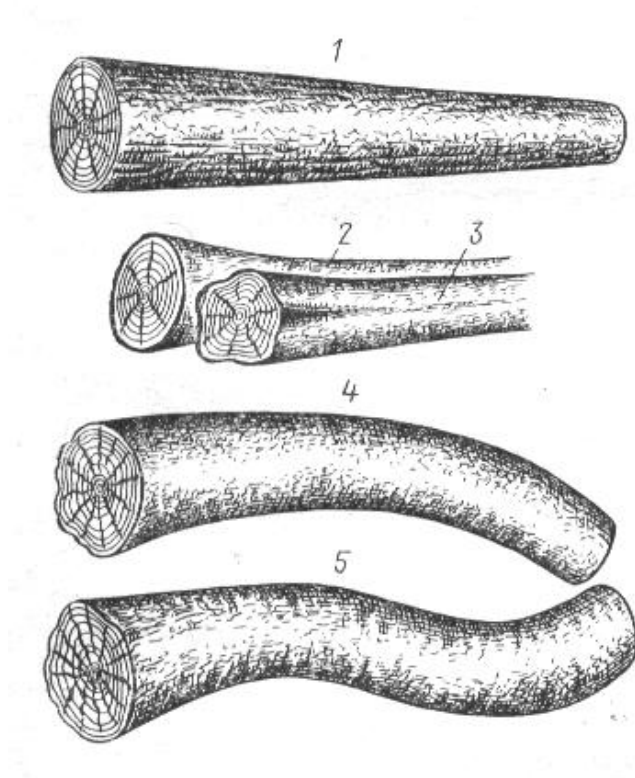


Рис. 4.7. Пороки формы ствола:
1 – сбежистость; 2, 3 – закомелистость округлая и ребристая;
4, 5 – кривизна простая и сложная

Сбежистость – значительное уменьшение диаметра круглых лесоматериалов или ширины необрезных пиломатериалов на всем их протяжении, превышающее нормальный сбег (равный 1 см на 1 м длины бревна). Этот порок

увеличивает количество отходов при распиловке, способствует получению бревен со многими перерезанными волокнами, что резко снижает прочность пиломатериалов.

Закомелистость – резкое увеличение диаметра комлевой (нижней) части ствола дерева. Если в поперечном разрезе закомелистость имеет форму круга, то ее называют округлой, а если звездно-лопастную, то ребристой. Закомелистость увеличивает отходы при распиловке и раскросе лесоматериалов.

Кривизна (простая и сложная) – искривление ствола дерева в одном или нескольких местах (см. рис. 4.7). Она приводит к уменьшению выхода пиломатериалов, изменяет направление волокон, а в ряде случаев приводит древесину в разряд дров.

Пороки строения древесины

Они представляют собой отклонения от нормального строения древесного ствола – наклон волокон, крень, свилеватость, двойная сердцевина и др. (рис. 4.8).

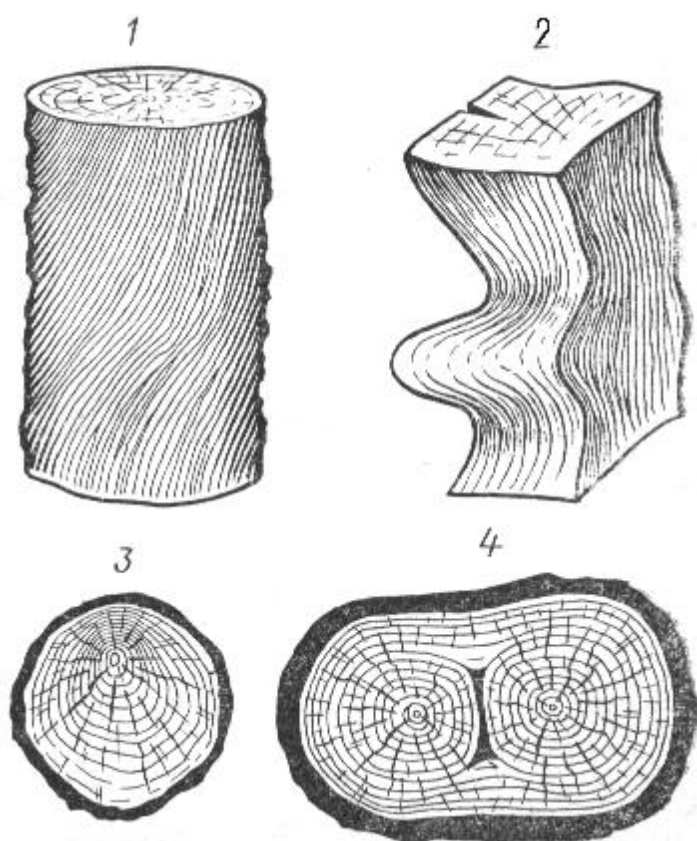


Рис. 4.8. Пороки строения древесины:

- 1 – наклон волокон;
- 2 – свилеватость; 3 – крень;
- 4 – двойная сердцевина

Наклон волокон – непараллельность волокон древесины продольной оси изделия. При наличии этого порока наблюдается резкое снижение прочности древесины, затрудняется ее механическая обработка, а пилопродукция отличается повышенной продольной усушкой и короблением. Наклон увеличивает прочность древесины при раскалывании.

Крень - изменение строения дерева, когда кольца поздней и ранней древесины имеют разную толщину и плотность по обе стороны от сердцевины. Крень присуща наклонно стоящим и искривленным деревьям.

Свилеватость – извилистое или беспорядочное расположение волокон древесины, чаще встречающееся у лиственных пород, преимущественно в комлевой части ствола. Этот недостаток снижает прочность древесины, затрудняет ее обработку, однако свилеватость некоторых пород (орех, береза, ясень и др.) имеет красивый рисунок текстуры, и потому они используются в отделочных работах.

Двойная сердцевина (см. рис. 4.8) характеризуется наличием двух, иногда и более сердцевины в поперечном сечении ствола. Этот порок затрудняет обработку древесины, увеличивает количество отходов и склонность к растрескиванию.

Помимо перечисленных пороков строения древесины имеют место **завиток** – местное искривление годовых слоев под влиянием сучков; **пасынок** – отмершая вторая вершина или толстый сук, пронизывающие ствол под острым углом к его продольной оси; **водослой** – участки ядра или заболони с повышенной влажностью; **сухобокость** – омертвевший участок ствола, возникший в результате повреждений (заруба, ожога и т.п.); **засмолок** – участок древесины, обильно пропитанный смолой (присущ только хвойным породам).

Химические окраски

Они возникают в срубленной древесине в результате развития химических и биохимических процессов, вызывающих окисление дубильных веществ. Окраски придают древесине либо светлые, либо темные цвета. Они не влияют на физико-механические свойства древесины, но портят ее внешний вид.

Грибные поражения

Вызываются простейшими растительными организмами – грибами, которые развиваются из спор, заносимых в древесину ветром, водой, насекомыми. Одни грибки изменяют только окраску древесины, почти не влияя на физико-механические свойства (деревоокрашивающие), другие не только изменяют цвет, структуру и свойства древесины, но и разрушают ее, образуя гниль (дереворазрушающие).

Питательной средой для деревоокрашивающих грибов служит только со-

держимое клеток. Эти грибы не затрагивают клетчатку и поражают преимущественно растущий лес и свежесрубленную древесину, пока она не утратила своих соков. К поражениям, вызываемым этими грибами, относят грибные ядровые и заболонные пятна, плесень и др.

Питательной средой для дереворазрушающих грибов, вызывающих гниение, является целлюлоза, слагающая стенки клеток древесины. Такие грибы выделяют фермент, который превращает не растворимую в воде целлюлозу (полисахарид) в растворимый моносахарид. Древесина при этом меняет окраску, масса ее уменьшается, нарушаются связи между волокнами, она покрывается трещинами и становится трухлявой (рис. 4.9). К этой группе грибных поражений относят ядровую (внутреннюю), заболонную и наружную трухлявую гнили [5, 13].

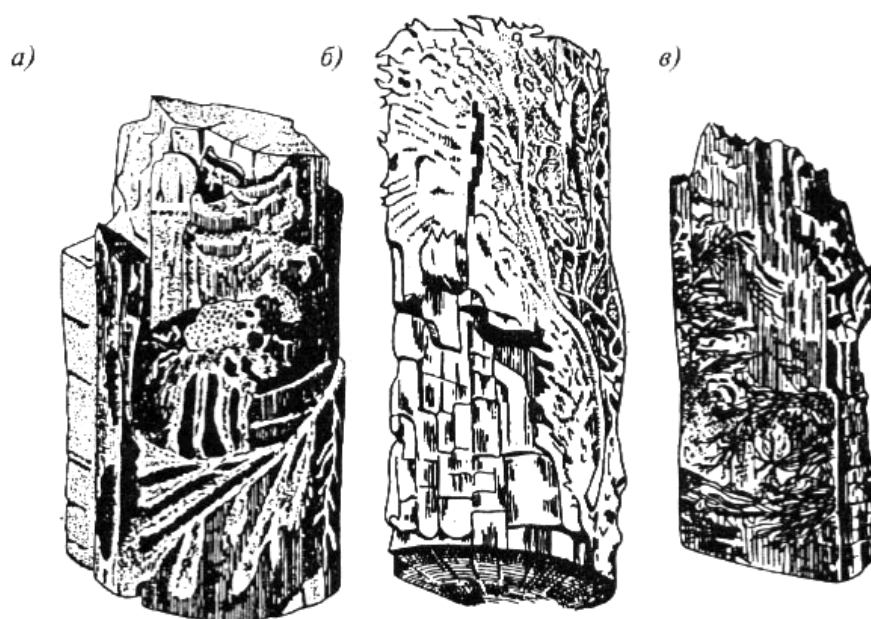


Рис. 4.9. Древесина, пораженная домовыми и дереворазрушающими грибами:
а – настоящим; б – белым; в – пленчатым

Повреждения насекомыми и прочие пороки

Червоточина представляет собой ходы и отверстия, проделанные в древесине насекомыми (рис. 4.10). Различают червоточину *поверхностную*, проникающую в древесину на глубину не более 3 мм; *неглубокую* (до 15 мм в круглых материалах и до 5 мм в пиломатериалах); *сквозную*, выходящую на две противоположные стороны материала.

Поверхностная червоточина не влияет на механические свойства древесины и при распиловке уходит в горбыли и другие отходы. Другие виды червоточины нарушают целостность древесины и снижают ее механические свойства.

ва, а также стойкость против загнивания, так как насекомые могут занести споры грибов.

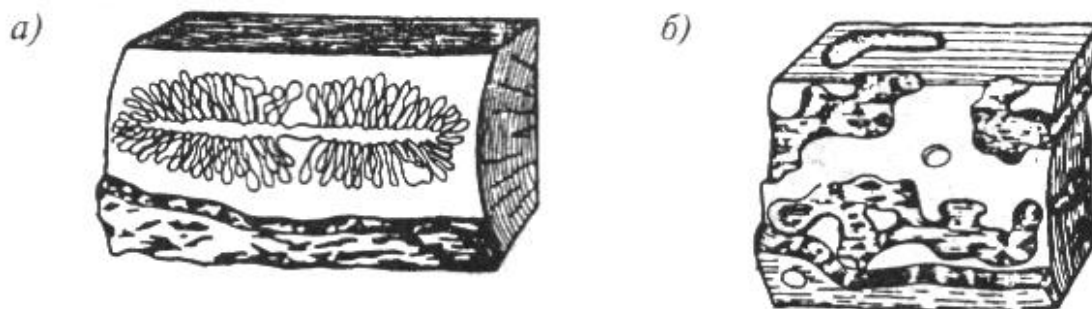


Рис. 4.10. Древесина с поверхностной червоточиной, причиненной: *а* – короедами; *б* – усачами

Инородные включения – посторонние тела недревесного происхождения (песок, камни, гвозди и т.п.), присутствующие в древесине. Подобные включения затрудняют обработку древесины и могут быть причиной аварий.

Механические повреждения (заруб, запил, скол, вырыв и т.п.) являются следствием небрежного или неумелого применения механизмов или инструментов при обработке древесины. Эти повреждения не только снижают механическую прочность, но и затрудняют использование лесоматериалов по назначению.

Покоробленность – искривление пиломатериалов, возникающее при распиловке, сушке и хранении. Различают простую, сложную покоробленность и крыловатость (рис. 4.11). Поскольку покоробленность изменяет форму пиломатериалов, то она затрудняет их обработку и использование по назначению.

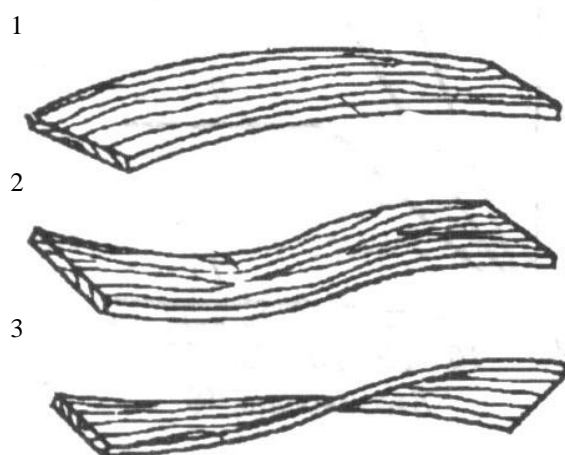


Рис. 4.11. Коробление досок в результате усушки: 1 – покоробленность простая; 2 – покоробленность сложная; 3 – крыловатость

4.5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания

Разрушение древесины в большинстве случаев обуславливается увлажнением конструкций, вызванным повышенной влажностью среды, нарушениями тепловлажностного режима при эксплуатации деревянных конструкций из-за отсутствия вентиляции и образования замкнутых пространств.

К числу способов защиты древесины от понижения ее качества относят сушку. Сушка древесины может быть естественной и искусственной. Естественная сушка происходит на открытом воздухе, под навесами до влажности 15...20 %. Искусственную сушку производят в сушильных камерах, в электрическом поле высокой частоты, в горячих жидких средах и контактным способом.

Защита древесины от гниения

Для предупреждения разрушения древесины принимают ряд конструктивных мер: изолируют ее от грунта, камня и бетона, устраивают специальные каналы для проветривания, защищают деревянные конструкции от атмосферных осадков и т.п. Однако только мерами конструктивного характера нельзя полностью предохранить древесину от увлажнения и загнивания. С этой целью древесину обрабатывают специальными химическими веществами – *антисептиками*. Эти вещества создают среду, в которой жизнедеятельность грибов становится невозможной.

При использовании антисептиков необходимо принимать во внимание следующие требования: антисептики должны обладать высокой токсичностью по отношению к дереворазрушающим грибам, но быть безвредными для людей и животных; легко проникать в древесину, не ухудшая ее физико-механических свойств и не вызывать коррозию металлических креплений; не иметь неприятного запаха.

Для антисептирования древесины используют водорастворимые (фторид натрия, кремнефторид натрия, препараты ББК-3, ХХЦ и МХХЦ, ГР-48); органически растворимые (ПЛ, НМЛ); маслянистые (каменноугольное масло, сланцевое масло и др.) антисептики и антисептические пасты (изготавливают из водорастворимого антисептика, связующего вещества и наполнителя).

Древесные строительные конструкции и изделия антисептируют различными способами: поверхностной обработкой; последовательной пропиткой в горячей и холодной ванне; пропиткой под давлением в автоклаве и обмазкой. В зависимости от назначения древесины и ее влажности применяют тот или иной способ антисептирования, причем глубина пропитки зависит как от способа антисептирования, так и от строения древесины.

Защита древесины от поражения насекомыми

Основной способ борьбы с дереворазрушающими насекомыми на складах лесоматериалов – содержание склада в соответствии с санитарными нормами, а также своевременное снятие коры с древесины [10, 13].

Однако древесина может поражаться насекомыми и в сооружениях. В этом случае борьба с ними ведется химическими средствами, путем обработки древесины ядовитыми веществами – инсектицидами, убивающими насекомых и их личинки.

Древесину обрабатывают инсектицидами путем пропитки, опрыскивания, обмазывания, опыления порошками или окуривания газами. Для этих целей используют маслянистые антисептики и препараты на органических растворителях, а также порошок и пасту ДДТ (дихлордифенилтрихлорэтан), раствор хлорофоса, хлородан в виде дуста и эмульсии и другие вещества, а также некоторые газы (хлорпикрин).

Защита древесины от возгорания

Возгорание древесины происходит при температуре 260...290 °С. Для предупреждения возгорания принимают специальные меры. Конструктивные огнезащитные мероприятия сводятся к отдалению древесных частей здания от источников нагревания и покрытию древесных конструкций штукатуркой, асбестовыми листами. Кроме того, на деревянные конструкции наносят огнезащитные составы или пропитывают древесину химическими веществами – антипиренами. В качестве антипиренов применяют буру, хлористый аммоний, фосфорнокислый натрий и аммоний, серноокислый аммоний.

Огнезащитные составы в виде красок или паст, приготовляемые из связующего вещества (жидкое стекло), наполнителя (кварцевый песок, мел, магнетит) и антипирена, наносят на поверхность деревянной конструкции кистями, а также путем двукратного опрыскивания поверхности конструкции жидкими составами.

Огнезащитное действие антипиренов основано на том, что одни из них при нагревании древесины создают оплавленную пленку, закрывая доступ кислорода к древесине, другие при высокой температуре выделяют газы, которые препятствуют горению древесины.

Можно осуществлять комбинированную защиту древесины от возгорания и гниения путем добавления в огнезащитные составы антисептиков (фторид натрия и др.), не снижающих огнезащитные свойства составов.

Большинство антисептиков и химикатов для защиты древесины от насекомых и возгорания вредно действуют на организм человека, вызывая отравления, ожоги. При обращении с ними нужно соблюдать требования охраны труда и техники безопасности.

4.6. Общая технология получения строительных материалов из древесины

В общем виде последовательность технологических этапов получения материалов и изделий из древесины включает в себя выполнение следующих операций:

Валка леса → Получение деловой древесины (освобождение от кроны, сучков и корней) → Раскрытие деловой древесины → Получение пиломатериалов → Сушка → Изготовление необходимых изделий → Сборка элементов, получение конструкции → Пропитка конструкции → Сушка → Окрашивание → Сушка → Отправка потребителю

4.7. Материалы и изделия из древесины

Круглые лесоматериалы изготавливают из ствола дерева путем распиловки на отрезки разной длины. В строительстве используют главным образом бревна как в круглом виде, так и в качестве сырья для выработки пиломатериалов. Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру) разделяют на мелкие (диаметром 6...13 см), средние (14...24 см) и крупные (26 и более см). Более тонкие части ствола или тонкий лес (от 3 до 7 см) строители называют жердями.

Пиломатериалы по геометрической форме и размерам поперечного сечения делят на пластины, четвертины, брусья, доски, горбыль (рис. 4.12). По характеру обработки пиломатериалы делят на обрезные и необрезные.

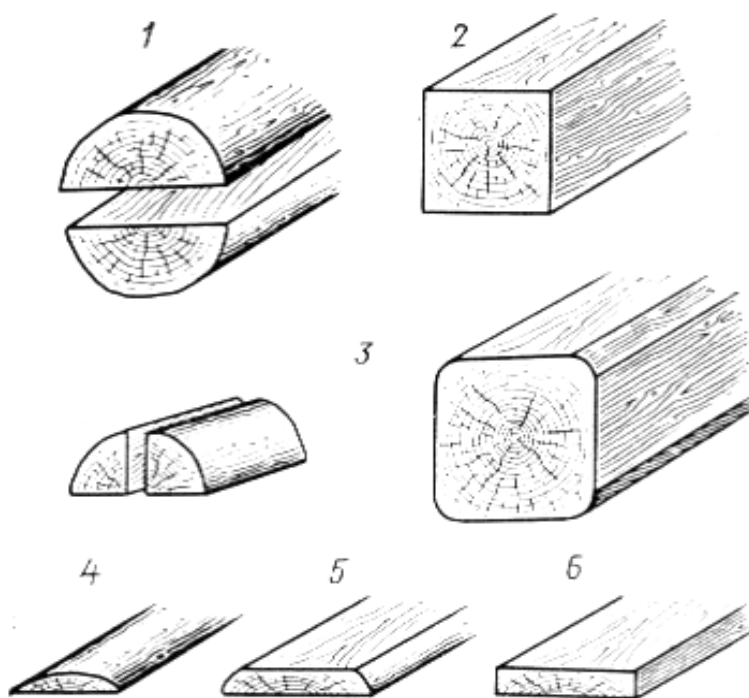


Рис. 4.12. Виды пиломатериалов:
1 – пластины; 2 – брусья; 3 – четвертина; 4 – горбыль;
5 – необрезная доска, 6 – чистообрезная доска

Строганные и фрезерованные детали (погонажные детали) – элементы небольшого поперечного сечения, обработанные на станках: доски и бруски для покрытия полов, плинтусы, наличники, поручни (рис. 4.13). Доски и бруски для полов на одной кромке имеют паз, на другой – гребень для плотного соединения элементов и обеспечения жесткости пола. Плинтуса служат для заделки углов между полом и стенами; поручни и наличники для обшивки дверных и оконных коробок.

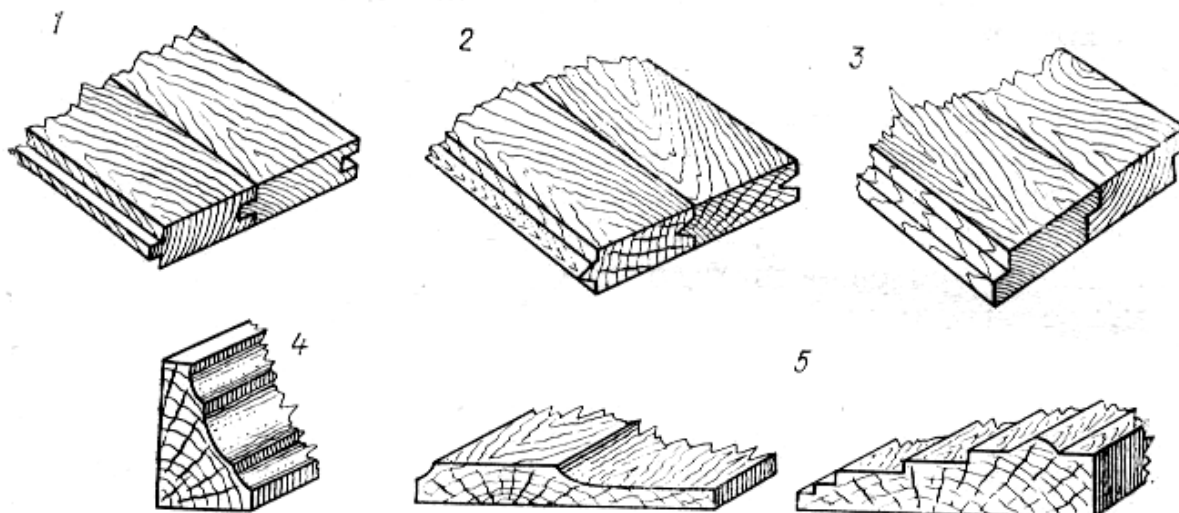


Рис. 4.13. Строганный и профилированный погонаж:

- 1, 2 – шпунтованные доски с прямоугольным и треугольным пазом и гребнем;
 3 – фальцованные доски (в четверть);
 4 – плинтус; 5 – наличники

Столярные изделия – оконные и дверные блоки, перегородки и панели для жилых и гражданских зданий. Щитовые двери представляют собой деревянную раму, заполненную сплошным или пустотным заполнением и облицованную с обеих сторон шпоном, твердой древесноволокнистой плитой или фанерой.

Столярные плиты состоят из внутреннего щита, изготовленного из узких реек (основа) и наклеенного на щит с обеих сторон шпона в один или два слоя (лицевой и оборотные слои). Столярные плиты могут иметь длину до 2500 мм, ширину – до 1525 мм, толщину – до 30 мм. Столярные плиты применяют при изготовлении дверей, перегородок, полов, а также щитовой мебели.

Паркет разделяют на штучный, паркетные доски, паркетные щиты. Штучный паркет, изготавливаемый из бука, дуба, ясеня, состоит из отдельных планок (дощечек), имеющих на кромках и торцах шпунт и гребень для соединения между собой. Он прост в изготовлении, но требует значительного расхода сырья и затрат на укладку.

Паркетные доски состоят из двух слоев. Нижний слой (основание) состоит из фрезерованных брусков или досок. Верхний слой (лицевое покрытие) – из

одинаковых паркетных планок. Оба слоя прочно склеены между собой водостойким клеем. Паркетные доски изготавливают длиной 1200...1300 мм, шириной 145 и 160 мм и толщиной 25...27 мм. По сравнению с штучным паркетом они имеют ряд преимуществ: меньший расход древесины ценных пород, возможность механизации и автоматизации производства, снижение трудоемкости и ускорение процесса настилки паркетного пола.

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

Фанера представляет собой листовую материал склеенный из трех и более слоев лущенного шпона. Шпон, тонкая непрерывная стружка, получают лущением или строганием распаренных бревен. Листы шпона склеивают между собой, располагая их так, чтобы направление волокон в смежных листах было взаимно перпендикулярным. Такая конструкция фанеры обеспечивает ей равную прочность во всех направлениях, малую растрескиваемость и коробление.

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

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

Древесностружечные плиты (ДСП) изготавливают путем горячего прессования специально приготовленных древесных стружек с термореактивными полимерами. Стружку получают из отходов деревообработки, фанерного и мебельного производства. В качестве декоративной отделки, защищающей плиты от увлажнения и истирания, применяют полимерные пленочные материалы и бумагу, пропитанную смолами. Для придания плитам биостойкости в полимерно-стружечную массу добавляют антисептики. С целью уменьшения набухания плит во влажном воздухе в исходную массу вводят гидрофобизирующие вещества.

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

Древесноволокнистые плиты изготавливают путем горячего прессования волокнистой массы, состоящей из древесных волокон, воды, наполнителей, полимера и добавок (антисептиков, антипиренов, гидрофобизирующих веществ). Волокна получают из отходов деревообрабатывающих производств, проваривают в 1...2-процентном растворе едкого натра для нейтрализации смолистых и сахаристых веществ, смешивают с компонентами и передают в отливочную машину. Здесь масса обезвоживается, уплотняется, разрезается на плиты, кото-

рые направляются в роликовую сушилку. Для получения твердых плит необходимо прессование массы, которое осуществляется на гидравлических прессах при температуре 150...165 °С.

Выпускают плиты пяти видов: *сверхтвердые*, средней плотностью более 950 кг/м³ и пределом прочности при изгибе $R_{изг} > 50$ МПа; *твердые* ($\rho_m > 850$ кг/м³, $R_{изг} > 40$ МПа); *полутвердые* ($\rho_m > 400$ кг/м³, $R_{изг} > 15$ МПа); *изоляционно-отделочные* ($\rho_m = 250...350$ кг/м³, $R_{изг} > 2$ МПа); *изоляционные* ($\rho_m < 250$ кг/м³, $R_{изг} > 1,2$ МПа).

Твердые плиты имеют толщину 3...8 мм, и применяют их для устройства перегородок, подшивки потолков, настилки полов, для изготовления дверных полотен и встроенной мебели.

Изоляционно-отделочные плиты облицовывают синтетической пленкой с прокладкой бумаги под цвет и текстуру древесины ценных пород. Их выпускают также с матовой поверхностью, окрашенными вододисперсионными красками. Эти плиты применяют для облицовки стен и потолков.

Изоляционные древесноволокнистые плиты находят широкое применение в виде тепло- и звукоизоляционного материала.

Древесно-слоистые пластики – листы или плиты, изготовленные из лущеного шпона, пропитанного и склеенного резольным фенолформальдегидным полимером. Пластик отличается от фанеры большей средней плотностью (1,25...1,33 г/см³) и обладает высокими механическими свойствами ($R_{раст} = 140...200$ МПа, $R_{изг} = 150...280$ МПа). Эти пластики стойки к действию масел, растворителей, моющих средств; хорошо сопротивляются истиранию.

Клеевые конструкции – крупноразмерные элементы, изготавливаемые путем склеивания небольших деревянных заготовок друг с другом, а иногда и с другими материалами. Клеевые деревянные конструкции, изготавливаемые на высокопрочных и водостойких полимерных клеях, отличаются меньшей массой, большей прочностью, водостойкостью, чем обычные конструкции из деревянных элементов, соединенных с помощью врубок, шпонок, гвоздей и т.п. Такие конструкции экономичны, поскольку для их изготовления используется малопрочная и разносортная древесина.

Склеивание древесины для различных конструкций производится в заводских условиях и начинается с сушки пиломатериалов. Затем из досок вырезают дефектные места и недопустимые пороки и фрезеруют. Заготовки стыкуют на клеях и запрессовывают, после чего шлифуют и покрывают лакокрасочными материалами для защиты от увлажнения и возгорания.

На основе клееных элементов получают плоские конструкции – балки, арки, фермы (рис. 4.14) и пространственные – оболочки, своды, купола (рис. 4.15).

Плоские клееные деревянные конструкции способны перекрывать значительные по размерам пролеты (до 100 м).

Деревянные конструкции хорошо противостоят целому ряду агрессивных воздействий, под действием которых другие материалы разрушаются весьма

интенсивно. Их можно использовать при строительстве предприятий по производству серной кислоты, в цехах, связанных с производством свинца, меди, цинка, а также складов минеральных удобрений. Применение клееных деревянных конструкций обеспечивает экономию стали и бетона.

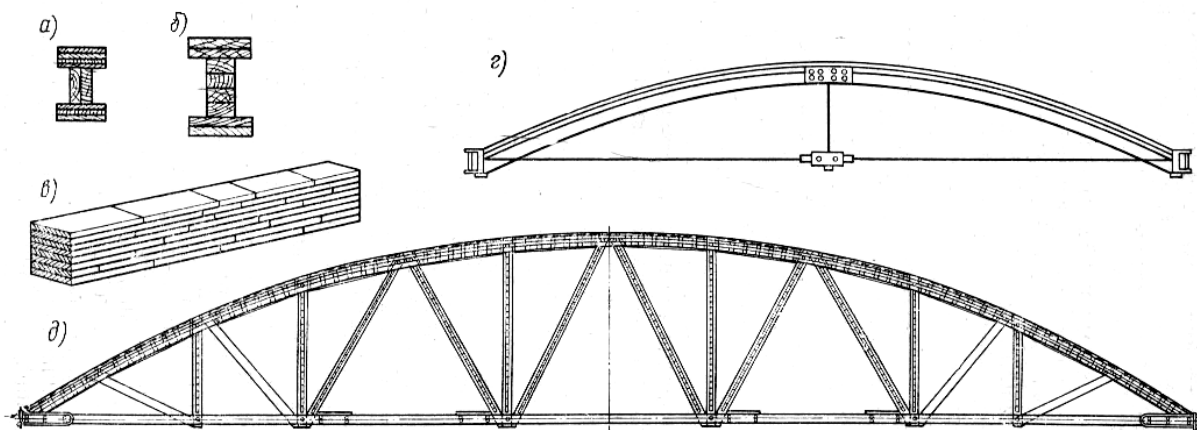


Рис. 4.14. Виды плоских клееных изделий:
а, б – двутавровые балки; *в* – блок из досок; *г* – клееная арка из полуарок; *д* – клееная ферма

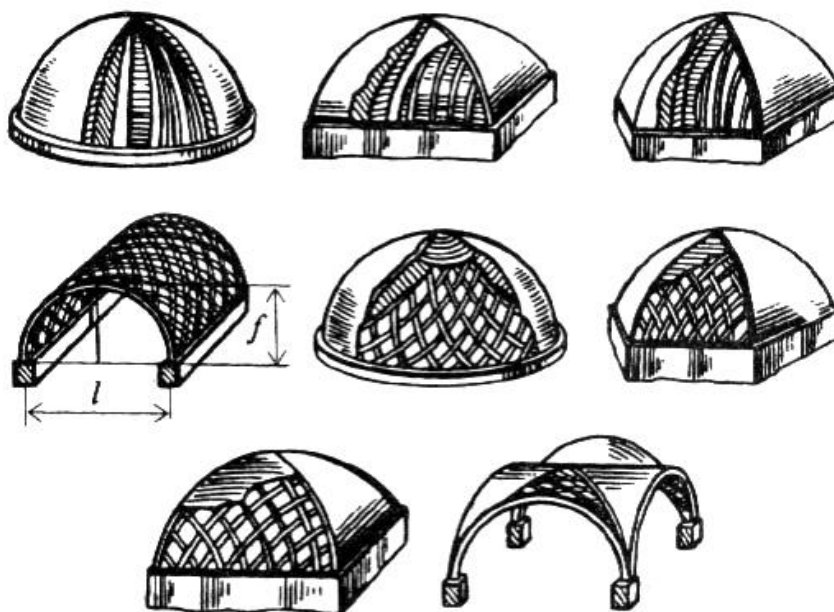


Рис. 4.15. Основные виды пространственных деревянных конструкций в покрытиях (купола, своды, оболочки)

Контрольные вопросы

1. Дайте определение строительным материалам из древесины.
2. Назовите положительные и отрицательные свойства древесины.
3. Охарактеризуйте строение и состав древесины.
4. Какие основные древесные породы применяются в строительстве?
Охарактеризуйте эти породы и их основных представителей.
5. Перечислите физические свойства древесины.
6. Какие виды влажности различают и древесины?
7. Назовите основные механические свойства древесины.
8. Что представляет собой стандартная влажность древесины? Какое значение имеет стандартная влажность?
9. Что представляют собой пороки древесины? На какие свойства они оказывают влияние?
10. Что представляют собой сучки? По каким признакам классифицируют сучки в древесине?
11. Назовите пороки формы ствола древесины.
12. Назовите пороки строения древесины.
13. Какие Вы знаете способы защиты древесины от гниения?
14. Назовите способы защиты древесины от возгорания.
15. Перечислите методы защиты древесины от поражения насекомыми.
16. Опишите общую технологию получения строительных материалов и изделий из древесины.
17. Какие строительные материалы и изделия получают из древесины?
18. Перечислите основные виды пиломатериалов.
19. Что представляет собой фанера?
20. Какие бывают виды паркета?
21. Как получают древесностружечные и древесноволокнистые плиты?
22. Какие конструкции изготавливают из клееной древесины? Перечислите достоинства клеевых конструкций.

РАЗДЕЛ 5

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

5.1. Общие сведения

Керамическими называют искусственные каменные материалы, изготавливаемые из глин или их смесей с добавками путем формования и последующего обжига. Название «керамика» происходит от греческого слова «keramos» – глина.

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

Возможность получения любых заданных свойств, широкая номенклатура, большие запасы повсеместно распространенного сырья, сравнительная простота технологии, высокая долговечность и экологическая безвредность керамических материалов обеспечивают им одно их первых мест по значимости и объемам производства среди других строительных материалов.

5.2. Классификация изделий строительной керамики

Керамические материалы и изделия классифицируют по ряду признаков.

1. По назначению:

- стеновые (кирпич и камни);
- облицовочные (лицевой кирпич, плитки);
- кровельные (черепица);
- для полов (плитки для полов);
- для перекрытий (пустотелые камни);
- для дорог и подземных коммуникаций (клинкерный кирпич и трубы);
- санитарно-технические (раковины, унитазы);
- кислотоупорные;

- теплоизоляционные (легкий кирпич);
- огнеупорные (огнеупорный кирпич);
- заполнители для бетонов (керамзит, аглопорит);
- декоративно-художественные (посуда, кафель).

2. По структуре:

- пористые, с водопоглощением более 5 % (кирпич и камень, изделия для кровли и перекрытий, трубы);
- плотные, с водопоглощением менее 5 % (клинкерный кирпич, плитки для полов, фаянсовые, фарфоровые изделия).

5.3. Сырье для производства керамических материалов и изделий

Основным сырьевым материалом для производства керамических изделий является глина, применяемая в чистом виде, а чаще в смеси с различными добавками (отошающими, порообразующими, плавнями, пластификаторами и др.).

5.3.1. Глинистое сырье

Глины представляют собой осадочные горные породы, которые способны при смешивании с водой образовывать пластичное тесто, переходящее после обжига в водостойкое и прочное камневидное тело.

Глинистые частицы имеют размер 0,005 мм и менее. Помимо глинистых частиц в составе сырья содержатся пылевидные частицы с размерами зерен 0,005...0,16 мм и песчаные частицы с размерами зерен 0,16...2 мм.

Глинистые частицы имеют пластинчатую форму, между которыми при смачивании образуются тонкие слои воды, способствующие набуханию частиц и скольжению их относительно друг друга без потери связности. Поэтому глина, смешанная с водой, дает легко формуемую пластичную массу. При сушке глиняное тесто теряет воду и уменьшается в объеме (воздушная усадка). Чем больше в глинистом сырье глинистых частиц, тем выше пластичность и воздушная усадка глин. В зависимости от этого глины подразделяются на высокопластичные, среднепластичные, умеренно пластичные, малопластичные и непластичные.

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

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

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

Непластичные глины не образуют пластичное тесто.

Глины с содержанием глинистых частиц более 60 % называют «жирные».

Они отличаются высокой усадкой, для снижения которой в них добавляют отошующие добавки. Глины с содержанием глинистых частиц менее 10...15 % называют «тощие», в них при производстве изделий вводят тонкодисперсные добавки, например, бентонитовую глину.

Гранулометрический состав глин тесно связан с минералогическим составом. Песчаные и пылевидные фракции представлены главным образом в виде остатков первичных минералов (кварца, полевого шпата, слюды и др.). Глинистые частицы в большинстве своем состоят из вторичных минералов: каолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, монтмориллонита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гидрослюды.

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

Глины, содержащие монтмориллонит, весьма пластичны, сильно набухают, чувствительны к сушке и обжигу с проявлением искривления изделий и растрескивания. Высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонита называют *бентонитами*. Содержание в них частиц размером менее 0,001 мм достигает 85...90 %.

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

Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов. В керамическом сырье содержание важнейших оксидов колеблется в широких пределах: SiO_2 – 40...80 %; Al_2O_3 – 8...50 %; Fe_2O_3 – 0...15 %; CaO – 0,5...25 %; MgO – 0...4 %.

С увеличением содержания Al_2O_3 повышается пластичность и огнеупорность глин, а с повышением содержания SiO_2 пластичность глин снижается, увеличивается пористость, снижается прочность обожженных изделий. Присутствие оксидов железа снижает огнеупорность глин, тонкодисперсного известняка придает светлую окраску и понижает огнеупорность глин, а камневидные включения его являются причинами появления «дутиков» и трещин в керамических изделиях. Оксиды щелочных металлов (Na_2O и K_2O) являются сильными плавнями, способствуют повышению усадки, уплотнению черепка и повышению его прочности. Наличие в глинистом сырье растворимых солей сульфатов и хлоридов натрия, кальция, магния и железа вызывает появление белых выцветов на поверхности изделий.

Для изготовления отдельных видов огнеупорных теплоизоляционных изделий применяют глинистое сырье из трепелов и диатомитов, которые состоят в основном из аморфного кремнезема, а для производства легких заполнителей используют перлит, пемзу, вермикулит.

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

5.3.2. Добавки к глинам

Отощающие добавки вводят в пластичные глины для уменьшения усадки при сушке и обжиге и предотвращения деформаций и трещин в изделиях. Для этих целей используют дегидратированную глину, шамот, шлаки, золы, кварцевый песок. Дегидратированную глину получают нагреванием до 600...700 °С (потеря пластичности). Шамот изготавливают обжигом огнеупорных или тугоплавких глин при 1000...1400 °С с последующим помолом.

Порообразующие добавки вводят для повышения пористости черепка и улучшения теплоизоляционных свойств керамических изделий. К ним относятся: древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль. Эти добавки являются одновременно и отощающими.

Плавни вводят с целью снижения температуры обжига керамических изделий (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк, стеклобой, перлит).

Пластифицирующие добавки применяют с целью повышения пластичности сырьевых смесей при меньшем расходе воды. Среди этих добавок широкое применение получили бентонитовые глины, добавки ПАВ [10].

5.3.3. Глазури и ангобы

Некоторые виды керамических изделия для повышения санитарно-гигиенических свойств, водонепроницаемости, улучшения внешнего вида покрывают декоративным слоем – глазурью или ангобом.

Глазурь – стекловидное покрытие толщиной 0,1...0,2 мм, нанесенное на поверхность изделия и закрепленное обжигом. Глазури могут быть прозрачными и глухими (непрозрачными) различного цвета. Для изготовления глазури используют кварцевый песок, каолин, полевой шпат, соли щелочных и щелочноземельных металлов. Сырьевые смеси размалывают в порошок и наносят на поверхность изделий в виде порошка или суспензии перед обжигом.

Ангобом называется нанесенный на изделие тонкий слой беложгущейся или цветной глины, образующей цветное покрытие с матовой поверхностью. По свойствам ангоб должен быть близок к основному черепку.

5.4. Основы технологии производства керамических изделий

При всем многообразии свойств, форм, размеров, назначения и технологий изготовления керамических изделий основные этапы их производства примерно одинаковы и состоят из следующих операций:

Добыча сырьевых материалов → Складирование → Подготовка → Формование изделий → Сушка → Обжиг → Складирование готовой продукции → Отправка потребителю

Добыча глины осуществляется на карьерах преимущественно открытым способом экскаваторами. Добытая глина транспортируется на предприятие рельсовым или автомобильным транспортом и складывается на открытых складах (глинозапасниках), разновидности которых представлены на рис. 5.1.

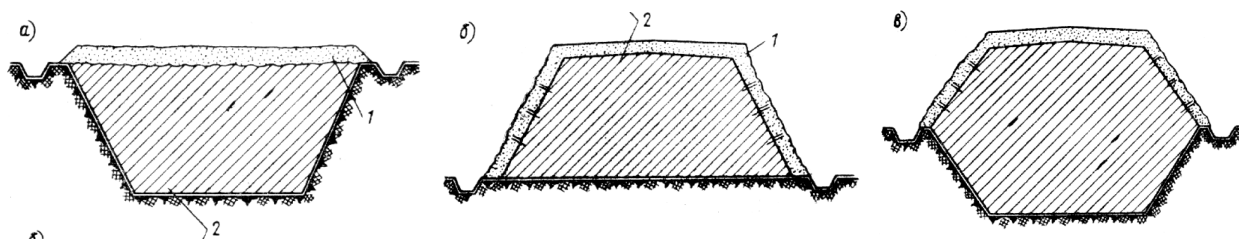


Рис. 5.1. Открытые склады глины:
 а) котлованный штабель; б) наземный штабель;
 в) двухъярусный штабель;
 1 – утеплитель (опилки, маты); 2 – глина

Подготовка массы. Карьерная глина в естественном состоянии обычно непригодна для получения керамических изделий. С целью придания глине необходимых свойств проводится ее обработка естественным и механическим способами. Естественная обработка подразумевает вылеживание добытой глины в течение 1...2 лет при периодическом увлажнении и высушивании, а также замораживании и оттаивании с целью разрушения природной структуры. Механическая обработка глин проводится с целью удаления крупных включений и вредных примесей, измельчения глин и добавок и перемешивания всех компонентов до получения однородной и удобоформуемой массы.

Формование изделий осуществляется несколькими способами, которые зависят от вида глины и ее влажности.

Пластический способ формования применяют в случаях использования среднепластичных и умереннопластичных глин влажностью 18...25 %, с умеренным содержанием посторонних включений. При пластическом способе формование осуществляется на ленточных вакуум-прессах (рис. 5.2) путем экструзии (выдавливания). Этот способ распространен при выпуске керамических кирпичей, камней, черепицы и др.

Жесткий способ используют при влажности глин 13...18 %. Формование осуществляется на мощных вакуумных или гидравлических прессах. Этим способом также получают полнотелые и пустотелые кирпичи, камни, черепицу.

Полусухой способ формования применяется для малопластичных («тощих») глин с содержанием большого количества добавок при влажности шихты 8...12 %. Формование осуществляется в пресс-формах на гидравлических или механических прессах. Этим способом изготавливают кирпичи, плитки для внутренней облицовки.

Шликерный способ применяется, когда изделия изготавливаются из многокомпонентной массы, состоящей из неоднородных глин и добавок. При этом

способе шихта имеет влажность до 50 %. Этим способом изготавливают изделия сложной конфигурации для санитарно-технической керамики и плитки.

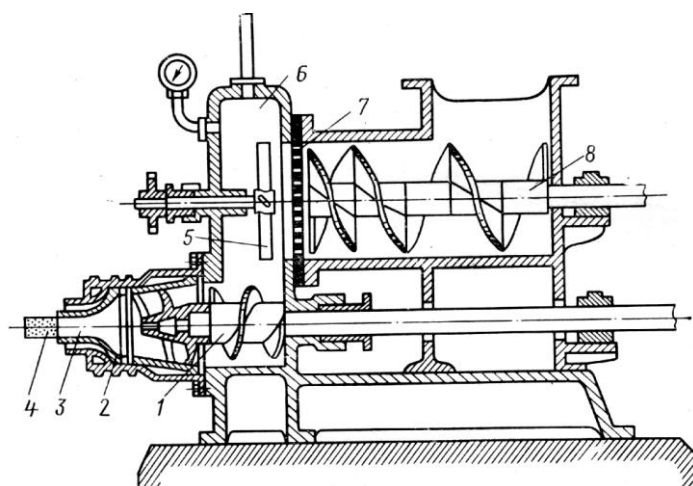


Рис. 5.2. Ленточный вакуум-пресс:

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

Комбинированный способ заключается в том, что первоначальная подготовка сырья ведется по шликерному способу до получения шлама (влажностью до 50 %), затем производится сушка шлама, а далее формование изделий.

Сушка полуфабрикатов производится с целью удаления из них влаги перед обжигом. Прежде этот процесс осуществлялся в естественных условиях (сушильные сараи) в течение 2...3 недель. В настоящее время сушка производится преимущественно искусственно в специальных агрегатах периодического (камерные сушила) или непрерывного (туннельные сушила) действия в течение 2...3 суток при температуре 120...150 °С.

В процессе сушки глина теряет пластичность, повышает прочность, возникают усадочные деформации.

Обжиг является завершающей стадией производства керамических изделий. Его осуществляют в кольцевых и туннельных печах. Температура обжига зависит от изготавливаемых изделий: для кирпича, камней, керамзита – 900...1100 °С; для клинкерного кирпича, плиток для полов, фаянса – 1100...1300 °С; для фарфоровых изделий – 1300...1450 °С; для огнеупорной керамики – 1300...1800 °С.

В процессе обжига из глины удаляется остаточная физическая и химически связанная влага, выгорают органические примеси, плавятся легкоплавкие соединения, образуется основной минерал керамических материалов – *муллит* $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

5.5. Разновидности керамических материалов и изделий

5.5.1. Стеновые изделия

К группе стеновых изделий относятся: кирпич керамический обыкновенный, эффективные керамические материалы (кирпич пустотелый, пустотелые камни, пористо-пустотелый, легкий кирпич).

Керамические кирпичи и камни изготовляют из легкоплавких глин с добавками или без них и применяют для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и сооружений. В зависимости от размеров кирпичи и камни подразделяются на виды (рис. 5.3).

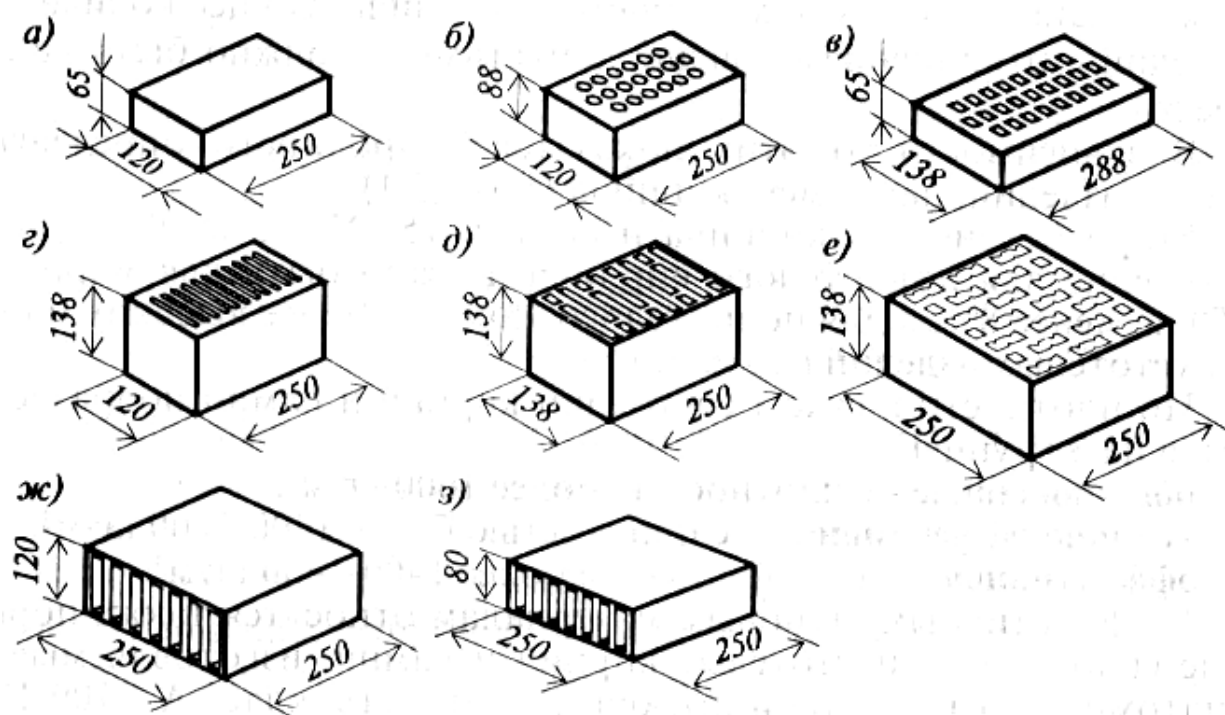


Рис. 5.3. Типы керамического кирпича и камня:

- а* – обыкновенный кирпич; *б* – утолщенный кирпич; *в* – модульный кирпич;
г – обыкновенный камень; *д* – укрупненный камень; *е* – модульный;
ж, *з* – камень с горизонтальным расположением пустот

Пустотелый кирпич имеет сквозные щелевидные пустоты или круглые отверстия. Камни изготавливаются только пустотелыми.

Характеристики полнотелого и пустотелого кирпича представлены в табл. 5.1.

Основные технические характеристики керамических кирпичей

Технические характеристики	Полнотельный кирпич	Пустотельный кирпич
Марки	100, 125, 150, 175, 200, 225, 250	100, 125, 150
Морозостойкость	25	25
Водопоглощение, %	8	68
Средняя плотность, кг/м ³	2050	1300...1350
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,71	0,44
Масса, кг	4	Не более 2,3

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

К эффективным стеновым материалам относятся также **легкие пористые сплошные и пустотелые кирпич и камни**, изготовленные из диатомитов и трепелов. Применение эффективных стеновых керамических материалов позволяет уменьшить толщину стен, снизить материалоемкость, сократить транспортные расходы и нагрузки на основание.

Прочность кирпича характеризуется пределом прочности при сжатии и изгибе и обозначается марками: 75, 100, 125, 150, 200, 250 и 300. Морозостойкость кирпича и камней 15, 25, 35 и 50. Водопоглощение для полнотелого кирпича марок 75, 100 и 150 не менее 8 %, а для полнотелого кирпича более высоких марок и пустотелых изделий не менее 6 %.

5.5.2. Облицовочные изделия

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

Изделия для внешней облицовки зданий

Кирпич и камни лицевые отличаются от обыкновенных большей точностью формы и размеров, а также однородностью цвета и оттенка. Подбирая керамические массы и регулируя температуру обжига, получают изделия различных цветов: от белого до темно-коричневого.

Крупноразмерные облицовочные плиты выпускаются глазурованные и неглазурованные с гладкой, шероховатой или рифленой поверхностью. Они могут иметь квадратную или прямоугольную форму. Применяются плиты для облицовки фасадов и цоколей зданий, подземных переходов.

Плитки керамические фасадные и ковры из них применяются для облицовки стен кирпичных зданий, наружных поверхностей железобетонных стеновых панелей, цоколей, подземных переходов. Плитки выпускаются квадратными и прямоугольными, глазурованными и неглазурованными, с гладкой и рельефной

поверхностью, различных размеров. Плитки могут поставляться в коврах, наклеенными на крафт-бумагу. Водопоглощение плиток 5...10 %, морозостойкость не менее 35 циклов.

Изделия для внутренней облицовки

Плитки для облицовки стен изготавливаются из легкоплавких мергелистых глин (майоликовые плитки) или из огнеупорных глин с добавкой песка и плавней (фаянсовые плитки).

Плитки классифицируют:

1. *По характеру поверхности:*

- плоские;
- рельефные;
- фактурные.

2. *По виду глазурного покрытия:*

- прозрачные и глухие;
- блестящие и матовые;
- одноцветные и многоцветные.

3. *По форме и назначению:*

- квадратные;
- прямоугольные;
- фасонные угловые;
- фасонные карнизные;
- фасонные плитусные.

Водопоглощение плиток до 16 %, предел прочности при изгибе 12 МПа. Так как эти изделия не подвергаются действию отрицательных температур, то требования морозостойкости к ним не предъявляются.

Плитки для внутренней облицовки стен применяют в помещениях санитарных узлов, кухонь, бань, прачечных, торговых, пищевых и химических предприятий, станций метрополитена.

Плитки для покрытия полов (рис. 5.4) производят из тугоплавких и огнеупорных глин с добавками или без них. При производстве плитки обжигаются до спекания, вследствие чего имеют водопоглощение не более 4 % и высокую износостойкость.

Плитки могут быть квадратными, прямоугольными, четырех-, пяти-, шести- и восьмигранными. По виду лицевой поверхности плитки выпускаются гладкими и с рельефом, одноцветные и многоцветные, матовые и глазурованные, с рисунками и без них.

Плитки применяют для полов в помещениях с влажным режимом и интенсивностью движения (бани, ваннные комнаты, кухни, коридоры, промышленные здания).

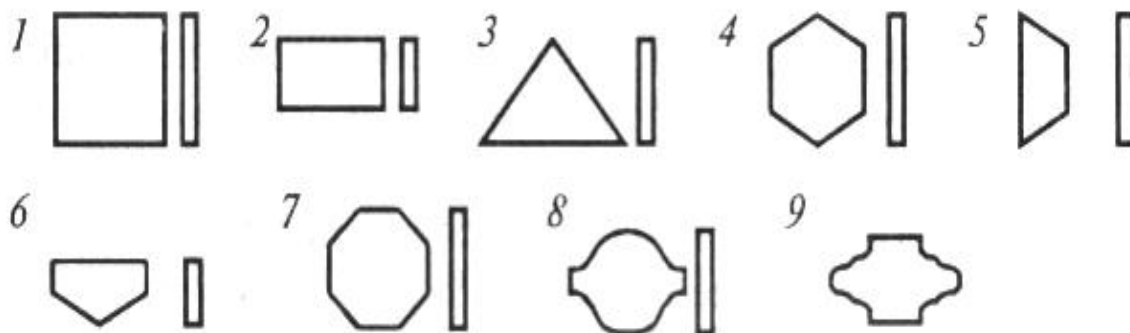


Рис. 5.4. Типы керамических плиток для полов:
 1 – квадратная; 2 – прямоугольная; 3 – треугольная; 4 – шестигранная;
 5 – четырехгранная; 6 – пятигранная; 7 – шестигранная;
 8, 9 – фигурные

5.5.3. Керамические изделия для кровли и перекрытий

Глиняная черепица – старейший вид кровельных материалов. Имеет долговечность до 300 лет, обладает огнестойкостью, устойчивостью к атмосферным влияниям. Недостатками черепицы являются значительная масса кровли (65 кг/м^2 покрытия), что требует особой прочности конструкции стропил, и высокая трудоемкость кровельных работ. Наиболее распространена черепица штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская и коньковая (рис. 5.5).

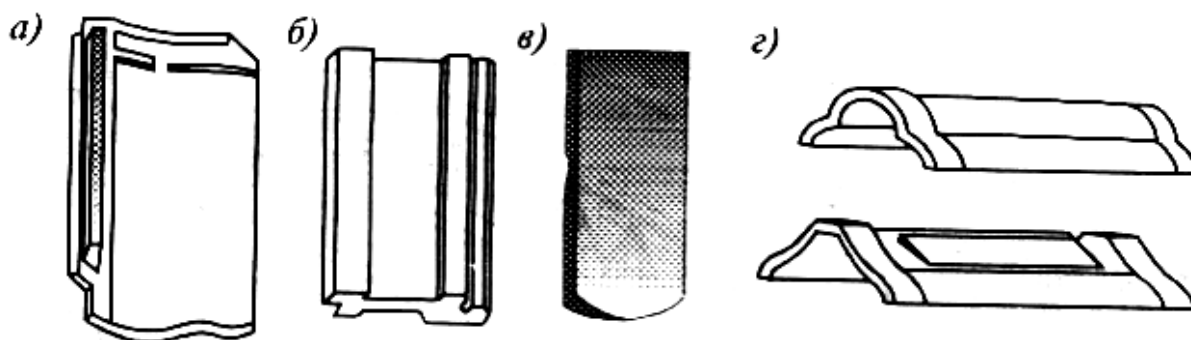


Рис. 5.5. Разновидности керамической черепицы:
 а – пазовая штампованная; б – пазовая ленточная;
 в – плоская ленточная; г – коньковая

Камни и плиты для перекрытий изготавливают пустотелыми. Они огнестойки, долговечны, обладают хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Пустотность керамических камней для перекрытий 50...75 %.

5.5.4. *Керамические изделия для дорог и подземных коммуникаций*

Клинкерный кирпич получают обжигом глин до полного спекания, поэтому он отличается от обычного высокими показателями прочности (марки 400, 700, 1000) и морозостойкости (50 и 100 циклов). Размеры кирпича 220×110×65 мм. Клинкерный кирпич называют дорожным и применяют для покрытия дорог и мостовых, обмуровки канализационных коллекторов и облицовки набережных. Применяется он и в химической промышленности как кислотостойкий материал.

Канализационные керамические трубы изготавливают из огнеупорных глин без добавок или с отошающими добавками цилиндрической формы длиной 1000...1500 мм с внутренним диаметром 150...600 мм. На одном конце имеется раструб для соединения отдельных звеньев трубопровода. Поверхность труб снаружи и внутри покрывают кислотоустойчивой глазурью.

Канализационные трубы применяют для строительства безнапорных сетей канализации, транспортирующих промышленные, бытовые, дождевые воды.

Дренажные керамические трубы изготавливают из пластичных глин цилиндрической формы или шести-, восьмигранными. Длина трубы 333 мм, внутренний диаметр 50...250 мм. Внешняя поверхность труб покрывается глазурью.

Используются такие трубы для закрытого дренажа, а также осушения грунтового основания под здания и сооружения.

5.5.5. *Санитарно-техническая керамика*

К санитарно-техническим изделиям относят изделия из фаянса, полуфарфора и фарфора. Для производства этих трех разновидностей керамических материалов, обладающих различными свойствами (табл. 5.2), используют беложгущиеся огнеупорные глины и каолины (50 %), кварц, полевой шпат, жидкое стекло и другие компоненты в различных соотношениях.

Таблица 5.2

Физико-механические свойства санитарно-технической керамики

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

Из шихт методом литья изготавливают умывальники, унитазы, сливные бачки, раковины и другие изделия, которые после сушки и обжига покрывают блестящей однотонной или цветной глазурью.

5.5.6. Кислотоупорные керамические изделия

По свойствам и назначению их подразделяют на изделия с грубозернистым (кислотоупорные кирпич и плитки) и тонкозернистым черепком (трубы кислотоупорные и фасонные части к ним, различная аппаратура и ее детали).

Для производства керамических кислотоупорных изделий служат пластичные глины без вредных примесей серного колчедана, гипса и др.

Кислотоупорные керамические изделия отличаются высокой плотностью, водопоглощение у кирпича не более 12 %, а у других изделий не более 5...9 %, прочностью 15...40 МПа и кислотостойкостью (за исключением фтористоводородной кислоты).

Кислотоупорные кирпич и плитки применяют для футеровки башен и резервуаров на химических заводах, а также устройства полов в цехах с агрессивными средами, а кислотоупорные трубы – для перемещения кислот и газов при давлении до 0,3 МПа.

5.5.7. Теплоизоляционные керамические изделия

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

Теплоизоляционные трепельные (диатомовые) изделия изготовляют пластическим методом из трепела или диатомита, иногда с выгорающими добавками. В соответствии со средней плотностью изделия подразделяют на марки 500, 600, 700 кг/м³. Теплопроводность таких изделий при температуре 350 °С – 0,18...0,27 Вт/(м·°С). Их применяют для теплоизоляции до 900 °С.

Пенодиатомовые изделия изготовляют из трепелов или диатомитов путем приготовления из порошка этих материалов теста и добавления в тесто устойчивой пены. Полученную пеномассу разливают по формам. После сушки изделия обжигают. Средняя плотность пенодиатомовых изделий 350...450 кг/м³, теплопроводность при 25 °С – 0,081...0,117 Вт/(м·°С).

Керамзит представляет собой пористый зернистый материал, получаемый вспучиванием легкоплавких глинистых пород путем их обжига при температуре 1050...1200 °С. При обжиге газы (кислород, образующийся при раскислении высших окислов железа, и окись углерода, образующаяся при горении органических примесей) вспучивают глину в начальный момент ее частичного плавления. Насыпная плотность керамзитового гравия (марка) 150...800 кг/м³, водопоглощение 8...25 %, морозостойкость не менее 15 циклов. Предел прочности при сжатии в зависимости от марки гравия не менее 0,3...5,5 МПа.

Керамзит используют как заполнитель для легких бетонов, а также в качестве теплоизоляционных засыпок.

Аглопорит получают при обжиге глинистого сырья с добавкой 8...10 % топлива на решетках агломерационных машин. Топливо (каменный уголь) выгорает, а частицы сырья спекаются. В качестве сырья применяют легкоплавкие глинистые и лессовые породы, а также отходы промышленности (золы, топливные шлаки и др.). Аглопорит выпускают в виде пористого песка, щебня и гравия.

5.5.8. Огнеупорные керамические изделия

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

Сырьем для изготовления **кремнеземистых (динасовых) огнеупоров** служат кварцевые породы (кварц, кварцит, кварцевый песок) с добавкой глины. Эти огнеупоры имеют высокую огнеупорность (до 1730 °С), достаточную прочность (15...35 МПа), но малую термическую стойкость. Применяют динасовые изделия для кладки сводов и стен мартеновских и стекловаренных печей.

Алюмосиликатные огнеупоры в зависимости от содержания SiO_2 и Al_2O_3 в обожженном продукте разделяют на три вида: полукислые, шамотные, высокоглиноземистые.

Полукислые огнеупоры изготавливают обжигом кварцевых пород на глинистой или каолиновой связке или глин и каолинов с большим содержанием кварцевого песка. Огнеупорность изделий на каолиновой связке не ниже 1710 °С, на глиняной не ниже 1580 °С. Их применяют для футеровки коксовых печей, вагранок и др.

Шамотные огнеупоры получают из огнеупорных глин и каолинов, отощенных шамотом из той же глины. Огнеупорность шамотных материалов 1730 °С, а прочность при сжатии 10...12,5 МПа. Они отличаются термической стойкостью и шлакоустойчивостью. Применяют их для кладки доменных печей, стен и пода керамических печей, облицовки топок паровых котлов, дымоходов и т. д.

Высокоглиноземистые огнеупоры изготавливают из высокоглиноземистого глинистого сырья с содержанием глинозема более 45 % (бокситы, диаспор, корунд и др.) обжигом до спекания или методом литья из расплава.

Контрольные вопросы

1. Назовите общие свойства керамических материалов и изделий, которые обеспечивают им широкое применение в строительной практике.
2. Представьте классификацию изделий строительной керамики.
3. Какие материалы являются сырьем для производства керамических материалов?
4. Что представляют собой глины? Раскройте основные свойства глин и добавок для производства керамических материалов.
5. Что представляют собой глазури и ангобы? Для каких целей они применяются?
6. Какие основные переделы включает технология производства керамических материалов и изделий?
7. Назовите основные способы формования керамических изделий.
8. Охарактеризуйте пластический и полусухой способы формования керамических изделий.
9. Охарактеризуйте шликерный и комбинированный способы формования керамических изделий.
10. В каких случаях применяется технология жесткого формования керамических изделий?
11. Раскройте сущность процесса сушки керамических материалов и изделий.
12. Охарактеризуйте процесс обжига керамических материалов и изделий.
13. Дайте описание основным видам печей и сушил для производства керамических материалов и изделий.
14. Какие виды керамических материалов и изделий относятся к стеновым? Представьте их основные свойства.
15. Какие виды керамических изделий применяются для внутренней и наружной отделки (облицовки)?
16. Назовите достоинства и недостатки глиняной черепицы.
17. Какие керамические изделия применяют для мощения дорог и возведения подземных коммуникаций? Представьте их основные свойства.
18. Что относят к санитарно-техническим изделиям? Что является сырьем для их производства?
19. Раскройте особенности производства легких пористых заполнителей (керамзит, аглопорит).
20. Назовите основные разновидности кислотоупорных и огнеупорных керамических изделий. Опишите их свойства и область применения.

РАЗДЕЛ 6

СТЕКЛО И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

6.1. Общие сведения

Стекло и другие плавленные материалы и изделия получают путем охлаждения расплавленных минеральных масс. В зависимости от исходного сырья, химического состава и режима охлаждения можно получить различные по структуре и свойствам плавленные материалы и изделия: стекло и стеклянные изделия, стеклокристаллические материалы (ситаллы и шлакоситаллы), частично кристаллические плавленные материалы из горных пород и шлаков (каменное литье).

Из минеральных расплавов получают изделия самого различного назначения: листовые, светопрозрачные, конструкционные, облицовочные, трубы специальные, тепло- и звукоизоляционные.

Изделия из стекла начали изготавливать еще 3500...4000 лет до н. э. в Египте и Месопотамии. Первый стекольный завод в России был создан в 1638 году близ г. Воскресенска [5].

6.2. Стекло и его свойства

Стекло представляет собой аморфное тело, которое получается путем охлаждения расплавов различного химического состава. В результате охлаждения расплава, постепенно увеличивается его вязкость, и образующееся стекло приобретает механические свойства, сравнимые со свойствами твердых тел. Главными признаками стеклообразного состояния вещества являются отсутствие четко выраженной точки плавления, гомогенность и изотропность строения.

Получить стекло можно из оксидов SiO_2 , P_2O_5 и B_2O_3 , которые и называются стеклообразующими. Однако в технологии производства стекол сырьевой массой является многокомпонентная шихта, в состав которой, помимо стеклообразующих оксидов, входят различные добавки, регулирующие определенные свойства.

В строительстве используют, в основном, силикатное стекло, основным компонентом которого является диоксид кремния SiO_2 [5].

Стекло не имеет определенного химического состава, который может быть выражен химической формулой. Обычно состав строительных стекол выражают содержанием следующих оксидов (в % по массе): SiO_2 – 64...73,4; Na_2O_3 – 10...15,5; K_2O – 0...5; CaO – 2,5...26,5; MgO – 0...4,5; Al_2O_3 – 0...7,2; Fe_2O_3 – 0...0,4; SO_3 – 0...0,5; B_2O_3 – 0...5.

В процессе варки каждый из оксидов играет свою роль в формировании свойств стекла. Например, оксид натрия ускоряет процесс варки, понижая тем-

пературу плавления сырьевой шихты, но его большое содержание приводит к уменьшению химической стойкости стекла. Оксид калия придает блеск и повышает прозрачность. Оксид кальция улучшает химическую стойкость стекла. Оксид алюминия повышает механическую прочность, термическую и химическую стойкость стекла. Оксид бора способен повысить скорость стекловарения. Для получения оптического стекла и хрусталя в шихту вводят оксид свинца, повышающий показатель светопреломления.

Механические свойства. Стекло обладает достаточно высокими механическими характеристиками. Так предел прочности при растяжении стекла составляет 30...90 МПа, предел прочности при сжатии – 600...1000 МПа. Модуль упругости стекол колеблется в пределах $(4,5...9,8) \cdot 10^4$ МПа в зависимости от химического состава. Стекло не имеет пластических деформаций [5].

Хрупкость является главным недостатком стекла, поэтому стеклянные изделия плохо сопротивляются ударным воздействиям.

Средняя плотность обычного строительного силикатного стекла составляет 2500 кг/м³.

Оптические свойства стекол являются их важными показателями, которые характеризуются светопропусканием (прозрачностью), светопреломлением, отражением и рассеиванием. Обычные силикатные стекла пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

Коэффициент теплопроводности стекол также зависит от состава и меняется в пределах от 0,5 до 1,0 Вт/(м·°С). Теплопроводность теплоизоляционных стеклоизделий может составлять 0,032...0,14 Вт/(м·°С).

Обычное стекло имеет относительно малую **теплостойкость**, в результате низкого значения коэффициента температурного расширения ($9 \cdot 10^{-6}...15 \cdot 10^{-6}$).

Акустические свойства стекла относительно высоки. По показателю звукоизоляции слой стекла толщиной 10 мм соответствует слою кирпичной кладки в 120 мм.

Химическая стойкость стекла определяется его составом. Силикатные стекла обладают высокой стойкостью к большинству агрессивных сред (за исключением плавиковой и фосфорной кислот) [5, 13].

6.3. Сырье для производства стекла

Сырьевые материалы для производства стекла делятся на основные и вспомогательные.

К **основным** сырьевым материалам относятся минеральное сырье и некоторые продукты промышленности: кварцевый песок, сода, доломит, известняк, поташ, сульфат натрия. Кроме того, в последнее время стали широко использоваться отходы различных отраслей промышленности – побочные продукты металлургических плавильных процессов (металлургические шлаки) или процесса сжигания твердых видов топлива (топливные шлаки), стеклобой и др.

Минеральное сырье, как правило, имеет большое количество примесей и непостоянный состав. Примеси условно разделяются на две группы:

- ухудшающие качества стекломассы (оксиды железа, хрома, титана, марганца, ванадия);

- соответствующие основным компонентам состава стекла (оксиды алюминия, кальция, магния, калия, натрия).

Примеси первой группы придают стеклу нежелательную окраску, а также могут привести к образованию пороков в стекле в виде включений. Примеси второй группы обычно учитываются при расчете состава шихты.

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

Осветлители (сульфаты натрия и алюминия, калиевая селитра) способствуют удалению из стекломассы газовых пузырьков.

Глушители (плавиковый шпат, двойной суперфосфат) делают стекло непрозрачным.

Красители придают стеклу заданный цвет. Например, соединения кобальта – синий, хрома – зеленый, марганца – фиолетовый, железа – коричневый и сине-зеленые тона и т.д.

6.4. Основы технологии производства стекла

Производство строительного стекла состоит из следующих основных операций:

*Подготовка сырьевых материалов → Приготовление шихты → Варка стекла
→ Формование изделий → Отжиг → Закалка*

Подготовка включает дробление и помол материалов, поступающих на завод в виде кусков (доломит, известняк, уголь), сушку влажных материалов (песок, доломит, известняк), просеивание всех компонентов через сита заданного размера.

Приготовление шихты включает операции усреднения, дозирования и перемешивания.

Варка стекла – главнейшая и самая сложная часть технологического процесса. Варка производится в специальных стеклоплавильных печах непрерывного (ванновые печи) или периодического (горшковые печи) действия. При нагревании шихты до 1100...1150 °С происходит образование силикатов сначала в твердом виде, а затем в расплаве. При дальнейшем повышении температуры в этом расплаве полностью растворяются наиболее тугоплавкие компоненты SiO_2 и Al_2O_3 и образуется стекломасса. Эта масса неоднородна по составу и насыщена газовыми пузырьками (варочная пена). Для осветления и гомогенизации температуру стекломассы повышают до 1500...1600 °С. При этом вязкость

расплава снижается, облегчается удаление газовых включений и получается однородный расплав. Стекловарение завершается охлаждением (студкой) стекломассы до температуры, при которой она приобретает вязкость, требуемую для выработки стеклоизделий.

Формование изделий производится различными методами: вытягиванием, литьем, прокатом, прессованием и выдуванием. Формование листового стекла производится путем вертикального или горизонтального вытягивания ленты из расплава, прокатом или способом плавающей ленты (флоат-способ). *Метод вытягивания* применяют для получения стекла толщиной 2...6 мм. Лента вытягивается из стекломассы вращающимися валками машины через лодочку (огнеупорный брус с продольной прорезью) или со свободной поверхности стекломассы (безлодочный способ).

Флоат-способ в настоящее время является наиболее совершенным и высокопроизводительным. Он позволяет получать стекло с высоким качеством поверхности. Особенностью способа является то, что процесс формования ленты стекла протекает на поверхности расплавленного олова в результате растекания стекломассы. Поверхности листового стекла получают ровными и гладкими и не требуют дальнейшей полировки.

Отжиг – обязательная операция при изготовлении изделий. При быстром охлаждении для закрепления формы изделий в них возникают большие внутренние напряжения, которые могут привести даже к самопроизвольному разрушению стеклоизделий.

Закалка применяется при получении стекла с повышенной прочностью при сжатии и изгибе по сравнению с обычным стеклом. Способ закалки включает в себя нагревание стекла до пластического состояния и затем резкое охлаждение поверхности.

Заключительная обработка изделий включает в себя операции шлифования, полирования, декоративной обработки [5].

6.5. Стекланные материалы и изделия

6.5.1. Листовые светопрозрачные и светорассеивающие стекла

Листовое стекло – основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин и внутренней отделки зданий. Разновидностями листового стекла является оконное, витринное, увиолевое, узорчатое, армированное, закаленное, матированное, теплозащитное.

Оконное стекло выпускается толщиной 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм в виде листов размерами от 750×1300 мм до 1600×2200 мм. Светопропускание оконных стекол 84...89 %.

Витринное стекло изготавливается полированным и неполированным, толщиной 6,5...12 мм и максимальных размеров 3000×6000 мм. Применяется для остекления витрин, витражей и окон общественных зданий. Светопропус-

кание витринных стекол 75...83 %.

Увиолевое стекло пропускает 25...75 % ультрафиолетовых лучей. Это достигается за счет применения стекольной шихты с минимальными примесями оксидов железа, титана, хрома. Такое стекло применяется для остекления оранжерей и заполнения оконных проемов в детских и лечебных учреждениях.

Стекло листовое узорчатое (рис. 6.1) имеет на одной или обеих сторонах четкий рельефный узор и изготавливается способом проката. Узорчатое стекло бывает бесцветным и цветным. Применяется для декоративного остекления оконных и дверных проемов, внутренних перегородок, крытых веранд и т.д. Для этих же целей применяется листовое стекло «мороз», имеющее на одной стороне узор, напоминающий заиндевшее стекло.

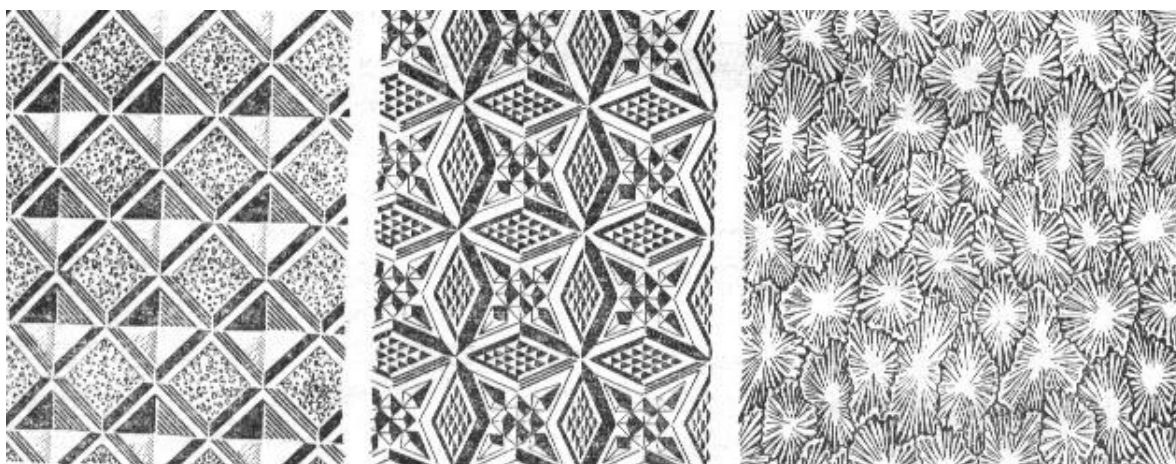


Рис. 6.1. Разновидности узорчатого стекла

Армированное стекло (рис. 6.2) получают методом проката с одновременной запрессовкой в обычную или цветную стекломассу металлической сетки. Для армирования применяется сварная или крученая сетка из стальной проволоки со светлой поверхностью или с защитным алюминиевым покрытием. Армированное стекло отличается повышенной прочностью и огнестойкостью. Светопропускание бесцветного армированного стекла 65...75 %. Применяется для устройства световых проемов, фонарей верхнего света, ограждений в зданиях и сооружениях различного назначения.

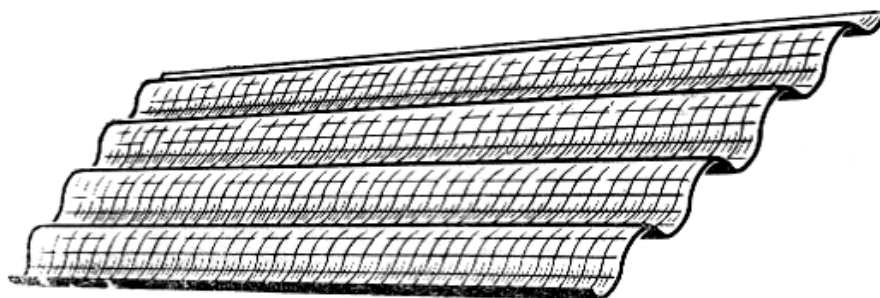


Рис. 6.2. Армированное волнистое стекло

Закаленное стекло получают путем термической обработки по специальному режиму. Благодаря этому стекло является безопасным, так как при разрушении распадается на мелкие осколки с тупыми нережущими краями. Основным потребителем закаленного стекла – транспорт. В строительстве закаленное стекло применяют для устройства дверей, перегородок, потолков, ограждения лестничных клеток и лифтовых кабин.

Матированное стекло – стекло, одна или обе стороны которого обработаны пескоструйным аппаратом сплошь или в виде рисунка. Стекло имеет ровную матовую поверхность, обеспечивает светорассеяние и исключает (или ухудшает) видимость предметов сквозь него. Применяется матированное стекло, когда необходимо полностью или частично исключить видимость, но сохранить светопропускание.

Теплопоглощающее стекло предназначено для защиты интерьеров зданий от воздействия прямого солнечного излучения и уменьшения солнечной радиации в помещениях жилых, культурных, общественных и промышленных зданий. Стекла голубого, серого и бронзового оттенков получают введением в состав стекломассы оксидов кобальта, железа или селена. Задерживая большое количество инфракрасных лучей, стекло нагревается и подвергается большим температурным деформациям. Поэтому при остеклении следует предусматривать достаточный зазор между рамой и стеклом.

Теплоотражающее стекло применяется для нагрева помещений от солнечных и тепловых лучей. Изготавливается нанесением на поверхность тонких пленок металлов и их оксидов. Светопропускание стекол 30...70 %, а пропускание теплоты 40...60 %. В связи с тем, что в таких стеклах большая часть инфракрасных лучей не поглощается, а отражается, само стекло почти не нагревается. Вследствие уменьшения излучения из помещения они повышают теплозащиту зимой. Стекла имеют различную окраску: золотистую, голубую, оранжевую и др.

Многослойное стекло (триплекс), армированное или неармированное, состоит из нескольких листов стекла, прочно склеенных между собой прозрачной эластичной прокладкой, чаще всего из поливинилбутирольной пленки. При ударе оно не дает осколков и является безопасным.

Стекло устойчивое к радиоактивным излучениям применяется при строительстве АЭС и предприятий по изготовлению изотопов. Для поглощения радиоактивных лучей используются стекла с высоким содержанием свинца и бора. Например, тяжелое свинцовое стекло плотностью 6200 кг/м^3 , содержащее 80 % оксида свинца, по своей защитной способности в этом отношении эквивалентно стали [13].

6.5.2. Светопрозрачные изделия и конструкции из стекла

Кроме листового светопрозрачного стекла в строительстве применяются светопрозрачные изделия и конструкции в виде стеклоблоков, стеклопрофилита, стеклопакетов и стеклянных труб.

Стеклянные блоки – пустотелые изделия квадратной (145×145, 220×220, 295×295 мм) или прямоугольной (245×296, 245×120 мм) формы, состоящие из двух прессованных полублоков сваренных или склеенных между собой (рис. 6.3). Блоки имеют небольшую среднюю плотность 800 кг/м³, предел прочности при сжатии 4...5 МПа, низкую теплопроводность 0,46 Вт/(м·°С), достаточное светопропускание 50...65 %. Применяются для устройства светопрозрачных элементов стен, перекрытий и перегородок, остекления лестничных клеток, шахт лифтов и др.

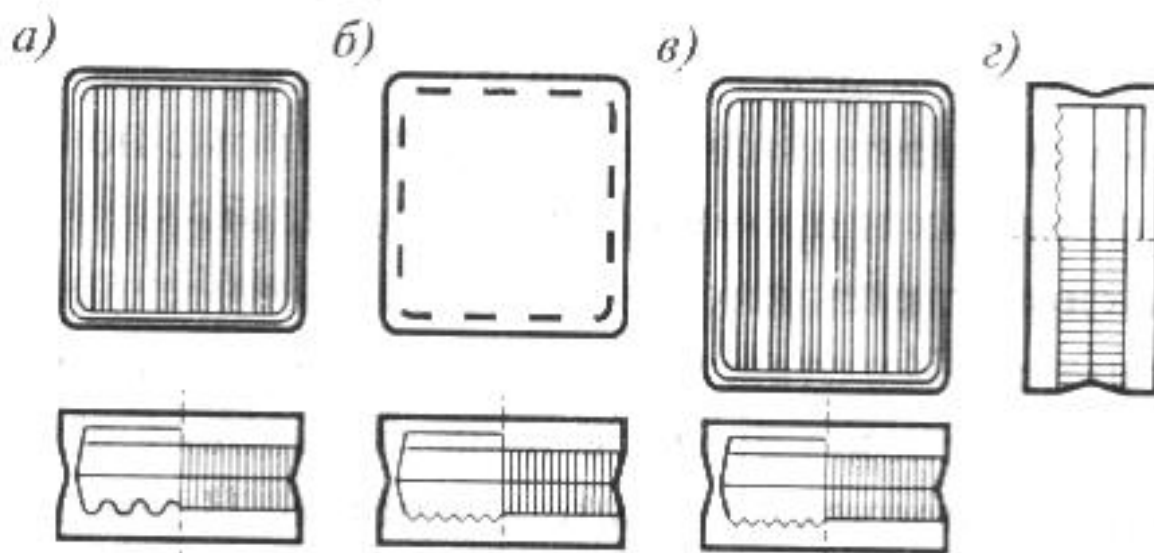


Рис. 6.3. Виды стеклянных блоков:

a – блок квадратной формы БК; *б* – блок квадратной формы цветной БКЦ;
в, г – блок прямоугольной формы цветной БПЦ

Профильное стекло (стеклопрофилит) представляет собой погонажные длинномерные светопрозрачные изделия, применяемые для устройства светопрозрачных ограждений и самонесущих стен, внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в зданиях различного типа. Профильное стекло изготавливается открытого (швеллерное, ребристое) и замкнутого (коробчатое, овальное, треугольное и т.д.) сечений (рис. 6.4), неармированное и армированное, бесцветное и цветное. Светопропускание стеклопрофилита 73...82 %, теплопроводность – 0,76 Вт/(м·°С).

Характеристики профильного стекла приведены в табл. 6.1.

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

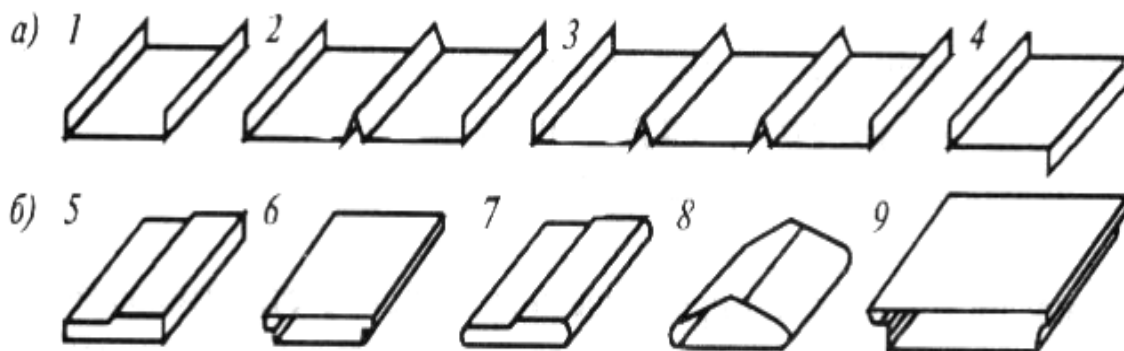


Рис. 6.4. Виды профильного стекла открытого (а) и закрытого (б) сечения:

- 1 – швеллерное; 2, 3 – ребристое; 4 – обрезное;
 5 – коробчатое с одним швом; 6 – коробчатое с двумя швами;
 7 – коробчатое с овальными кромками боковых стенок;
 8 – треугольное; 9 – коробчатое с козырьком

Таблица 6.1

Основные размеры профилированных листов [1]

Тип	Марка	Размеры, мм			Масса 1 м ² , кг
		ширина	высота	длина	
Швеллерное	ШП-300	294	50	3600	7,5
	ШП-300	294	35		5,3
	ШП-250	244	35		4,2
Коробчатое с одним швом	КП-1-350	294	50	4200	9,5
	КП-1-250	244			8,1
Коробчатое с двумя швами	КП-2-300	294	55	4200	10,0
	КП-2-250	244			8,6
Ребристое	РП-600	594	50	360	10,6

Трубы стеклянные и фасонные части к ним применяются для трубопроводов, используемых для транспортировки жидких, газообразных и твердых веществ с различными физико-химическими свойствами (за исключением плавиковой кислоты) при температуре от -50°C до $+120^{\circ}\text{C}$. Стеклянные трубы производятся диаметром от 40 до 200 мм и длиной от 1500 до 3000 мм. Стеклянные трубы хорошо сопротивляются коррозии, обладают достаточной механической прочностью, гигиеничны. Основными недостатками стеклянных труб

является малое сопротивление изгибу и удару, а также значительная хрупкость.

6.5.3. Облицовочные изделия из стекла

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

Цветное листовое стекло изготавливается на основе обычного и термоупрочненного стекла. Окраска поверхности осуществляется электрохимическим способом. Применяются для декоративного остекления окон, дверей, перегородок, мебели, изготовления витражей и светильников.

Марблит – листовое изделие из цветного глушеного стекла толщиной 5...25 мм с полированной лицевой поверхностью и рифленой тыльной стороной. Такие изделия используют для облицовки фасадов и внутренних помещений общественных зданий, а также для подоконников, крышек столов, прилавков.

Облицовочная плитка – изделия из неокрашенного или цветного глушеного стекла размерами от 50×50 до 150×150 мм и толщиной 4...9 мм. Лицевая поверхность плиток может быть гладкой или с различными рельефными узорами, тыльная сторона – рифленой или шероховатой, что обеспечивает лучшее сцепление с раствором.

Эмалированная плитка изготавливается из отходов цветного оконного или узорчатого стекла путем его резки на требуемые размеры, нанесения на одну из поверхностей непрозрачной эмали и ее сплавления. Плитка предназначена для внутренней облицовки зданий различного назначения.

Плитки стеклянные облицовочные коврово-мозаичные и ковры из них являются одним из наиболее эффективных облицовочных материалов. Они долговечны, обладают морозостойкостью и гигиеничностью, надежно защищают фасады стен зданий от воздействия внешней среды. Выпускаются размерами 21×21×5 и 46×46×5 мм.

Смальта представляет собой кусочки глушеного цветного стекла неправильной формы размером до 20 мм, изготовленные литьем стекломассы или прессованные из стеклянного порошка и используемые для отделки фасадов, изготовления мозаичных панно, художественных и декоративных композиций на фасадах зданий или в интерьерах. Палитра смальты превышает 200 цветов и оттенков [5, 10].

6.5.4. Изделия из пеностекла

Пеностекло представляет собой искусственный материал, подобный пемзе. Процесс производства пеностекла заключается во вспучивании размолотого стекла, смешанного с небольшим количеством (1...3 %) древесного угля, известняка или других материалов, выделяющих газ при температуре размягчения стекла. Пеностекло хорошо обрабатывается, склеивается, гвоздится, возду-

хопроницаемо и негигроскопично. Изготавливается в виде блоков и гранул. Средняя плотность пеностекла $100 \dots 700 \text{ кг/м}^3$, коэффициент теплопроводности $0,04 \dots 0,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{}^\circ\text{С)}$, предел прочности при сжатии $0,1 \dots 15 \text{ МПа}$. Широко применяется в конструкциях как теплоизолирующий и звукопоглощающий материал.

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

Гранулированное пеностекло применяется в качестве особо легкого заполнителя в производстве легкого или теплоизоляционного бетона. Изготавливается путем вспенивания во вращающихся печах сырцовых гранул, полученных из порошка стекла, измельченного в шаровых мельницах. Насыпная плотность гранулированного пеностекла $100 \dots 150 \text{ кг/м}^3$.

6.5.5. Материалы на основе стекловолокна

Стекловолоконное волокно применяется в производстве композиционных строительных материалов в виде непрерывных нитей, тканей, холста, рубленого стекловолокна и стекловаты. Диаметр стекловолокон $5 \dots 15 \text{ мкм}$, прочность их при растяжении достигает 4000 МПа .

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

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

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

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

6.6. Ситаллы и шлакоситаллы

Ситаллы (название произошло от сокращения двух слов – силикат и кристалл) представляют собой стеклокристаллические материалы, полученные из стеклянных расплавов путем их полной или частичной кристаллизации. Структура ситаллов состоит из мелких ($1 \dots 2 \text{ мкм}$) кристаллов, между которыми находится прослойка стекловидной фазы. Объем кристаллической фазы в ситаллах достигает $90 \dots 95 \%$.

Сырьем для производства ситаллов являются те же природные материа-

лы, что и для стекла, но к чистоте сырья предъявляются очень высокие требования. Кроме того, в расплав вводят добавки, катализирующие кристаллизацию при последующей термообработке (соединения фторидов или фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов). Технология производства изделий из ситаллов не отличается от технологии производства изделий из стекла, требуется лишь дополнительная термическая обработка стекла в кристаллизаторе.

Обладая поликристаллическим строением, ситаллы, сохраняя положительные свойства стекла, лишены его недостатков: хрупкости, малой прочности при изгибе, низкой теплостойкости. По своим физико-техническим свойствам ситаллы выдерживают сравнение с металлами. Твердость ситаллов приближается к твердости закаленной стали. Ситаллы обладают высокой стойкостью к воздействию сильных кислот (кроме плавиковой) и щелочей. Прочность ситаллов при сжатии до 500 МПа.

В строительстве ситаллы используются для устройства полов промышленных цехов, в которых могут быть проливы кислот, щелочей, расплавов металлов, а также движение тяжелых машин. Высокую технико-экономическую эффективность дает применение ситаллов для изготовления химической аппаратуры и труб для транспортировки высокоагрессивных сред и теплообменников. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, серого, коричневого, кремового, светлого цветов, глухие и прозрачные.

Шлакоситаллы – стеклокристаллические материалы, изготавливаемые путем управляемой кристаллизации стекла, полученного на основе металлургических шлаков, кварцевого песка и некоторых добавок. По внешнему виду шлакоситаллы представляют собой плотные, тонкозернистые и непрозрачные материалы. Средняя плотность шлакоситаллов $2500...2700 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии до 650 МПа, при изгибе до 120 МПа, термическая стойкость до $750 \text{ }^\circ\text{C}$, водопоглощение близкое к 0 %.

Возможно получение также пеношлакоситаллов со средней плотностью $300...600 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии 6...14 МПа и термической стойкостью до $750 \text{ }^\circ\text{C}$, которые могут применяться для тепловой изоляции трубопроводов теплотрасс и промышленных печей [5].

6.7. Изделия из каменных расплавов

Литые каменные изделия изготавливают из расплавов горных пород или шлаков литьем в формы с последующей термической обработкой. По своей однородности и техническим свойствам литые изделия превосходят многие самые прочные природные каменные материалы.

В зависимости от используемого сырья каменное литье бывает темного и светлого цвета. Для получения изделий темного цвета применяются магматические горные породы – базальты и диабазы, а также доменные, мартеновские шлаки и шлаки цветной металлургии. Для получения светлого каменного литья используют осадочные горные породы - доломит, известняк, мрамор и кварце-

вый песок.

Технология получения литых изделий включает подготовку сырьевых материалов (дробление, помол, перемешивание), плавление, отливки изделий, кристаллизацию и отжиг. Плавление диабаз и базальта чаще всего производят в ваннах печах или вагранках при температуре 1400...1500 °С, а при изготовлении светлого каменного литья - в электропечах.

Плотные литые каменные изделия имеют пористость не более 2 %, среднюю плотность 2900...3000 кг/м³, высокую морозостойкость, прочность при сжатии 200...240 МПа и при растяжении 20...30 МПа; истираемость до 5 раз меньше, чем у гранита, базальта и диабаз; высокую химическую стойкость, в том числе к воздействию концентрированных серной и соляной кислот.

В строительстве литые каменные изделия используют в особо тяжелых условиях эксплуатации (брусчатка для дорог, трубы для агрессивных сред, облицовочные плитки для предприятий химической промышленности).

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

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой стекло? Опишите основные признаки стеклообразного состояния.
2. Какие оксиды входят в состав стекол? Какую роль играют оксиды в формировании свойств стекла?
3. Перечислите и охарактеризуйте основные свойства стекла.
4. Что является сырьем для производства стекла?
5. Дайте описание основным технологическим операциям при производстве стекла.
6. Перечислите основные разновидности листовых изделий из стекла.
7. Назовите светопрозрачные изделия и конструкции из стекла.
8. Какие стеклянные изделия применяются для облицовки?
9. Что представляет собой пеностекло? Представьте основные разновидности и свойства изделий из пеностекла.
10. Что такое ситаллы и шлакоситаллы? Охарактеризуйте эти материалы и расскажите об областях их применения.
11. Как получают изделия из каменных расплавов? Назовите их основные свойства и область применения.

РАЗДЕЛ 7

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

7.1. Общие сведения

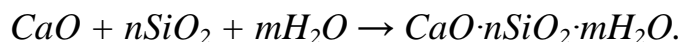
Неорганические вяжущие вещества – порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное затвердевать и переходить в камневидное тело.

Неорганические вяжущие вещества применяют для изготовления бетонов, растворов, силикатного кирпича, асбестоцементных и других материалов. В зависимости от способности твердеть в определенной среде их делят на воздушные и гидравлические вяжущие вещества.

Воздушные вяжущие способны затвердевать и сохранять прочность только в воздушно-сухих условиях (при температуре 18...20 °С, влажности 60...70 %). К ним относятся гипсовые, магнезиальные вяжущие, жидкое стекло, воздушная известь.

Гидравлические вяжущие твердеют и сохраняют прочность не только на воздухе, но и в воде (гидравлическая известь, романцемент, портландцемент и его разновидности, глиноземистый, расширяющиеся цементы и др.).

В отдельную группу выделяют **вяжущие автоклавного твердения**, которые способны твердеть в среде нагретого насыщенного пара в автоклавах (температура 175...210 °С, влажность 100 %, давление 0,8...1,6 МПа). В таких условиях происходит взаимодействие между исходными компонентами по реакции



Продукты реакции обеспечивают высокую прочность и водостойкость изделий. К таким вяжущим относятся известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые и другие вяжущие [5, 10, 11].

Общая технология производства неорганических вяжущих веществ состоит из следующих операций:

Добыча сырья → Складирование → Подготовка → Обжиг → Помол → Складирование готовой продукции → Отправка потребителю

7.2. Воздушные вяжущие вещества

7.2.1. Гипсовые вяжущие вещества

Гипсовые вяжущие вещества – воздушные вяжущие вещества, состоящие в основном из полуводного гипса ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) или ангидрита ($CaSO_4$) и полученные тепловой обработкой сырья и помолом.

Основные технологические этапы в производстве гипса:

*Добыча → Подготовка → Обжиг → Помол
(Помол → Обжиг, Обжиг с помолом) → Остывание →
Складирование готовой продукции*

Сырьем для получения гипсовых вяжущих служит горная порода, состоящая преимущественно из минерала гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а также природный ангидрит, отходы промышленности (фосфогипс, борогипс).

Различают низкообжиговые и высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества.

Низкообжиговые получают тепловой обработкой при температуре 130...180 °С природного гипса:



В зависимости от условий, в которых осуществляется нагревание, полуводный гипс может иметь различное строение. При удалении воды в виде перегретого пара (например, в установках открытого типа – сушильный барабан, гипсоварочный котел) получают мельчайшие плохо выраженные кристаллы гипса *β-модификации*. К ним относятся строительный, формовочный и высокопрочный гипс.

В условиях, когда вода из сырья выделяется в жидком состоянии, что осуществимо в установках закрытого типа (автоклав, запарочный котел), образуются крупные кристаллы гипса *α-модификации*.

Для низкообжиговых гипсовых вяжущих установлены марки, указанные в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Марки гипса по прочности

Марка вяжущего	Предел прочности, МПа, образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 ч, не менее	
	при сжатии	при изгибе
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Помимо прочности для гипсовых вяжущих устанавливаются тонкость помола и сроки схватывания.

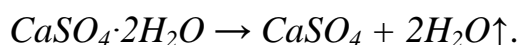
Недостатками гипса являются значительные деформации под нагрузкой (ползучесть) и низкая водостойкость.

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

Низкообжиговые гипсовые вяжущие применяют для изготовления гипсовых деталей и гипсобетонных изделий (камней, перегородок), сухой штукатурки (панель, состоящая из гипсового сердечника, оклеенного картоном или другим материалом), а также для получения гипсоцементнопуццолановых вяжущих (ГЦПВ).

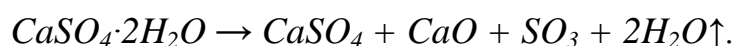
Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают обжигом природного гипса или ангидрита при температуре 600...1000 °С. К ним относятся ангидритовый цемент и эстрих-гипс.

Ангидритовый цемент (ангидритовое вяжущее) состоит преимущественно из ангидрита CaSO₄. Его изготавливают обжигом природного гипса при температуре 600...700 °С:



Полученный CaSO₄ вяжущими свойствами не обладает. Для его твердения при помоле в качестве активизаторов твердения добавляют вещества, отличающиеся щелочным характером (известь, обожженный доломит, основные доменные шлаки и др.).

Эстрих-гипс получают обжигом двухводного гипса или ангидрита при температуре 800...1000 °С



Эстрих-гипс состоит в основном из безводного сернокислого кальция, но в нем также присутствует небольшое количество окиси кальция (3...5 %), которая образуется в результате термического разложения части сульфата кальция. CaO выполняет роль катализатора при твердении.

Ангидритовый цемент и эстрих-гипс в отличие от низкообжиговых гипсовых вяжущих медленно схватываются и твердеют. Предел прочности при сжатии стандартных образцов через 28 суток твердения 5...20 МПа и более.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие вещества применяют для устройства бесшовных полов, для приготовления штукатурных и кладочных растворов, бетонов, искусственного мрамора [4, 5].

7.2.2. Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальные вяжущие вещества (каустический магнезит и каустический доломит) – тонкие порошки, главной составляющей которых является оксид магния. Их получают путем обжига (750...850 °С) магнезита или доломита.

Каустический магнезит получают обжигом магнезита $MgCO_3$. Он состоит в основном из окиси магния MgO .

Каустический доломит изготовляют обжигом природного доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$. Он состоит в основном из окиси магния и карбоната кальция, который не обладает вяжущими свойствами и снижает его активность.

При затворении этих вяжущих водой процесс гидратации идет очень медленно, и затвердевший камень имеет низкую прочность. Поэтому каустический магнезит и доломит затворяют водным раствором хлористого или сернокислого магния. Это ускоряет твердение и значительно повышает прочность.

Магнезиальные вяжущие вещества характеризуются высокой прочностью (60...100 МПа), хорошим сцеплением с деревом, поэтому их используют для приготовления ксилолитовых монолитных и плиточных полов (заполнителем являются опилки) и фибролита.

7.2.3. Растворимое жидкое стекло

Растворимое стекло представляет собой водный раствор силиката натрия или силиката калия ($Na_2O \cdot nSiO_2$, $K_2O \cdot nSiO_2$). Это стекло получают варкой кварцевого песка и соды в стекловаренных печах при температуре 1300...1400 °С. При застывании расплава образуются твердые полупрозрачные куски, называемые силикат-глыбами. В строительстве растворимое стекло применяют обычно в жидком виде и называют жидким стеклом. Жидкое стекло получают растворением силикат-глыбы водяным паром в автоклаве.

Жидкое стекло применяют для склеивания элементов конструкций из картона, дерева, силикатных материалов, стекла и металла, используют для приготовления кислотоупорного цемента (смесь водного раствора жидкого стекла с молотым кварцевым песком и ускорителем твердения), которым покрывают поверхности химических резервуаров. Натриевое жидкое стекло применяют для изготовления кислотоупорных и огнеупорных бетонов, огнезащитных красок (табл. 7.2), для уплотнения грунтов. Калиевое стекло, более дорогое, применяют преимущественно в силикатных красках и мастиках [1].

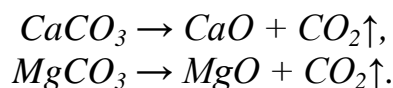
Таблица 7.2

Технические характеристики огнезащитных красок на жидком стекле

Наименование краски	Состав	Расход на 1 м ² , кг, при толщине покрытия 1 мм	Предел огнестойкости, мин
Силикатно-вермикулитовая	Жидкое стекло, белила титановые, вермикулит молотый	1,0	45
Силикатно-асбестовая	Жидкое стекло, асбест распушенный коротковолокнистый, тальк, белила	1,0	30
Силикатно-глиняная	Жидкое стекло, кирпич молотый, глина	1,5	30
Силикатно-перлитовая	Жидкое стекло, вспученный перлит, волокна каолиновой ваты	1,2	30

7.2.4. Воздушная известь

Воздушную известь получают путем обжига (900...1200 °С) кальциево-магнезиальных карбонатных горных пород (известняки CaCO₃, мел, доломит CaCO₃·MgCO₃ и др.) с содержанием глины до 6...8 %:



Известь состоит в основном из оксидов CaO и MgO. В зависимости от содержания оксида магния различают: кальциевую известь с содержанием MgO до 5 %, магнезиальную – 5...20 % и доломитовую – 20...40 %.

Чем выше содержание основных окислов, тем выше качество извести, ее активность и сорт.

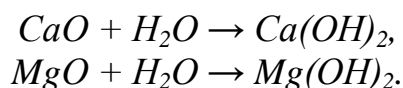
Обжиг сырья производится в шахтных, вращающихся печах и установках кипящего слоя.

После обжига получают продукт в виде пористых кусков различной величины, который называют комовой негашеной известью.

При высоких температурах обжига образуются крупные, плотные кристаллы окиси кальция и магния и полученный продукт медленно взаимодействует с водой («пережог»). Когда температура обжига недостаточно высока или когда куски сырья имеют крупные размеры, возможно образование «недожога», то есть неразложившегося углекислого кальция, который отощает известь, ухудшает ее пластичность.

Комовая негашеная известь является полуфабрикатом, который для пре-

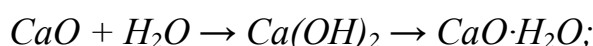
вращения в вяжущее предварительно измельчают, получая молотую негашеную известь, или гасят водой, получая гашенную известь.



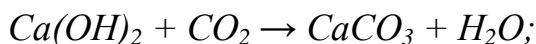
В зависимости от количества воды, добавляемой к комовой извести, можно получить известь-пушенку, известковое тесто или известковое молоко.

Твердение извести может происходить по нескольким механизмам:

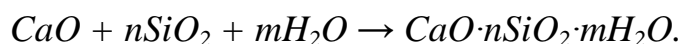
1) гидратное твердение –



2) карбонатное твердение –



3) гидросиликатное твердение (в автоклавах) –



Применяется известь в смеси с песком для изготовления кладочных и штукатурных растворов, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях. Широкое применение воздушная известь нашла в производстве силикатного кирпича и силикатных бетонов: ячеистых, легких, тяжелых. Также известь используют для получения различных смешанных вяжущих (известково-шлаковых, известково-золевых, известково-пуццолановых).

7.3. Гидравлические вяжущие вещества

7.3.1. Гидравлическая известь

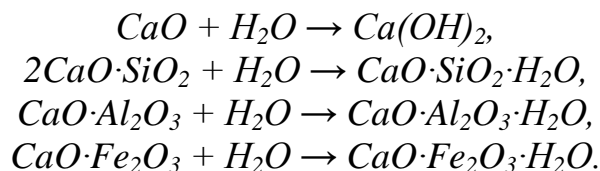
Гидравлическая известь используется в строительстве более 350 лет. Ее начали применять с середины XVII века. В XVIII...XIX веках она уже широко применялась во многих странах Европы (Англия, Франция), в том числе и в России. На основе этого вяжущего построены морские сооружения, гидротехнические конструкции, маяки. Одним из ярких примеров сооружений, построенных с применением гидравлической извести, является Суэцкий канал, возраст которого 200 лет.

Гидравлическую известь получают обжигом в шахтных печах при температуре 1100...1200 °С известняков с содержанием глины 8...20 %.

При обжиге происходит образование оксидов Ca, а также SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃, которые соединяются между собой с получением низкоосновных сили-

катов, алюминатов и ферритов кальция ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$). Именно эти соединения обеспечивают гидравлические свойства извести.

Для твердения гидравлической извести вначале необходимы, как и для воздушной извести, воздушно-сухие условия, а затем влажные, чтобы обеспечить гидратацию силикатов, алюминатов и ферритов кальция.

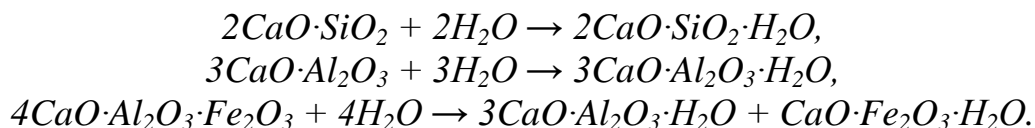


Гидравлическую известь применяют для изготовления строительных растворов, бетонов низких марок и бетонных камней.

7.3.2. Романцемент

Романцемент (римский цемент) получают обжигом при температуре $1200\dots1250^\circ\text{C}$ известняков, содержащих более 25 % глины, с последующим помолом в тонкий порошок.

Романцемент почти целиком состоит из низкоосновных силикатов, алюминатов и ферритов кальция, которые придают ему способность твердеть и сохранять прочность в воде. Свободного CaO в продуктах обжига нет.



Романцемент выпускают трех марок: М50, М100 и М150.

Романцемент применяют для изготовления штукатурных и кладочных растворов, бетонов низких марок, смешанных вяжущих и др.

Гидравлическую известь и романцемент ранее применяли широко, но в настоящее время эти вяжущие уступили место более совершенным гидравлическим вяжущим и прежде всего портландцементу.

7.3.3. Портландцемент

Портландцемент – важнейшее гидравлическое вяжущее вещество. Это основной вяжущий материал современного строительства. По масштабам производства и применения портландцемент занимает первое место среди вяжущих веществ. Ежегодно промышленность нашей страны выпускает 58 млн тонн этого вяжущего. Для сравнения: в Китае его производится 900 млн тонн в год.

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолом портландцементного клинкера с гипсом, а иногда и со специальными до-

бавками по следующей технологической цепочке:

Добыча сырья → Складирование → Подготовка → Обжиг → Охлаждение → Помол с гипсовым камнем и минеральными добавками → Складирование готовой продукции

Портландцементный клинкер представляет собой продукт обжига при температуре 1450°C до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка (мела, известнякового туфа, мрамора) и глины (суглинка, глинистых сланцев) или некоторых других сырьевых материалов (мергеля). Внешне клинкер представляет собой спекшиеся зерна размером $10\dots 60$ мм, состоящие из нескольких кристаллических фаз и небольшого количества стекла.

Основными минералами портландцементного клинкера являются:

- трехкальциевый силикат (алит) $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S) – $45\dots 60$ %;
- двухкальциевый силикат (белит) $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S) – $20\dots 30$ %;
- трехкальциевый алюминат $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – $3\dots 15$ %;
- четырехкальциевый алюмоферрит (целит) $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) – $10\dots 20$ %.

Кроме вышеуказанных основных минералов в составе клинкера присутствует клинкерное стекло $5\dots 15$ %, состоящее преимущественно из CaO , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . В нем же в свободном состоянии могут присутствовать CaO ($0,5\dots 1$ %) и MgO (< 5 %).

Каждый из клинкерных минералов имеет свои специфические свойства.

C_3S – алит, основной минерал портландцемента. Он определяет высокую прочность, быстроту твердения, высокую гидравлическую активность. Повышенное его содержание обеспечивает получение из такого клинкера высокомарочного цемента.

C_2S – белит, после затворения водой твердеет медленно, выделяя малое количество теплоты. С течением времени (спустя $1\dots 2$ года) белит становится активнее алита. Прочность его неуклонно растет со временем.

C_3A – характеризуется высокой активностью. В первые сутки твердения он выделяет наибольшее количество теплоты гидратации и быстро твердеет. Однако продукты его твердения имеют высокую пористость и не придают цементному камню прочности. Трехкальциевый алюминат входит в состав быстротвердеющих цементов.

C_4AF – целит, характеризуется умеренным тепловыделением и по скорости твердения занимает промежуточное положение между алитом и белитом. Прочность продуктов его гидратации в ранние сроки ниже, чем у алита, и несколько выше, чем у белита.

Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Поэтому для замедления сроков его схватывания в состав при помолке клинкера вводят гипс, фосфо-

гипс, борогипс.

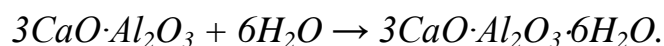
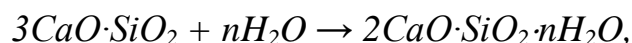
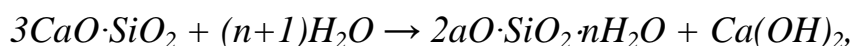
В зависимости от свойств исходного сырья различают сухой, мокрый и комбинированный способы производства портландцементного клинкера.

Сухой способ производства состоит из высушивания и помола известняка и глины, и в смешении их в виде сухих компонентов. Обжиг смеси ведут в коротких вращающихся печах. При этом требуется надежная система аспирации и пылеочистки.

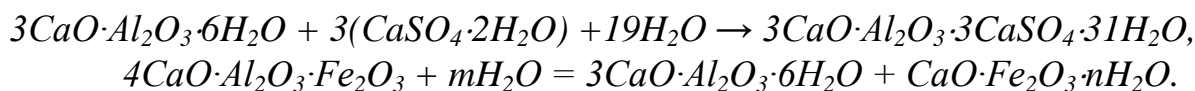
При использовании *мокрого способа* глина распускается в шлам и в нее добавляется порошкообразный известняк. В этом случае обжиг ведут в длинных вращающихся печах.

При реализации *комбинированного способа* подготовка сырья ведется по мокрому способу, далее следует сушка шлама и обжиг в коротких вращающихся печах.

При взаимодействии с водой происходят следующие реакции:

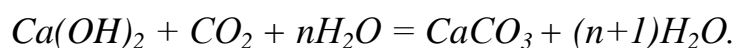


Поскольку в цементе имеется гипс, последний вступает в реакцию с $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$, образуя труднорастворимое соединение – гидросульфоалюминат кальция по уравнению



По скорости взаимодействия с водой клинкерные минералы располагаются в порядке возрастания в следующей последовательности: C_3A , C_4AF , C_3S и C_2S .

Если твердение цемента происходит на воздухе, то рассмотренные выше процессы дополняются карбонизацией гидроксида кальция по реакции



Эта реакция происходит на поверхности цементного камня с образованием твердой тонкой пленки углекислого кальция $CaCO_3$, что увеличивает стойкость и прочность цементного камня.

Затвердевший в конструкциях портландцемент под влиянием физико-химического воздействия окружающей среды подвергается коррозии (разрушению).

Различают три основных разновидности коррозионных процессов.

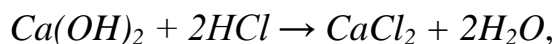
Коррозия первого вида (выщелачивания) возникает при действии на цементный камень проточных (пресных) вод. Эти воды вымывают $Ca(OH)_2$, обра-

зующийся при гидратации CaO, а также выделяющийся при гидролизе C₃S. В результате этого повышается пористость цементного камня и снижается его прочность, что ведет к его постепенному разрушению.

С целью уменьшения коррозии выщелачивания необходимо применять портландцемент с содержанием до 50 % C₃S. С этой же целью рекомендуется вводить в портландцемент активные добавки (трепел, диатомит и др.), которые связывают Ca(OH)₂ в малорастворимый гидросиликат кальция. Рекомендуется также повышать плотность бетона поверхностных слоев конструкций, используя в том числе и карбонизацию.

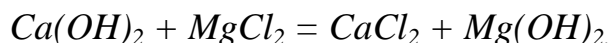
Коррозия второго вида происходит при действии на цементный камень агрессивных веществ, которые вступают в обменные реакции с составляющими цементного камня. При этом образуются легко растворимые соединения, вымываемые соли либо аморфные массы, не обладающие связующими свойствами.

Различают *кислотную коррозию* под действием растворов кислот



где образовавшийся хлористый кальций CaCl₂ является легко растворимым соединением. От кислотной коррозии бетон защищают с помощью защитных кислотостойких материалов.

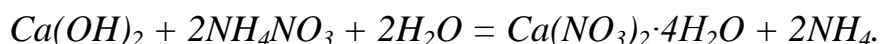
Магнезиальная коррозия возникает под действием на цементный камень морской воды, воды солевых озер, а также вод, содержащих MgCl₂:



Хлористый кальций CaCl₂ обладает хорошей растворимостью и быстро вымывается, а гидроксид магния Mg(OH)₂ представляет собой аморфное вещество, не обладающее связующими свойствами.

Коррозия может происходить и *под действием органических кислот* (льняное, хлопковое масло, рыбий жир). Нефть и нефтепродукты не опасны для цементного камня. Разрушают цементный камень уксусная, стеариновая, молочная, винная кислоты, так как они омыляются под действием Ca(OH)₂.

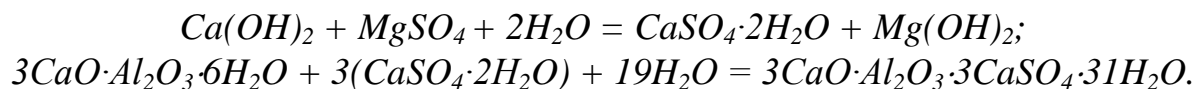
Разрушение цементного камня может происходить и *под действием минеральных удобрений*. Особенно вредны для бетона аммиачные удобрения (сульфат аммония, аммиачная селитра), фосфорные удобрения (суперфосфат):



Образующийся нитрат кальция Ca(NO₃)₂·4H₂O хорошо растворим в воде и легко вымывается из цементного камня.

Третий вид коррозии характеризуется прониканием в цементный камень растворов солей, которые при взаимодействии с составляющими цементного камня образуют соединения, вызывающие внутренние напряжения. Чаще всего

этот вид коррозии имеет место при действии CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 , входящих в состав большинства природных грунтовых и сточных вод. Образование новых соединений в порах идет по реакциям:



Образующийся при этом труднорастворимый гидросульфоалюминат кальция, кристаллизуясь с большим количеством воды, увеличивается в объеме в 2,5 раза, что влечет за собой растрескивание бетона, затем начинается коррозия арматуры и разрушение конструкции.

Защита цементного камня от коррозии осуществляется главным образом за счет применения специальных цементов определенного минералогического состава, введения необходимого количества активных минеральных добавок, создания бетонов плотной структуры, применения защитных покрытий и облицовок (битумных, полимерных пленок, стекла, керамики).

Промышленность выпускает три разновидности портландцемента: Д0 – без добавок, Д5 – с введением при помоле до 5 % активных минеральных добавок и Д20, в который разрешается вводить до 20 % добавок.

К основным строительно-техническим свойствам портландцемента относят: прочность, которая характеризуется маркой (табл. 7.3), истинную плотность ($\rho = 3,0 \dots 3,2 \text{ г/см}^3$), насыпную плотность ($\rho_n = 1,3 \text{ г/см}^3$), тонкость помола ($S_{\text{уд}} = 2800 \text{ см}^2/\text{г}$), водопотребность (нормальная густота, равная 22...26 %), сроки схватывания (начало схватывания не ранее чем через 45 мин, конец схватывания – не позднее 10 ч от начала затворения водой), равномерность изменения объема и др.

Таблица 7.3

Марки портландцемента по прочности

Наименование показателя	Марка портландцемента			
	400	500	550	600
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	40,0	50,0	55,0	60,0
Предел прочности на изгиб, МПа, не менее	5,5	6,0	6,25	6,5

Портландцемент применяется при изготовлении бетонных и железобетонных, монолитных и сборных конструкций, для надземных и подводных сооружений, устройства дорожных и аэродромных покрытий, укрепления грунтов, приготовления кладочных и штукатурных растворов.

Не следует готовить из портландцемента конструкции, подвергающиеся воздействию морской, минерализованной или даже пресной воды. В этих случаях рекомендуется применять специальные виды портландцемента [11].

В табл. 7.4 представлена характеристика основных неорганических вяжущих веществ.

Таблица 7.4

Сравнительная характеристика основных неорганических вяжущих веществ

Показатели	Вяжущие вещества			
	Воздушная известь	Гидравлическая известь	Романцемент	Портландцемент
Сырье, %: а) известь б) глина	> 94 < 6	80...94 6...20	73...75 25...27	73...75 25...27
Температура обжига, °С	900...1200	1100...1200	1200...1250	1450
Минералогический состав	CaO	CaO 2CaO·SiO ₂ CaO·Al ₂ O ₃ CaO·Fe ₂ O ₃	2CaO·SiO ₂ 3CaO·Al ₂ O ₃ 4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	3CaO·SiO ₂ 2CaO·SiO ₂ 3CaO·Al ₂ O ₃ 4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃
Условия твердения	Воздушно-сухие	Влажные	Влажные, вода	Влажные, вода
Продукты твердения	Ca(OH) ₂ → CaO·H ₂ O (портландит)	Ca(OH) ₂ CaO·SiO ₂ ·H ₂ O CaO·Al ₂ O ₃ ·H ₂ O CaO·Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	CaO·SiO ₂ ·H ₂ O CaO·Al ₂ O ₃ ·H ₂ O CaO·Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O	Ca(OH) ₂ 2CaO·SiO ₂ ·4H ₂ O 3CaO·Al ₂ O ₃ ·6H ₂ O CaO·Fe ₂ O ₃ ·H ₂ O
Основные показатели качества	Сорт I, II, III	Марка 20, 25, 50	Марка 50, 100, 150	Марка 400, 500, 550, 600

7.3.4. Разновидности портландцемента

Применение портландцемента в инженерных сооружениях и конструкциях, работающих в различных природных условиях, вызвало необходимость производства цементов, которые обладали бы требуемыми для этих целей свойствами.

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) характеризуется быстрым нарастанием прочности в первые сутки твердения (в 3-суточном возрасте $R_{сж}$ не менее 250 кг/см^2). Обладает повышенной водостойкостью, высокой коррозионной стойкостью.

Возможны два способа получения такого цемента. Во-первых, можно увеличить содержание в клинкере минералов, отвечающих за раннее твердение (алит C_3S , C_3A). Во-вторых, можно повысить тонкость помола цемента до $3500 \dots 4000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Применяется при зимнем бетонировании, при необходимости скоростного строительства, при изготовлении изделий в полигонных условиях; при изготовлении высокопрочных и преднапряженных железобетонных изделий и конструкций, в монолитном строительстве.

Помимо быстротвердеющего цемента, существуют особо быстротвердеющий ОБТЦ и сверхбыстротвердеющий СБТЦ цементы.

Сульфатостойкий портландцемент (ССПЦ) обладает низким выделением теплоты при гидратации и повышенной морозостойкостью. Прочность данного цемента нарастает медленно. Используется для бетонных и железобетонных конструкций, гидротехнических, дорожных и других сооружений, работающих в условиях сульфатной агрессии ($CaSO_4$, $MgSO_4$, Na_2SO_4), попеременного увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания.

Пластифицированный портландцемент (ППЦ) получают путем введения при помоле клинкера $0,15 \dots 0,25 \%$ гидрофильных поверхностно-активных добавок (СДБ или ЛСТМ-2). Это способствует снижению водоцементного отношения, повышению прочности бетона, увеличению морозостойкости, водонепроницаемости. Широкое применение пластифицированный портландцемент нашел в гидротехническом, дорожном, аэродромном строительстве.

Гидрофобный портландцемент (ГПЦ) изготавливают помолом клинкера с введением $0,05 \dots 0,30 \%$ гидрофобных ПАВ (мылонафт, асидол и др.). Обладает пониженной способностью к взаимодействию с влагой воздуха, увеличивает морозостойкость, водостойкость, водонепроницаемость конструкций. Применяют ГПЦ в гидротехническом, дорожном, аэродромном строительстве, для облицовки и оштукатуривания зданий, а также при перевозке растворных и бетонных смесей на значительные расстояния.

Белый портландцемент (БПЦ) изготавливают из сырьевых материалов, содержащих малое количество окрашивающих оксидов (Fe_2O_3 , MnO , Cr_2O_5). При помоле вводят активные минеральные добавки белого цвета (каолин, мрамор).

Белый цемент характеризуется повышенной усадкой при твердении и по-

ниженной коррозионной стойкостью и морозостойкостью.

Применяют для архитектурно-отделочных работ в жилищном, промышленном, сельскохозяйственном строительстве.

7.3.5. Портландцементы с активными минеральными добавками

Данные цементы получают совместным помолом портландцементного клинкера и активных минеральных добавок или тщательным смешиванием компонентов. В результате происходит взаимодействие активной минеральной добавки с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содержащимся в клинкере. При этом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ связывается в нерастворимый в воде гидросиликат кальция и полученный продукт более стоек к коррозии.

В качестве природных активных добавок используют вещества вулканического (вулканические пеплы, туфы, пемзы) и осадочного (диатомиты, трепелы, опоки) происхождения. В качестве искусственных активных добавок используют гранулированные доменные шлаки, топливные шлаки, золы и др.

Пуццолановый портландцемент (ППЦ) готовят совместным помолом портландцементного клинкера, гипса и активной минеральной добавки. Количество вводимой добавки зависит от ее вида. Так, добавок вулканического происхождения и топливной золы должно быть не менее 25 и не более 40 % от массы.

Применяют ППЦ главным образом в сооружениях, подвергающихся воздействию пресных вод (порты, каналы, плотины, шлюзы и др.), в водопроводных сооружениях, при строительстве туннелей, кладке фундаментов и подвалов зданий, для изготовления сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

Шлакопортландцемент (ШПЦ) получают тонким совместным измельчением портландцементного клинкера с 20...60 % доменного гранулированного шлака и гипса. ШПЦ можно получить также путем тщательного смешения отдельно измельченных компонентов. Этот цемент относят к медленно твердеющим. При пониженных температурах он твердеет заметно медленнее, а при повышенной температуре (+ 80...90 °С) во влажной среде значительно ускоряет твердение. ШПЦ обладает высокой морозостойкостью и повышенной прочностью на изгиб и растяжение.

ШПЦ эффективен для бетонных и железобетонных конструкций, подвергающихся тепловлажностной обработке, а также в наземных, подземных и подводных сооружениях, при производстве кладочных и штукатурных растворов, в условиях сульфатной агрессии. Стоимость ШПЦ на 15...20 % ниже стоимости ПЦ.

7.3.6. Глиноземистый цемент

Глиноземистый цемент – быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого измельчения клинкера, содержащего преимущественно низкоосновные алюминаты кальция

(80...85 %). Однокальциевый алюминат $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ определяет быстрое твердение.

Сырьем для производства глиноземистого цемента служит известняк CaCO_3 и породы, содержащие глинозем $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, например бокситы, алюминиевые шлаки и др.

Глиноземистый цемент изготавливают плавлением сырьевой смеси в электрических печах, вагранках при температуре выше 1500°C . Клинкер, получаемый после обжига, обладает большой твердостью. Поэтому глиноземистый цемент трудно размалывается, требует высокого расхода электроэнергии, что обуславливает его высокую стоимость.

Глиноземистый цемент обладает высокой прочностью только в том случае, если он твердеет при умеренных температурах, не выше 25°C . Твердение сопровождается значительным выделением теплоты. Поэтому его нельзя применять в массивных конструкциях, подвергать тепловлажностной обработке.

Марка глиноземистого цемента определяется по результатам испытания образцов в 3-суточном возрасте (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Марка глиноземистого цемента по прочности

Марка цемента	Предел прочности при сжатии, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	
	через 24 ч	через 3 сут
400	35 (350)	40 (400)
500	45 (450)	50 (500)
600	50 (500)	60 (600)

Конструкции на глиноземистом цементе морозостойки, более стойки к коррозии, чем на портландцементе. Однако его нельзя применять в щелочных средах и смешивать с известью или ПЦ.

Учитывая значительную стоимость глиноземистого цемента, его выпускают в сравнительно небольших количествах (1 % от общего выпуска цемента). Применяют ГЦ при возведении бетонных конструкций, которые необходимо быстро ввести в эксплуатацию, для срочных аварийных и ремонтных работ, а также для тампонирувания нефтяных и газовых скважин, футеровки шахтных колодцев и тоннелей. ГЦ используют также для получения расширяющих цементов.

7.3.7. Расширяющиеся и безусадочные цементы

Твердение всех гидравлических вяжущих веществ в водной среде сопровождается усадкой, которая может привести к образованию трещин в бетонах. Для расширяющихся и безусадочных цементов характерно равномерное приращение объема, что компенсирует усадочные деформации.

Расширяющиеся и безусадочные цементы относят к числу смешанных цементов, состоящих из основного вяжущего (ПЦ и ГЦ) и компонентов, обеспечивающих увеличение объема (гипс, глиноземистые шлаки). Наиболее эф-

фективным расширяющимся компонентом является трехсульфатный гидросульфатоалюминат кальция $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot31\text{H}_2\text{O}$, который содержится в твердеющем цементе и является цементной бациллой. Но при правильном подборе состава цемента возможно регулировать количество и скорость образования кристаллов гидросульфатоалюминат кальция и избежать появления вредных напряжений.

Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРП) получают смешиванием или совместным помолом глиноземистого цемента (70 %), полуводного гипса (20 %) и специально изготовленного высокоосновного гидроалюмината кальция $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot13\text{H}_2\text{O}$ (10 %).

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент – быстротвердеющее вяжущее, получаемое совместным помолом 70 % высокоглиноземистого клинкера или шлака и 30 % природного двухводного гипса. Этот цемент обладает свойством расширения при твердении в воде; при твердении на воздухе он проявляет безусадочные свойства. Цемент используют для заделки швов и стыков, при возведении непроницаемых для воды и нефтепродуктов емкостей.

Расширяющийся портландцемент (РПЦ) получают совместным помолом портландцементного клинкера (60...65 %), глиноземистого шлака или клинкера (5...7 %), двухводного гипса (7...10 %) и активной минеральной добавки (20...25 %). РПЦ характеризуется быстрым нарастанием прочности в условиях кратковременного пропаривания, что позволяет сократить время ТВО на 4...6 ч, высокой плотностью и водонепроницаемостью.

Напрягающий цемент (НЦ) состоит из 65...75 % портландцемента, 13...20 % глиноземистого цемента и 6...10 % гипса. НЦ быстро схватывается и твердеет, приобретая через 1 сутки прочность 20 МПа.

Характерной особенностью этого цемента является значительное расширение, обеспечивающее самоупрежение бетона, что позволяет организовать натяжение арматуры.

НЦ применяют для изготовления напорных труб, в монолитных и сборных резервуарах воды, в спортивных и подземных сооружениях с напрягаемой арматурой.

Контрольные вопросы

1. Что называется неорганическим (минеральным) вяжущим веществом?
2. Представьте классификацию минеральных вяжущих веществ по способу твердения.
3. Что называют вяжущими автоклавного твердения?
4. Представьте общую технологию получения неорганических (минеральных) вяжущих веществ.
5. Что является сырьем для производства гипсовых вяжущих веществ?
6. Дайте характеристику низкообжиговым и высокообжиговым гипсовым

вяжущим веществам. Раскройте их технологию, свойства и области применения.

7. Дайте описание магнезиальным вяжущим веществам. Раскройте их технологию, свойства и области применения.

8. Что такое жидкое растворимое стекло? Каковы его технология, свойства и области применения?

9. Что является сырьем для производства воздушной извести? Перечислите способы твердения воздушной извести.

10. Опишите технологию получения, свойства и область применения воздушной извести.

11. Что такое гидравлическая известь и роман-цемент?

12. Из чего получают портландцемент? Разъясните общую технологию его производства.

13. Назовите основные минералы портландцементного клинкера. Дайте характеристики каждому минералу.

14. Напишите реакции взаимодействия минералов портландцементного клинкера с водой.

15. Какие Вы знаете виды коррозии портландцемента? Как можно защитить портландцемент от коррозии?

16. Перечислите основные свойства портландцемента.

17. Раскройте технологию получения портландцемента (сухой, мокрый и комбинированный способы).

18. Представьте и охарактеризуйте разновидности портландцемента и области их применения.

19. Назовите способы получения быстротвердеющего портландцемента.

20. С какой целью применяются сульфатостойкие, гидрофобные и пластифицированные портландцементы?

21. Что представляют собой портландцементы с активными минеральными добавками? Какие природные и искусственные вещества используются в качестве активных минеральных добавок?

22. Как получить пуццолановый портландцемент (ППЦ) и шлакопортландцемент (ШПЦ)? Для каких целей применяются эти цементы?

23. Что представляет собой глиноземистый цемент? Какое сырье используется для его производства? Опишите основные свойства глиноземистого цемента.

24. Как получить расширяющиеся и безусадочные цементы? Для каких целей их используют?

25. Что относят к композиционным минеральным вяжущим веществам? Дайте описание этим материалам.

РАЗДЕЛ 8

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

8.1. Общие сведения

К органическим вяжущим веществам относятся битумы и дегти. Наиболее широкое применение они получили в промышленно-гражданском, гидротехническом, дорожном строительстве в виде асфальтобетона, асфальтораствора, кровельных, гидроизоляционных и уплотняющих материалов.

Битумные и дегтевые вяжущие имеют темно-коричневый или черный цвет, поэтому их часто называют «*черными вяжущими*».

8.2. Битумы

Битумы – наиболее распространенные органические вяжущие вещества, применялись еще в глубокой древности в качестве вяжущего и водоизолирующего материала.

Природные битумы – вязкие или твердообразные вещества, образовавшиеся из нефти в верхних слоях земной коры. Залежи чистого природного битума встречаются крайне редко, образуя линзы или озера, чаще пронизывают осадочные горные породы.

Нефтяные (искусственные) битумы, получают из нефти путем переработки (рис. 8.1). В зависимости от технологии производства различают *остаточные*, получаемые из мазута путем дальнейшего глубокого отбора из него масел; *окисленные*, получаемые окислением гудрона в специальных аппаратах (продувка воздухом) и *крекинговые*, получаемые переработкой остатков, образующихся при крекинге нефти.

Битумы состоят из смеси высокомолекулярных углеводородов и их производных: азота, серы, кислорода и др.

Элементарный состав битумов слагают углерод 70...80 %, водород 10...15 %, сера 2...9 %, кислород 1...5 %, азот 0...2 %. Химический состав битумов весьма сложен. Все многообразие соединений, образующих битум, можно свести в три группы: твердая часть, смолы и масла (рис. 8.2).

Твердая часть битума представлена высокомолекулярными углеводородами и их производными с молекулярной массой 1000...5000, названными «асфальтенами».

Смолы представляют собой аморфные вещества темно-коричневого цвета с молекулярной массой 500...1000.

Масляные фракции битумов состоят из различных углеводородов с молекулярной массой 100...500.

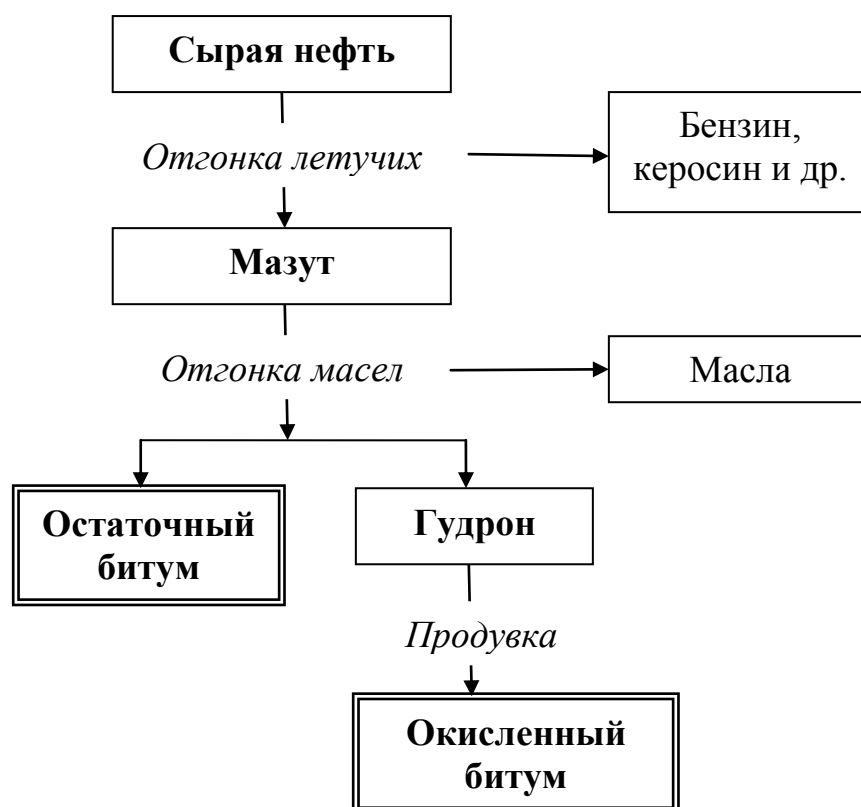


Рис. 8.1. Схема получения нефтяного битума

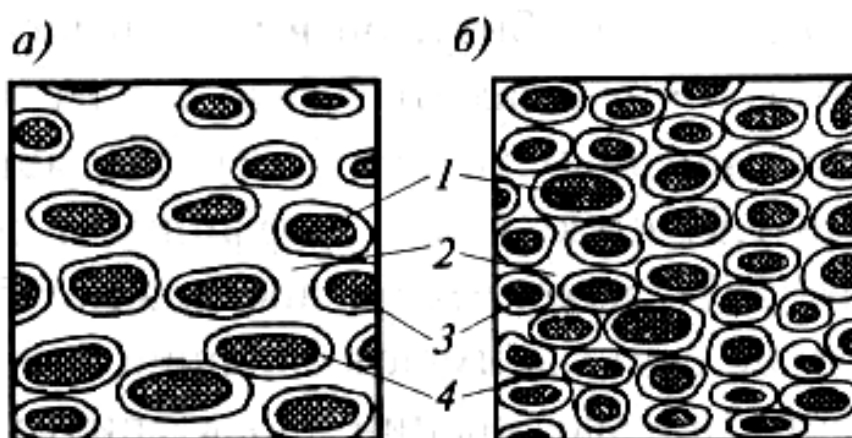


Рис. 8.2. Структура битума а) жидкого; б) твердого:
1 – мицелла; 2 – масло; 3 – асфальтены; 4 – смолы

По своему строению битум представляет коллоидную систему, в которой диспергированы асфальтены, а дисперсионной средой являются смолы и масла.

Свойства битума как дисперсной системы определяются соотношением входящих в него составных частей: масел, смол и асфальтенов. Повышение содержания асфальтенов и смол влечет за собой возрастание твердости, темпера-

туры размягчения и хрупкости битума. Наоборот, масла делают битум мягким и легкоплавким.

Строительные битумы характеризуются следующими свойствами: способностью переходить в вязко-пластичное состояние при повышении температуры и загустевать при понижении температуры; вязкостью; пластичностью; температурой размягчения, водостойкостью [13]. Одним из недостатков битумов является старение, сопровождающееся повышением хрупкости и снижением гидрофобности в результате уменьшения содержания смолистых веществ и масел.

8.3. Дегти

Деготь – густая вязкая масса, образующаяся при нагревании без доступа воздуха твердых видов топлива (каменного и бурого угля, горючего сланца, торфа, древесины).

Наиболее широкое применение в строительстве получили каменноугольные дегти, обладающие высокими строительными свойствами.

Сырые каменноугольные дегти, низкотемпературные и высокотемпературные, получают при коксовании и полукоксовании каменных углей при температуре соответственно 500...700 и 900...1100 °С (рис. 8.3). Они представляют собой маслянистые жидкости с характерным запахом, обусловленным содержанием в них фенолов и нафталина. Сырые дегти содержат значительное количество летучих веществ, растворимых в воде, поэтому в строительной практике их не применяют.

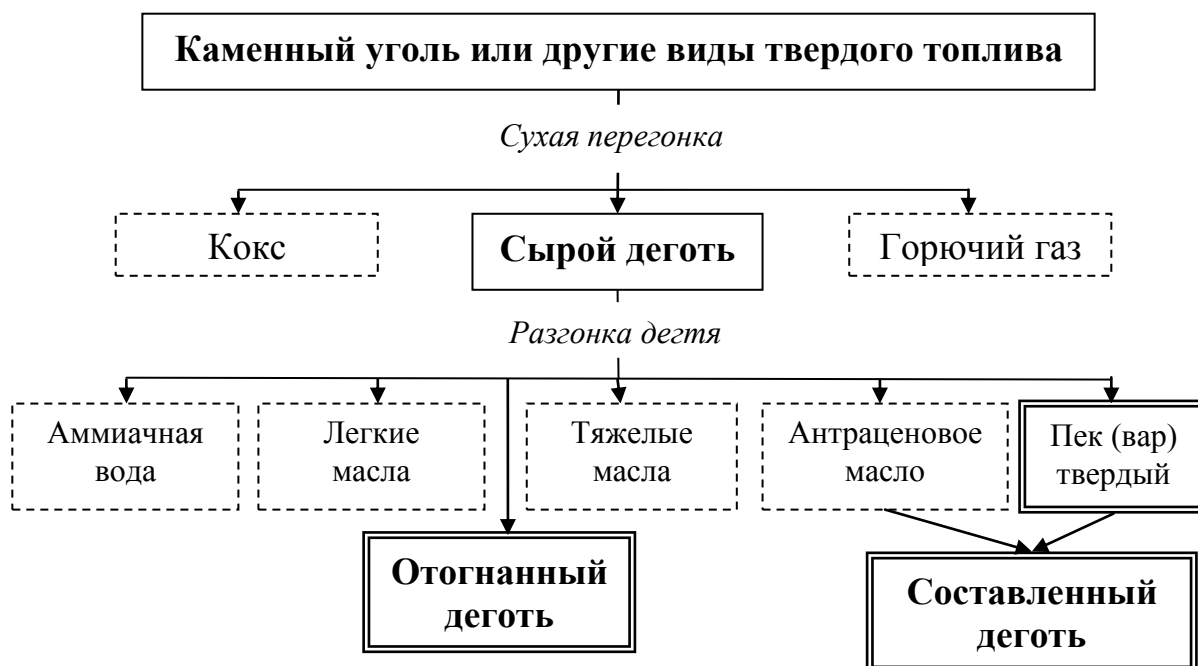


Рис. 8.3. Схема получения дегтей

Отогнанный деготь получают из сырого путем отгонки воды, а также всех легких, средних и тяжелых масел. При разгонке сначала удаляется вода (при 100 °С), затем легкие масла (до 170 °С), средние (170...270 °С), тяжелые (270...300 °С) и антраценовые масла (300...360 °С).

Пек – аморфное вещество черного цвета, состоящее из высокомолекулярных углеводов и их производных и свободного углерода в виде тонкодисперсных частиц.

Составленные дегти получают сплавлением пека с антраценовым маслом или отогнанным дегтем и широко используются в строительстве.

Состав каменноугольного дегтя характеризуется содержанием следующих групп веществ: *твердые*, нерастворимые в органических растворителях (свободный углерод), *твердые неплавкие смолы*, подобные асфальтенам в битуме, и *вязко-пластичные плавкие смолы*.

Свойства дегтей в основном такие же, как и у битумов, но они отличаются меньшей погодостойчивостью. Однако дегти обладают повышенной способностью к прилипанию к другим материалам.

8.4. Материалы на основе битумов и дегтей

8.4.1. Асфальтовые бетоны и растворы

Асфальтовые бетоны и растворы получают из асфальтобетонной смеси, состоящей из щебня (гравия), песка, минерального порошка и битума. Уплотненную смесь с дегтем в качестве вяжущего называют дегтебетоном.

Материал, получаемый смешением битума с минеральным порошком, называют *асфальтовым вяжущим*, а смесь асфальтового вяжущего с песком – *асфальтовым раствором*.

Асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости используемого битума и температуры укладки подразделяются на:

- *горячие*, приготовленные с использованием вязких и жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 120 °С;
- *холодные*, приготавливаемые с использованием жидких нефтяных дорожных битумов и укладываемые с температурой не менее 5 °С.

Асфальтовые бетоны используют в гидротехническом, дорожном и аэродромном строительстве, для устройства полов в промышленных цехах и складских помещениях, плоской кровли стяжек. Имеются декоративные асфальтовые бетоны (цветные и офактуренные), из которых выполняются разделительные полосы на дорогах, переходы, полы вестибюлей гражданских зданий.

8.4.2. Кровельные и гидроизоляционные материалы

Кровельные и гидроизоляционные материалы по внешнему виду бывают рулонные и штучные [6, 8].

Рулонные материалы

Рулонные материалы выпускают основные и безосновные. *Основные* материалы изготовляют путем обработки основы (кровельного картона, асбестовой бумаги, стеклоткани и др.) битумами, дегтями и их смесями. *Безосновные* получают в виде полотнищ определенной толщины, применяя прокатку смесей, составленных из битума, наполнителя (минерального порошка или измельченной резины) и добавок (антисептика, пластификатора).

Рубероид изготовляют пропиткой кровельного картона легкоплавким битумом с последующим покрытием с одной или с обеих сторон тугоплавким нефтяным битумом с наполнителем и посыпкой. Кровельный картон получают из тряпья, бумажной макулатуры и древесной целлюлозы. Крупнозернистая цветная посыпка не только повышает атмосферостойкость рубероида, но и придает ему привлекательный вид и препятствует слипанию. Главный недостаток рубероида – гниение.

Наплавляемый рубероид – кровельный материал, наклейка которого осуществляется (без применения кровельной мастики) расплавлением утолщенного нижнего слоя пламенем горелки. В результате производительность труда повышается на 50 %, удешевляются кровельные работы (рис. 8.4).

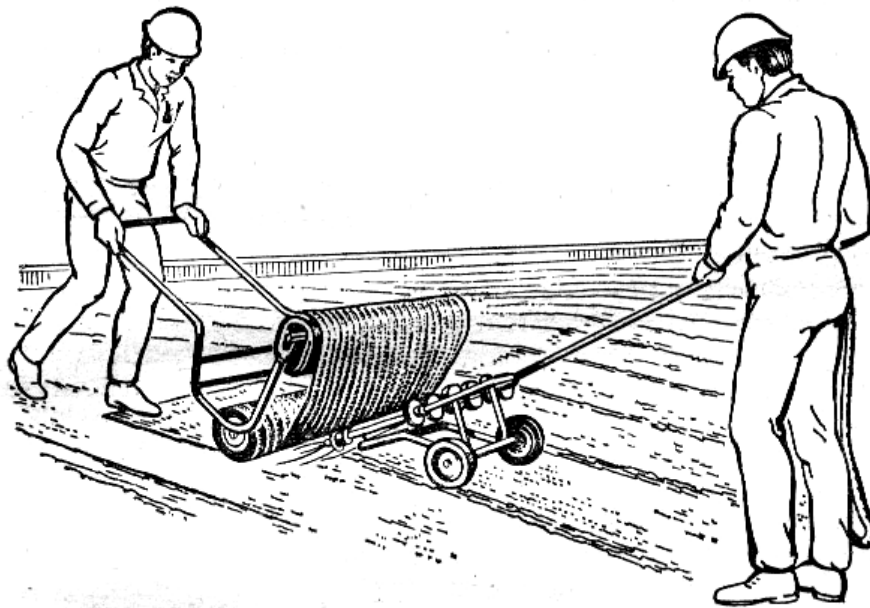


Рис. 8.4. Устройство изоляции из наплавленного рубероида с помощью огневых форсунок

Пергамин – рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона расплавленным нефтяным битумом. Служит подкладочным материалом под рубероид и используется для изоляции.

Толь – рулонный материал, изготавливаемый пропиткой и покрытием кровельного картона дегтями с посыпкой песком или минеральной крошкой. Толь с крупнозернистой посыпкой применяют для верхнего слоя плоских кровель, а толь с песочной посыпкой – для кровель временных сооружений, гидроизоляции фундаментов и других частей сооружений.

Гидроизол – рулонный гидроизоляционный материал, полученный путем пропитки асбестового картона нефтяным битумом. Предназначен для устройства гидроизоляционного слоя в подземных и гидротехнических сооружениях, а также для защитного противокоррозионного покрытия.

Стеклорубероид и стекловолок – рулонные материалы, получаемые путем двустороннего нанесения битумного (битуморезинового или битумополимерного) вяжущего на стекловолоконный холст или на стекловолок и покрытия с одной или двух сторон сплошным слоем посыпки.

Фольгоизол – рулонный двухслойный материал, состоящий из тонкой рифленой или гладкой алюминиевой фольги, покрытой с нижней стороны защитным битумно-резиновым составом. Он предназначен для устройства кровель и парогидроизоляции зданий и сооружений, герметизации стыков.

Изол – бесосновный рулонный гидроизоляционный и кровельный материал, изготавливаемый прокаткой резино-битумной композиции, полученной термомеханической обработкой девулканизированной резины, нефтяного битума, минерального наполнителя, антисептика и пластификатора. Изол долговечнее рубероида, эластичен, биостоек, незначительно поглощает влагу. Применяют изол для гидроизоляции гидротехнических сооружений, бассейнов, резервуаров, подвалов, антикоррозионной защиты трубопроводов.

Штучные изделия

Мягкая черепица – декоративный элемент кровли здания, получаемый вырубкой из рулонных материалов плоских листов (рис. 8.5).

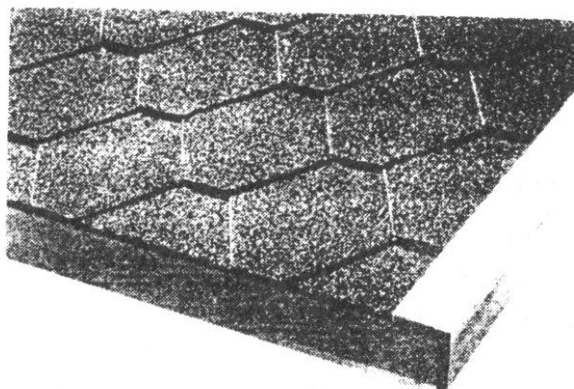


Рис. 8.5. Фрагмент крыши из мягкой черепицы

Рубероидный срыв – бракованные участки полотнища рубероида (толи), из которых вырезают плитки размером 75×60 см, 60×50 см.

Армированные плиты изготовляют прессованием горячей асфальтовой смеси с армированием стеклотканью или металлической сеткой.

Неармированные плиты изготовляют из тех же смесей, но без армирования. Плиты применяют для устройства гидроизоляции и заполнения деформационных швов.

8.4.3. Мастики

Мастика представляет собой смесь нефтяного битума или дегтя с минеральным наполнителем. Для получения мастик применяют *пылевидные* (измельченный известняк, доломит, мел, цемент, зола твердых видов топлива) и *волокнистые* (асбест, минеральная вата и др.) наполнители.

Мастики классифицируются:

1. *По виду связующего:*

- битумные;
- битумно-резиновые,
- битумно-полимерные.

2. *По способу применения:*

- горячие, с предварительным подогревом до 130...160 °С;
- холодные, используемые без подогрева при температуре воздуха не ниже 5 °С и с подогревом до 60...70 °С.

3. *По назначению:*

- приклеивающие (для склеивания рулонных материалов);
- кровельно-изоляционные;
- гидроизоляционные асфальтовые (для литой и штукатурной изоляции швов гидротехнических сооружений);
- антикоррозионные (служат для защиты конструкций и трубопроводов от агрессивных воздействий).

8.4.4. Эмульсии, пасты, лаки

Битумные и дегтевые эмульсии представляют собой дисперсные системы, в которых вода является средой и в ней диспергированы битум или деготь в виде частиц размером около 1 мкм. Устойчивость эмульсии обеспечивается путем введения эмульгаторов – поверхностно-активных веществ, уменьшающих поверхностное натяжение на поверхности раздела битум (деготь)-вода. Эмульгаторами служат мыла (нафтеновых, смоляных органических кислот), сульфатно-дрожжевая бражка. К твердым эмульгаторам относятся тонкие порошки глин, извести, цемента, каменного угля, сажи.

Эмульсии применяют для грунтовки основания под гидроизоляцию, приклеивания рулонных и штучных битумных и дегтевых материалов, для

устройства гидро- и пароизоляционного покрытий и в качестве вяжущего вещества при изготовлении асфальтовых (дегтевых) растворов и бетонов.

Пасты являются высококонцентрированными эмульсиями с твердыми эмульгаторами.

Лаки представляют собой растворы битумов и органических масел в органических растворителях. При добавлении алюминиевой пудры получают теплостойкую краску, применяемую для окраски санитарно-технического оборудования.

Контрольные вопросы

1. Что такое органические вяжущие вещества? Какие материалы входят в эту группу?
2. Какие бывают битумы по происхождению?
3. Представьте схему получения нефтяного битума.
4. Охарактеризуйте битумы, их состав, строение, свойства.
5. Дайте характеристику дегтям и пекам, их составу, строению, свойствам.
6. Представьте схему получения дегтя из твердых видов топлива.
7. Какие строительные материалы производятся на основе органических вяжущих веществ?
8. Из каких сырьевых материалов изготавливают асфальтобетон? Опишите свойства асфальтобетона.
9. Как классифицируются асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости битумов и температуры укладки?
10. Раскройте этапы технологии производства асфальтобетона.
11. Какие виды рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов получают на основе органических вяжущих веществ?
12. Что представляет собой наплавляемый рубероид? Какими преимуществами он обладает перед обычным рубероидом?
13. Какие виды штучных кровельных и гидроизоляционных материалов изготавливают с применением органических вяжущих веществ?
14. Что представляют собой мастики? Представьте классификацию мастик.
15. Что представляют собой эмульсии, пасты и лаки. Для каких целей они используются?

РАЗДЕЛ 9

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

9.1. Общие сведения

Строительный раствор – искусственный каменный материал, полученный в результате затвердевания рационально подобранной смеси, состоящей из вяжущего вещества, мелкого заполнителя, воды и в необходимых случаях различных добавок. Смесь этих материалов до затвердевания называют **растворной смесью**.

Для изготовления строительных растворов чаще используют неорганические вяжущие вещества (цемент, воздушную известь, строительный гипс).

В качестве добавок обычно применяют неорганические вещества (известь, золу, глину, диатомит, молотый доменный шлак и др.) и органические пластификаторы (омыленный древесный пек, канифольное мыло, мылонафт, ЛСТ). В растворы, применяемые для зимней кладки и штукатурки, добавляют добавки – ускорители твердения, которые понижают температуру замерзания растворной смеси (хлорид кальция CaCl_2 , хлорид натрия NaCl , поташ K_2CO_3 и др.).

9.2. Классификация строительных растворов

Строительные растворы классифицируются по назначению, по виду вяжущего, по средней плотности, по прочности и морозостойкости.

1. *По назначению* растворы подразделяют:

- на кладочные, используемые для кладки стен, фундаментов из кирпича, бутового камня, бетонных и кирпичных блоков, в том числе и для монтажных работ – заполнения швов между крупными элементами при монтаже зданий из готовых сборных конструкций;

- на облицовочные, используемые для нанесения декоративных покрытий, изготовления монолитных архитектурных деталей и рельефов;

- на штукатурные;

- на специальные, к которым относятся гидроизоляционные, тампонажные, кислотоупорные, жаростойкие, термоизоляционные, акустические, рентгенозащитные и др.

2. *По виду вяжущего* растворы разделяют:

- на простые, изготавливаемые на одном вяжущем (цементные, известковые, гипсовые);

- на сложные, изготавливаемые на смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые и др.).

3. По средней плотности строительные растворы разделяются:

- на тяжелые, средней плотностью 1500 кг/м³ и более, изготавливаемые на плотных заполнителях (обычном кварцевом песке);
- на легкие, средней плотностью менее 1500 кг/м³, изготавливаемые на пористых заполнителях (пористые пески, туф, пемза, шлак) или путем поризации вяжущего теста.

4. По пределу прочности на сжатие растворы разделяются на марки, представленные в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Марки строительного раствора по прочности

Марка раствора	Вид вяжущего вещества	Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²), не менее
4	Воздушная, гидравлическая известь, известково-пуццолановые, известково-золевые вяжущие	0,4 (4)
10		1,0 (10)
25	Известково-шлаковые вяжущие, портландцемент, шлакопортландцемент, пластифицированный и гидрофобный портландцемент, пуццолановый портландцемент	2,5 (25)
50		5,0 (50)
75		7,5 (75)
100		10,0 (100)
150		15,0 (150)
200		20,0 (200)

5. По показателю морозостойкости [13] растворы делятся на марки: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

9.3. Свойства растворных смесей и растворов

9.3.1. Свойства растворных смесей

Основными свойствами растворной смеси являются подвижность, вододерживающая способность и расслаиваемость.

Подвижность характеризуется глубиной погружения стандартного металлического конуса массой 300 г и углом при вершине 30° в растворную смесь (рис. 9.1).

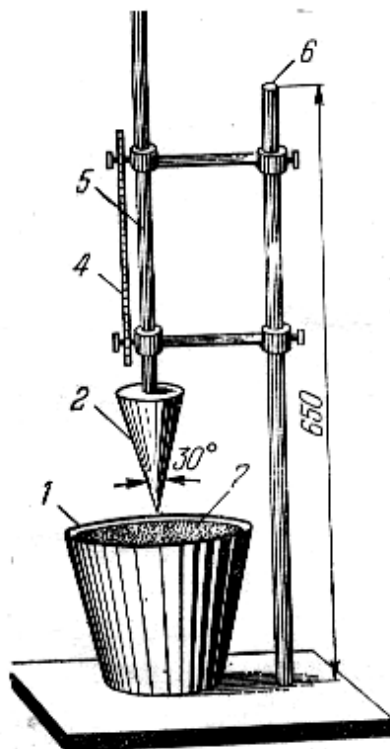


Рис. 9.1. Стандартный конус для определения подвижности растворной смеси:

- 1 - емкость; 2 – конус; 3 – стопорный винт;
 4 – шкала; 5 – стержень;
 6 – штатив; 7 – растворная смесь

В зависимости от подвижности растворные смеси подразделяют на марки (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Марки строительного раствора по подвижности

Марка по подвижности	Норма подвижности по погружению конуса, см
P_k	1...4
$P_k 2$	4...8
$P_k 3$	8...12
$P_k 4$	12...14

Рекомендуемая подвижность растворной смеси на месте применения в зависимости от назначения раствора приведена в табл. 9.3

Водоудерживающая способность – свойство растворной смеси сохранять воду при укладке на пористое основание, что необходимо для сохранения подвижности смеси, предотвращения расслоения и хорошего сцепления раствора с пористым основанием (кирпичом). Водоудерживающую способность определяют путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенного на промокательную бумагу.

Водоудерживающую способность увеличивают путем введения в растворную смесь неорганических добавок и органических пластификаторов.

Таблица 9.3

Подвижность растворной смеси в зависимости от назначения раствора

Основное назначение раствора	Глубина погружения конуса, см	Марка по подвижности
Кладочные		
Для бутовой кладки:		
- вибрированной	1...3	П _к 1
- невибрированной	4...6	П _к 2
Для кладки из пустотелого кирпича или керамических камней	7...8	П _к 2
Для кладки из полнотелого кирпича; керамических камней; бетонных камней или камней из легких пород	8...12	П _к 3
Для заливки пустот в кладке и подачи растворонасосом	13...14	П _к 4
Для устройства постели при монтаже стен из крупных бетонных блоков и панелей; расшивок горизонтальных и вертикальных швов в стенах из панелей и крупных бетонных блоков	5...7	П _к 2
Облицовочные		
Для крепления плит из природного камня и керамической плитки по готовой кирпичной стене	6...8	П _к 2
Для крепления облицовочных изделий легкобетонных панелей и блоков в заводских условиях	-	-
Штукатурные		
Раствор для грунта	7...8	П _к 2
Раствор для набрызга:		
- при ручном нанесении	8...12	П _к 3
- при механизированном способе нанесения	9...14	П _к 4
Раствор для накрывки:		
- без применения гипса	7...8	П _к 2
- с применением гипса	9...12	П _к 3

Расслаиваемость – свойство растворной смеси, характеризующее ее связность при динамическом воздействии. Расслаиваемость определяют путем сопоставления содержания массы заполнителя в нижней и верхней частях свежееотформованного образца размером 150×150×150 мм после вибрации в течение 1 мин.

Правильно подобранная растворная смесь заполняет неровности, трещины, углубления в кирпиче или камне, поэтому получается большая площадь контакта между раствором и кирпичом (камнем), в результате прочность и монолитность кладки возрастает. Увеличивается и долговечность наружных стен.

9.3.2. Свойства растворов

Основными показателями качества затвердевшего раствора являются прочность на сжатие, морозостойкость, средняя плотность, долговечность.

Прочность при сжатии определяют испытанием образцов-кубиков с длиной ребра 7,07 см в проектном возрасте или возрасте, установленном в стандарте или технических условиях на данный вид раствора.

За проектный возраст раствора следует принимать, сут:

- для растворов, приготовленных без применения гидравлических вяжущих7;
- для растворов с применением гидравлических вяжущих28.

Изготовление образцов из растворной смеси подвижностью менее 5 см производят в обычных формах с металлическим поддоном, а из смеси с подвижностью 5 см и более – в формах без поддона, установленных на кирпиче (покрытом влажной газетной бумагой).

Прочность цементного раствора определяется активностью цемента (маркой), водоцементным отношением. Прочность смешанных растворов зависит от количества введенной в раствор извести или глины.

Морозостойкость раствора характеризуется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают насыщенные водой стандартные образцы-кубики размером 7,07×7,07×7,07 см (допускается снижение прочности образцов не более 25 % и потеря массы не свыше 5 %).

9.4. Виды строительных растворов

Кладочные растворы для каменной кладки наружных стен зданий изготовляют на цементных и смешанных вяжущих (цементно-известковые и цементно-глиняные), марок 10, 25 и 50 в зависимости от влажностных условий и требуемой долговечности здания. В кладке перемычек, простенков, карнизов, столбов марка может быть повышена до 100.

Виброкирпичные панели производят из растворов марки 75, 100, 150, приготовленных на портландцементе и шлакопортландцементе.

Монтажные растворы для заполнения горизонтальных швов при монтаже стен из легкого бетона должны иметь марку не ниже 50, а для панелей из тяжелого бетона – не ниже 100. Их изготавливают на портландцементе, расширяющемся или безусадочном цементе.

Штукатурные растворы для наружных каменных и бетонных стен зданий изготавливают с применением цементно-известковых вяжущих, а для оштукатуривания деревянных поверхностей в районах с сухим климатом используют известково-гипсовые растворы. Внутреннюю штукатурку стен и покрытий здания при относительной влажности воздуха помещений до 60 % выполняют из известковых, гипсовых, известково-гипсовых и цементно-известковых растворов.

Декоративные растворы предназначены для отделочных слоев стеновых панелей и блоков, наружной и внутренней отделки зданий. Эти растворы изготавливают на белом, цветном и обычном портландцементе. Для цветных штукатурок внутри зданий применяют также строительный гипс и известь. Заполнителем служит чистый кварцевый песок либо дробленые пески из белого известняка, мрамора.

Гидроизоляционные растворы для гидроизоляционных слоев и штукатурок обычно изготавливают состава 1:2,5 или 1:3,5 (цемент : песок), применяя портландцемент, расширяющиеся цементы, сульфатостойкий портландцемент.

Рентгенозащитный раствор приготавливают на баритовом песке ($BaSO_4$), применяя портландцемент или шлакопортландцемент. В него вводят добавки, содержащие легкие элементы: литий, бор и др.

Тампонажные растворы предназначены для изоляции скважин, шахт и туннелей путем закрытия трещин и пустот в горных породах и заполнения закрепленного пространства. Вяжущим в этих растворах является специальный тампонажный портландцемент, а в агрессивных водах – сульфатостойкий портландцемент.

Акустические растворы используются в качестве звукопоглощающей штукатурки для снижения уровня шума. В качестве вяжущих используют портландцемент, шлакопортландцемент, известь, гипс или их смеси и каустический магнезит. Заполнителями являются однофракционные пески крупностью 3...5 мм из легких пористых материалов: вспученного перлита, пемзы, керамзита, поэтому средняя плотность раствора составляет 600...1200 кг/м³. Количество вяжущего и зерновой состав заполнителя в акустических растворах должны обеспечивать открытую пористость раствора.

9.5. Сухие строительные смеси

Строительные сухие смеси (ССС) – композиции заводского изготовления на основе минеральных вяжущих веществ, заполнителей и различных добавок. В отдельных случаях в качестве вяжущего компонента могут быть использованы различные полимеры (эферы целлюлозы, поливинилацетат, акрилаты).

В качестве заполнителя используются пески с максимальной крупностью до 1,25 мм.

Большую роль в технологии сухих смесей играют добавки. Для обеспечения пластичности и водоудерживающей способности применяются неорганические и органические пластифицирующие добавки: глина, воздушная известь, зола ТЭС, лигносульфонат ЛСТ, СНВ, суперпластификатор С-3. Для производства работ при отрицательных температурах в состав сухих смесей вводят противоморозные добавки.

Основные виды исходных материалов для сухих строительных смесей приведены в табл. 9.4.

Материалы для приготовления сухих строительных смесей [1]

Вяжущие	Наполнители и заполнители	Химические добавки
Портландцемент, белый портландцемент, гипс, ангидрит, воздушная известь, глиноземистый цемент, диспергируемые полимерные порошки	Кварцевый песок, известняк, мел, доломит, перлит, каолин, микрокремнезем, зола-унос, волокна, пигменты, легкие заполнители (керамзитовый песок, вспученный вермикулит и перлит, пемза и др.)	Пластификаторы, стабилизаторы, водоудерживающие добавки, замедлители и ускорители твердения, загустители, порообразующие и антивспенивающие добавки

В соответствии с требованиями ГОСТ 31189-2003 сухие строительные смеси классифицируют по следующим признакам:

- функциональному назначению;
- применяемому вяжущему;
- наибольшей крупности заполнителей (наполнителей);
- способу укладки и нанесения.

Классификация сухих строительных смесей по функциональному назначению является основополагающей, т.к. она отражает всю широту выпускаемых и используемых сухих строительных смесей.

1. По функциональному назначению смеси подразделяют на следующие виды:

- выравнивающие (штукатурные и шпаклевочные);
- облицовочные (клеевые и шовные);
- напольные (выравнивающие и несущие, уплотняемые, самоуплотняющиеся и затирочные);
- ремонтные (поверхностные и инъекционные);
- защитные (ингибирующие, saniрующие, биоцидные, огнезащитные, коррозионно-защитные, морозозащитные и радиационно-защитные);
- кладочные;
- монтажные;
- декоративные;
- специальные (гидроизоляционные, теплоизоляционные и др.).

2. По виду вяжущего смеси подразделяют на:

- цементные;
- гипсовые;
- известковые;
- полимерные;
- сложные.

3. По наибольшей крупности зерен заполнителей (наполнителей) смеси подразделяют на:

- бетонные;
- растворные;
- дисперсные.

На место производства строительных работ сухие смеси доставляются в расфасованном виде, для их использования по назначению достаточно только добавить необходимое количество воды. Вода для затворения сухих смесей не должна содержать вредных примесей.

Сухие смеси по сравнению с растворными смесями имеют ряд преимуществ: повышение качества строительных работ благодаря заводскому приготовлению смесей; сокращение транспортных расходов на 15 %; сокращение отходов растворов на 5...7 %; повышение производительности труда на 20...25 %.

В настоящее время сухие смеси являются одним из направлений технического прогресса в строительстве. Их применяют в качестве кладочных, монтажных и штукатурных растворов, шпатлевок, плиточных клеев, составов для наливных полов, ремонтных составов и других видов работ.

Показатели качества сухих смесей должны соответствовать области применения смеси. Если сухая смесь используется в качестве кладочного раствора, то у нее должен быть следующий комплекс показателей качества: пластичность, водоудерживающая способность, предел прочности при сжатии, морозостойкость.

Технология производства сухих смесей складывается из следующих технологических операций. Доставляемый с карьера песок или гравийно-песчаная смесь подвергается сушке в тепловых агрегатах, где их влажность доводят до 0,5 %, затем производят рассев на ситах до нужных фракций. Просеянный песок после дозирования направляется в смеситель принудительного действия. В этот же смеситель загружают и другие компоненты в необходимом количестве. Отдозированные материалы перемешивают до получения однородной массы. Полученную смесь затаривают в емкости, необходимые для реализации и подают на склад готовой продукции. Смеси хранят в сухом месте, а модифицированные полимерами при температуре не выше 40 °С.

Пример функциональной схемы производства сухой строительной смеси представлен на рис. 9.2.

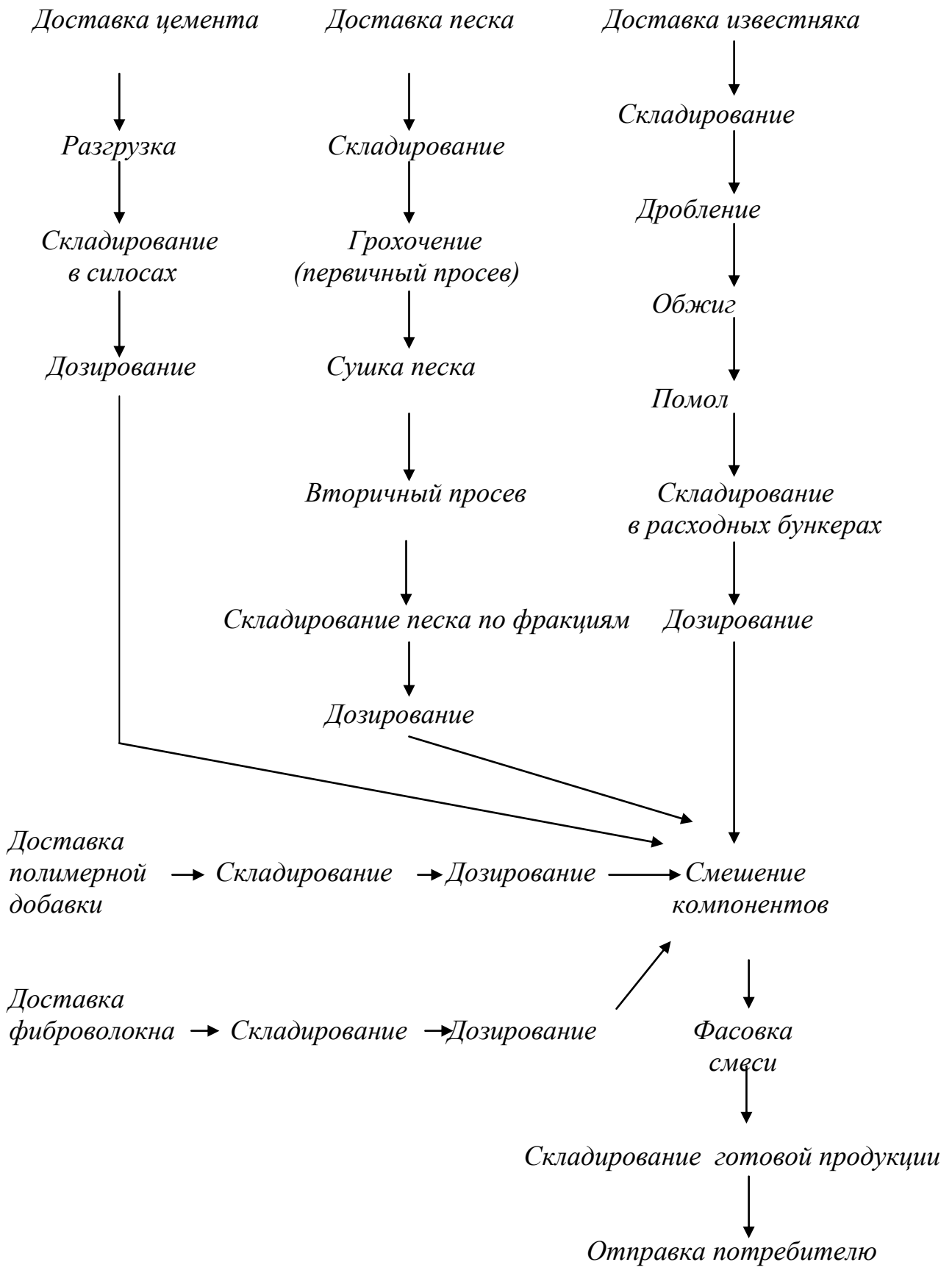


Рис. 9.2. Функциональная схема производства ССС для штукатурных работ

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой строительный раствор?
2. Чем отличается раствор от растворной смеси?
3. Как классифицируются строительные растворы?
4. Какие растворы относятся к специальным?
5. Какие существуют марки строительных растворов по прочности и по морозостойкости?
6. Перечислите основные показатели качества растворной смеси и раствора.
7. Как определяется подвижность растворной смеси?
8. По каким показателям осуществляется выбор вида вяжущего для строительного раствора?
9. С какой целью вводят в строительные растворы неорганические и органические добавки?
10. Какие исходные данные должны быть известны перед определением состава смешанного строительного раствора?
11. Изложите последовательность подбора состава смешанного строительного раствора.
12. Опишите методику приготовления пробного замеса растворной смеси.
13. Как производится определение прочности раствора и его марки?
14. С какой целью применяются монтажные растворы?
15. Какие сырьевые материалы должны применяться для изготовления декоративных растворов?
16. Что представляют из себя гидроизоляционные, рентгенозащитные и тампонажные растворы?
17. Для чего применяются акустические растворы? Какие сырьевые материалы используются для их изготовления?
18. Что такое сухие строительные смеси? Какие сырьевые материалы используются для их изготовления?
19. По каким признакам классифицируются сухие строительные смеси?
20. Представьте функциональную схему производства сухой строительной смеси.

РАЗДЕЛ 10

БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ

10.1. Общие сведения

Бетон – искусственный композиционный каменный материал, получаемый в результате твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и в необходимых случаях специальных добавок. Смесь этих материалов до начала ее затвердевания называют **бетонной смесью**.

Железобетон – комплексный строительный материал, в котором бетон и стальная арматура соединены вместе. Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивают совместную работу бетона и стальной арматуры, как единого целого.

Бетон и железобетон является основным материалом для всех видов современного строительства. Из бетона и железобетона изготовляют монолитные конструкции, сооружаемые непосредственно на месте строительства, а также сборные железобетонные конструкции (рис. 10.1).

Преимуществами бетона по сравнению с другими материалами являются: возможность применения местного сырья (заполнителей); механизация и автоматизация производства; изготовление изделий различной формы; огнестойкость, долговечность и прочность конструкций. Главным недостатком бетона как любого каменного материала является низкая прочность на растяжение. Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура.

10.2. Классификация бетонов

Классифицируют бетоны по следующим признакам: средней плотности, виду применяемого вяжущего, виду заполнителя, структуре, назначению бетона, способу производства, а также виду армирования и условиям твердения.

1. По средней плотности различают бетоны:

- особо тяжелые ($\rho_m > 2500 \text{ кг/м}^3$), изготавливаемые на особо тяжелых заполнителях (магнетит, барит, лимонит, чугунные обрезки);
- тяжелые ($\rho_m = 2200 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$), где в качестве их заполнителей используются песок, щебень из плотных горных пород;
- облегченные бетоны ($\rho_m = 1800 \dots 2200 \text{ кг/м}^3$);
- легкие ($\rho_m = 500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$), к которым относят бетоны на пористых заполнителях, ячеистые бетоны (газобетон и пенобетон), крупнопористые (беспесчаные);

- особо легкие бетоны ($\rho_m < 500 \text{ кг/м}^3$), в которых заполнителем является воздух, находящийся в искусственно созданных ячейках.

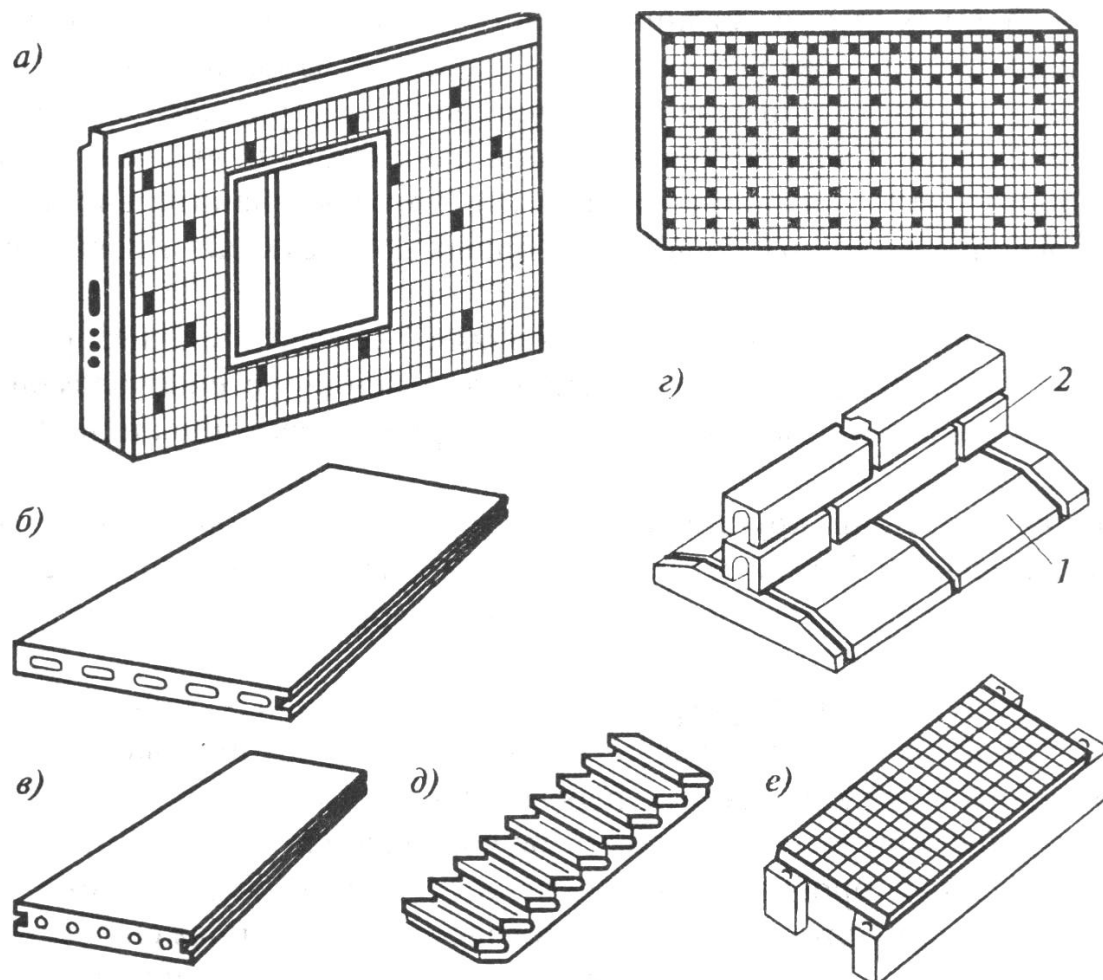


Рис. 10.1. Некоторые виды сборных железобетонных изделий:
a – стеновые панели с различной наружной облицовкой;
б, в – панели перекрытий с овальными и круглыми пустотами;
г – элементы сборных фундаментов (1 – фундаментный блок, 2 – блок стен подвалов);
д – лестничный марш, *е* – лестничная площадка

2. По виду вяжущего бетоны могут быть:

- цементные (ПЦ, ШПЦ, ППЦ и др.);
- силикатные (на известково-кремнеземистом вяжущем);
- гипсовые;
- на смешанных вяжущих (известково-цементных, известково-шлаковых и др.);
- на специальных вяжущих (органических или неорганических), применяемые для специальных целей (химическая стойкость, жаростойкость).

3. По виду заполнителя бетоны бывают:

- на плотных заполнителях (для тяжелых бетонов);

- на пористых заполнителях (для легких и облегченных бетонов);
- на специальных заполнителях, удовлетворяющих специальным требованиям (жаростойкости, химической, радиационной стойкости и др.).

4. *По структуре* различают бетоны:

- плотной структуры, у которых пространство между зернами заполнителя полностью занято затвердевшим вяжущим материалом;
- крупнопористые (малопесчаные и беспесчаные) бетоны, у которых пространство между зернами заполнителя не полностью занято мелким заполнителем и затвердевшим вяжущим;
- поризованные бетоны, в которых затвердевшее вяжущее поризовано пено- или газообразователем;
- ячеистые бетоны, структура которых сформирована искусственно созданными ячейками-порами, заменяющими собой заполнитель.

5. *По назначению* различают:

- конструкционный бетон для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, плит дорожных и т.д.);
- гидротехнический бетон (для плотин, шлюзов, оснований мостов и т.д.);
- бетон для ограждающих конструкций (легкий бетон для стен зданий и сооружений);
- бетон для дорожных и аэродромных покрытий;
- бетоны специального назначения (жароупорный, кислотостойкий, для радиационной защиты и др.).

6. *По способу производства* бетонные и железобетонные конструкции бывают:

- монолитными;
- сборными;
- сборно-монолитными.

7. *По виду армирования* различают изделия:

- с обычным армированием;
- предварительно напряженные.

8. *По условиям твердения*:

- бетоны естественного твердения, используемые для монолитных конструкций;
- бетоны, подвергнутые тепловой обработке при атмосферном давлении, для изготовления сборных конструкций в заводских условиях;
- бетоны, подвергнутые автоклавной обработке, изготовленные в заводских условиях на известково-песчаных вяжущих.

9. *По области применения*:

- для жилых, общественных и гражданских зданий;
- для промышленных зданий и сооружений;
- для инженерных сооружений;
- специального назначения [3, 12].

10.3. Тяжелый бетон

10.3.1. Материалы для изготовления тяжелого бетона

В качестве **вяжущего** для тяжелого бетона применяют портландцемент и его разновидности.

Марку цемента назначают в зависимости от проектной марки бетона по прочности при сжатии согласно данным табл. 10.1.

Таблица 10.1

Марка цемента в зависимости от марки бетона

Марка бетона	M100	M150	M200	M250	M300	M350	M400	M450	M500	M600
Марка цемента	M200	M300	M300 M400	M400	M400 M500	M400 M500	M500 M600	M550 M600	M600	M600

В качестве **мелкого заполнителя** в тяжелом бетоне применяют песок с размером зерен от 0,16 до 5,0 мм естественного происхождения, а также полученный путем дробления твердых горных пород.

Качество песка оценивается минералогическим составом, зерновым составом и содержанием примесей (пылевидных, глинистых и илистых частиц, органических веществ). Пыль, глина и ил, представляющие собой частицы размером менее 0,16 мм, увеличивают водопотребность бетонных смесей и расход цемента в бетоне. Глина к тому же при увлажнении набухает. Органические примеси (продукты разложения остатков растений, гумус) окрашивают бетон и являются причиной его разрушения.

В качестве **крупного заполнителя** для бетонов применяют гравий и щебень с размером зерен 5...70 мм. Зерна гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность.

Щебень получают дроблением магматических и метаморфических, плотных и водостойких осадочных горных пород (плотных известняков, песчаников и др.). Зерна щебня имеют шероховатую поверхность и угловатую форму.

Качество крупного заполнителя оценивается минеральным составом и свойствами исходной породы (ее прочностью и морозостойкостью), зерновым составом, формой зерен и содержанием вредных примесей.

Вода, применяемая для затворения бетонной смеси, не должна содержать вредных примесей, препятствующих схватыванию и твердению вяжущего вещества. Следует применять водопроводную питьевую воду, а также природную речную, имеющую водородный показатель $pH > 4$, содержащую не более 5000 мг/л минеральных солей, в том числе сульфатов не более 2700 мг/л (в пересчете на SO_3). Не допускается применять болотные, а также сточные бытовые и промышленные воды без их очистки.

Современное изготовление изделий и конструкций из тяжелого бетона невозможно представить без применения различных **добавок**. Добавки могут

быть минеральными и химическими. *Минеральные добавки* представляют собой природные (диатомит, трепел, опока, вулканический пепел, туф, пемза и др.) и искусственные (побочные продукты и отходы промышленности: гранулированные доменные шлаки, золы, горелые породы, нефелиновые шламы) вещества. Эти вещества обладают химической активностью, поэтому введение минеральных добавок позволяет сократить расход цемента. Введение *химических добавок* является одним из наиболее универсальных и доступных способов регулирования свойств цементного камня и бетона.

Химические добавки классифицируют по основному эффекту действия:

- регулирующие свойства бетонных смесей, то есть увеличивающие их подвижность (пластифицирующие добавки – сульфитно-спиртовая барда ССБ, мылонафт, асидол, кремнийорганические жидкости, суперпластификатор С-3), предупреждающие расслоение (стабилизирующие), уменьшающие водоотделение (водоудерживающие);

- регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетона, то есть ускорители схватывания и твердения (хлористый кальций, хлористый натрий, поташ, хлорное железо), замедлители схватывания (гипс, поверхностно-активные вещества – ССБ, мылонафт), обеспечивающие твердение при отрицательных температурах (противоморозные добавки – карбамид);

- регулирующие плотность и пористость бетона: воздухововлекающие (сульфонол, смола древесная омыленная СДО), газообразующие (алюминиевая пудра ПАК-3, ПАК-4), пенообразующие (морпен, пеностром), уплотняющие добавки (сульфат алюминия);

- добавки – регуляторы деформаций бетона, расширяющие добавки;

- добавки, повышающие защитные свойства бетона к стали, ингибиторы коррозии стали (нитрит натрия, бихромат калия, бихромат натрия);

- добавки, придающие бетону специальные свойства: гидрофобизирующие, антикоррозионные, кислотостойкие (тонкоизмельченные андезит, базальт, диабаз), противорадиационные (бораты) и др.

Некоторые добавки обладают полифункциональным действием, то есть позволяют одновременно управлять несколькими свойствами бетонной смеси и бетона, например, пластифицировать бетонную смесь и повышать морозостойкость бетона, пластифицировать и ускорять твердение бетона и др.

10.3.2. Свойства бетонной смеси

По своему строению бетонная смесь представляет единое физическое тело, в котором частицы вяжущего, воды и зерна заполнителя связаны между собой внутренними силами взаимодействия.

При действии на бетонную смесь усилия вначале она претерпевает упругие деформации, подобно твердому телу. После преодоления структурной прочности смесь течет подобно жидкости. Поэтому бетонную смесь называют упруго-пластично-вязким телом, обладающим свойствами твердого тела и жидкости.

Эти особенности проявляются при транспортировании, укладке и уплотнении бетонной смеси. При вибрировании структурная прочность бетонной смеси резко уменьшается, она разжижается и способна заполнять форму. Явление разжижения бетонной смеси прекращается после снятия вибрации и структура восстанавливается.

Тиксотропия – свойство бетонной смеси разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать в спокойном состоянии.

Важным свойством бетонной смеси является **удобоукладываемость**, способность заполнять форму при данном способе уплотнения, сохраняя однородность. Для оценки удобоукладываемости используют три показателя:

1. Подвижность, характеризуется осадкой, см, стандартного конуса, отформованного из бетонной смеси (рис. 10.2).

2. Жесткость, определяется по времени выравнивания и уплотнения отформованного конуса в специальном приборе (рис. 10.3).

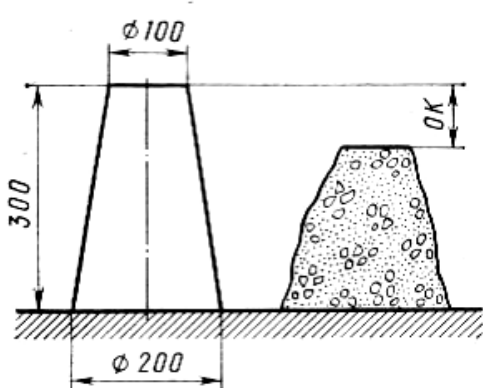


Рис. 10.2. Схема определения осадки конуса

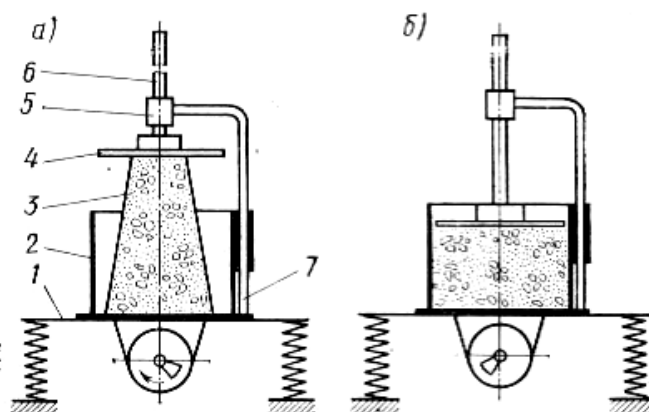


Рис. 10.3. Схема определения жесткости бетонной смеси:

а) прибор в исходном положении;
б) после окончания виброуплотнения;

1 – виброплощадка; 2 – стальной цилиндр с дном; 3 – бетонная смесь;
4 – диск с отверстиями;
5 – втулка; 6 – штанга; 7 – штатив

В зависимости от удобоукладываемости применяют сверхжесткие, жесткие и подвижные бетонные смеси (табл. 10.2).

Классификация бетонных смесей

Марка по удобоукладываемости	Норма удобоукладываемости по показателям	
	жесткости, с	подвижности, см
Сверхжесткие смеси		
СЖ3	Более 100	-
СЖ2	51...100	-
СЖ1	50 и менее	-
Жесткие смеси		
Ж4	31 и более	-
Ж3	21...30	-
Ж2	11...20	-
Ж1	5...10	-
Подвижные смеси		
П1	4 и менее	1...4
П2	-	5...9
П3	-	10...15
П4	-	16...20
П5	-	21 и более

3. Связность, характеризует однородность строения и определяется водоотделением бетонной смеси после ее отстаивания.

10.3.3. Свойства тяжелого бетона

Основной характеристикой бетона является **марка**, устанавливаемая по величине прочности при сжатии контрольных образцов размером 15×15×15 см, изготовленных из бетонной смеси, тщательно перемешанной и уплотненной.

Прочность при растяжении является важной характеристикой гидротехнического и дорожного бетонов. Величина прочности при растяжении составляет 1/10...1/17 предела прочности при сжатии.

Класс бетона по прочности – гарантированная прочность бетона с обеспеченностью 0,95. Это значит, что заданная прочность обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

Зависимость между классом бетона по прочности и его средней прочностью в контролируемой партии бетона определяется по формуле

$$B = \bar{R}(1 - tv), \quad (10.1)$$

где B – класс бетона по прочности, МПа; \bar{R} – средняя прочность бетона, МПа; v – коэффициент вариации прочности бетона (0,135); t – коэффициент обеспеченности (0,95).

Соотношение между классами и марками тяжелого бетона по прочности на сжатие

Класс бетона по прочности	Средняя прочность бетона, кгс/см ²	Ближайшая марка бетона по прочности на сжатие
B3,5	45,8	M50
B5	65,5	M75
B7,5	98,2	M100
B10	131,0	M150
B12,5	163,7	M150
B15	196,5	M200
B20	261,9	M250
B22,5	294,5	M300
B25	327,4	M350
B27,5	359,9	M350
B30	392,9	M400
B35	458,4	M450
B40	523,9	M550
B45	589,4	M600
B50	654,8	M700
B55	720,3	M700
B60	785,8	M800
B65	851,5	M900
B70	917,0	M900
B75	932,5	M1000
B80	1048,0	M1000

Ползучесть бетона – явление увеличения деформаций бетона во времени при действии постоянной нагрузки. Ползучесть зависит от вида цемента и заполнителей, состава бетона, его возраста, условий твердения и влажности.

Усадка происходит при твердении бетона на воздухе. Общая усадка складывается из влажностной, карбонизационной и контракционной составляющих. *Влажностная усадка* происходит вследствие перемещения и испарения влаги в цементном камне. *Карбонизационная усадка* является следствием перехода гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в углекислый кальций CaCO_3 . *Контракционная усадка* вызвана уменьшением абсолютного объема системы цемент-вода при твердении.

По **водонепроницаемости** бетон делится на марки W2, W4, W6, W8 и W12, причем марка обозначает давление воды (кгс/см²), при котором образец не пропускает воду. Для уменьшения проницаемости в бетонную смесь вводят

уплотняющие и гидрофобизирующие добавки.

Морозостойкость во многих случаях предопределяет долговечность бетона, особенно в гидротехнических сооружениях, дорожном строительстве. В зависимости от морозостойкости бетон подразделяется на марки F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400 и F500.

Морозостойкость бетона зависит от качества применяемых материалов и капиллярной пористости бетона. Повысить морозостойкость возможно путем сокращения расхода воды в бетонной смеси, увеличения уплотнения, применения пластифицирующих, гидрофобизирующих и воздухововлекающих добавок.

Функциональная схема производства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций и изделий представлена на рис. 10.4.

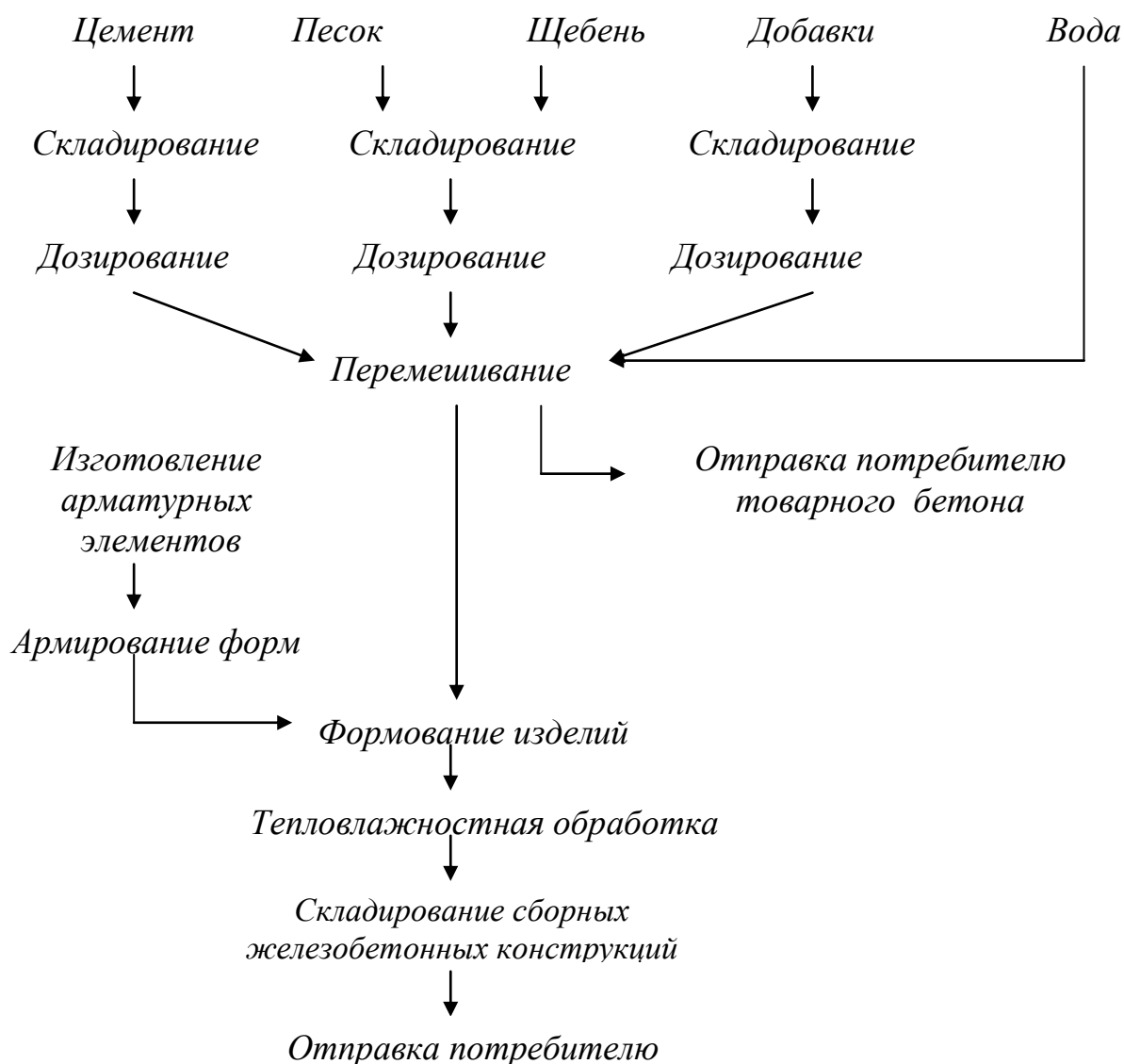


Рис. 10.4. Функциональная схема производства бетонной смеси, бетонных и железобетонных изделий и конструкций

10.4. Легкие бетоны

Легкие бетоны менее теплопроводны по сравнению с тяжелыми, поэтому их используют в основном в наружных ограждающих конструкциях. Легкие бетоны изготавливают с применением пористых заполнителей, путем поризации (ячеистые бетоны) и без использования мелкого заполнителя (крупнопористые бетоны).

10.4.1. Бетоны на пористых заполнителях

Их изготавливают, используя в качестве заполнителя легкие пористые материалы природного или искусственного происхождения.

Природные заполнители получают путем дробления и отсева пористых горных пород магматического или осадочного происхождения: вулканического туфа, пемзы и др.

Искусственные заполнители специально изготавливают или используют отходы промышленности. К специально изготовленным заполнителям относят керамзит, аглопорит, вспученный перлит, вспученный вермикулит, шлаковую пемзу и др. В качестве отходов промышленности применяют гранулированные металлургические шлаки, топливные шлаки.

Керамзитовый гравий получают путем обжига гранул, приготовленных из вспучивающихся глин. Это легкий и прочный заполнитель насыпной плотностью 250...800 кг/м³, в изломе имеет структуру застывшей пены. Спекшаяся оболочка, покрывающая гранулу, придает ей высокую прочность.

Керамзитовый песок (зерна размером до 5 мм) получают дроблением зерен гравия, а также обжигом в печах кипящего слоя.

Керамзит, обладающий высокой прочностью и легкостью, является основным видом пористого заполнителя.

Аглопорит получают при обжиге глинистого сырья с добавкой 8...10 % топлива на решетках агломерационных машин. Топливо (каменный уголь) выгорает, а частицы сырья спекаются. В качестве сырья применяют легкоплавкие глинистые и лессовые породы, а также отходы промышленности (золы, топливные шлаки и др.). Аглопорит выпускают в виде пористого песка, щебня и гравия.

Вспученный перлит изготавливают путем обжига водосодержащих вулканических стеклообразных пород (перлитов, обсидианов). При температуре 950...1200 °С выделяется вода и перлит увеличивается в объеме в 10...20 раз. Вспученный перлит применяют для производства легких бетонов и теплоизоляционных изделий.

Вспученный вермикулит представляет собой пористый сыпучий материал, полученный путем обжига водосодержащих слюд (гидрослюд). Этот заполнитель используют для изготовления теплоизоляционных легких бетонов.

Шлаковую пемзу изготавливают на металлургических заводах путем по-

ризации расплава при быстром его охлаждении. Куски дробят и фракционируют, получая пористый щебень. Производство шлаковой пемзы распространено в районах развитой металлургии.

Топливные отходы (топливные шлаки и золы) образуются в качестве побочного продукта при сжигании антрацита, каменного угля, бурого угля и других видов твердого топлива. На основе золы выпускают зольный гравий путем обжига окатанных гранул. Топливные шлаки – пористые кусковые материалы, получающиеся в топке в результате спекания и вспучивания неорганических (в основном глинистых) примесей, содержащихся в угле. Шлаки подвергаются частичному дроблению, рассеву и обогащению для удаления вредных примесей (несгоревшего угля, золы и др.).

Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов используют и **органические заполнители**, приготовленные из древесины, стеблей хлопчатника, костры, гранул пенополистирола, стекловолокна, пенопропиленовых фибр и др.

Основной характеристикой пористых заполнителей является насыпная плотность, в зависимости от которой устанавливаются марки заполнителей (кг/м^3): 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000 и 1200.

В отличие от тяжелых заполнителей из плотных горных пород зерна легких заполнителей обладают весьма развитой шероховатой поверхностью и большой пористостью. Благодаря развитой системе пор заполнители способны поглощать значительное количество воды затворения. Отсос воды и шероховатая поверхность делают легкобетонные смеси недостаточно удобоукладываемыми. Поэтому при приготовлении бетонов на легких заполнителях особенно эффективным является применение гидрофобно-пластифицирующих добавок.

Качество легкого бетона оценивают двумя важнейшими показателями: классом по прочности и маркой по средней плотности.

Прочность легкого бетона зависит от марки цемента, водоцементного отношения, прочности пористого заполнителя. Для легких бетонов установлены следующие классы по прочности: В0,35...В40.

По **средней плотности** легкие бетоны делятся на три группы:

- теплоизоляционные со средней плотностью не более 500 кг/м^3 ;
- конструкционно-теплоизоляционные ($\rho_m = 500 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$);
- конструкционные ($\rho_m = 1400 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$).

Уменьшить плотность легких бетонов можно путем образования в цементном камне мелких замкнутых пор путем введения небольшого количества пено- или газообразующих веществ. Мелкие и равномерно распределенные поры в цементном камне незначительно понижают прочность, но зато существенно уменьшают среднюю плотность и коэффициент теплопроводность бетона.

По **морозостойкости** легкие бетоны делят на марки F25...F500, по **водонепроницаемости** W0,2...W2,5.

10.4.2. Ячеистые бетоны

Ячеистые бетоны не содержат крупного заполнителя, их структура заполнена многочисленными воздушными ячейками.

Ячеистые бетоны получают в результате затвердевания предварительно вспученной смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды. Вспучивание достигается введением в состав небольшого количества порообразователя.

В качестве вяжущего в ячеистом бетоне используют портландцемент (цементный ячеистый бетонов) или молотую негашеную известь (силикатный ячеистый бетон). Кремнеземистый компонент вводят в состав бетона в виде молотого кварцевого песка, пылевидной золы ТЭС или молотого гранулированного шлака. Смесь вяжущего и кремнеземистого компонента с добавлением воды тщательно перемешивают.

1. По назначению ячеистые бетоны делят на три группы:

- теплоизоляционные средней плотностью в высушенном состоянии не более 500 кг/м^3 ;

- конструкционно-теплоизоляционные ($\rho_m = 500 \dots 900 \text{ кг/м}^3$);

- конструкционные ($\rho_m = 900 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$).

2. По условиям твердения бетоны подразделяют:

- на автоклавные, твердеющие в среде насыщенного пара при давлении выше атмосферного;

- на неавтоклавные, твердеющие в естественных условиях, при электропрогреве или в среде насыщенного пара при атмосферном давлении.

3. По способу порообразования бетоны подразделяют:

- на газобетоны, когда в тесто вводят газообразующую добавку и в смеси происходят химические реакции, сопровождающиеся выделением газа;

- на пенобетоны, когда тесто смешивают с отдельно приготовленной устойчивой пеной;

- на газопенобетоны.

У нас и за рубежом развивается производство преимущественно газобетона. Его технология более проста и позволяет получить материал пониженной плотности со стабильными свойствами. Пена же не отличается стабильностью, что вызывает колебания плотности и прочности пенобетона.

Газобетон готовят из смеси портландцемента, кремнеземистого компонента и газообразователя.

По типу химических реакций газообразователи делят на следующие виды:

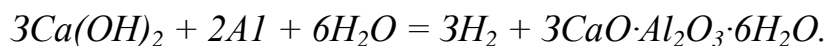
- вступающие в химическое взаимодействие с вяжущим или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра);

- разлагающиеся с выделением газа (пергидроль H_2O_2);

- взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (например, молотый известняк и соляная кислота).

Чаще всего газообразователем служит алюминиевая пудра, которая, реа-

гируя с гидратом окиси кальция, выделяет водород по реакции



Расход алюминиевой пудры для изготовления 1 м³ газобетона при плотности 600...700 кг/м³ составляет 0,4...0,5 кг.

Существует несколько разновидностей технологии изготовления газобетона.

Литьевая технология предусматривает дозировку и перемешивание компонентов (вяжущего, песчаного шлама и воды) в самоходном газобетоносмесителе с получением смеси влажностью до 50...60 %. В приготовленную смесь вливают водную суспензию алюминиевой пудры и после последующего перемешивания теста с алюминиевой пудрой газобетонную смесь заливают в металлические формы на определенную высоту с таким расчетом, чтобы после вспучивания формы были заполнены доверху.

Избыток смеси («горбушку») после схватывания срезают проволочными струнами. Для ускорения газообразования, а также процессов схватывания и твердения применяют «горячие» смеси на подогретой воде с температурой в момент заливки в формы около 40 °С.

Вибрационная технология газобетона заключается в том, что во время перемешивания в смесителе и вспучивания в форме смесь подвергается вибрации, что сопровождается разжижением. Разжижение позволяет уменьшить количество воды затворения, ускорить процесс газовыделения. После прекращения вибрирования газобетонная смесь быстро приобретает структурную прочность, позволяющую разрезать изделие на блоки.

Резательная технология изготовления изделий из ячеистого бетона предусматривает формование вначале большого массива (объемом 10...12 м³, высотой до 2 м). После того как бетон наберет структурную прочность, массив разрезают в горизонтальном и вертикальном направлениях на прямоугольные элементы, а затем подвергают тепловой обработке. Полученные элементы калибруют на специальной фрезерной машине, а затем отделяют их фасадные поверхности.

Газосиликат изготавливают на основе известково-кремнеземистого вяжущего, используя местные дешевые материалы: воздушную известь и песок, золу, металлургические шлаки и др. Изделия из газосиликата приобретают нужную прочность только после автоклавной обработки (при температуре 175...200 °С и давлении 0,8...1,3 МПа), обеспечивающей химическое взаимодействие между известью и кремнеземистым компонентом и образование нерастворимых в воде гидросиликатов кальция.

Функциональная схема производства газосиликатного бетона приведена на рис. 10.5.

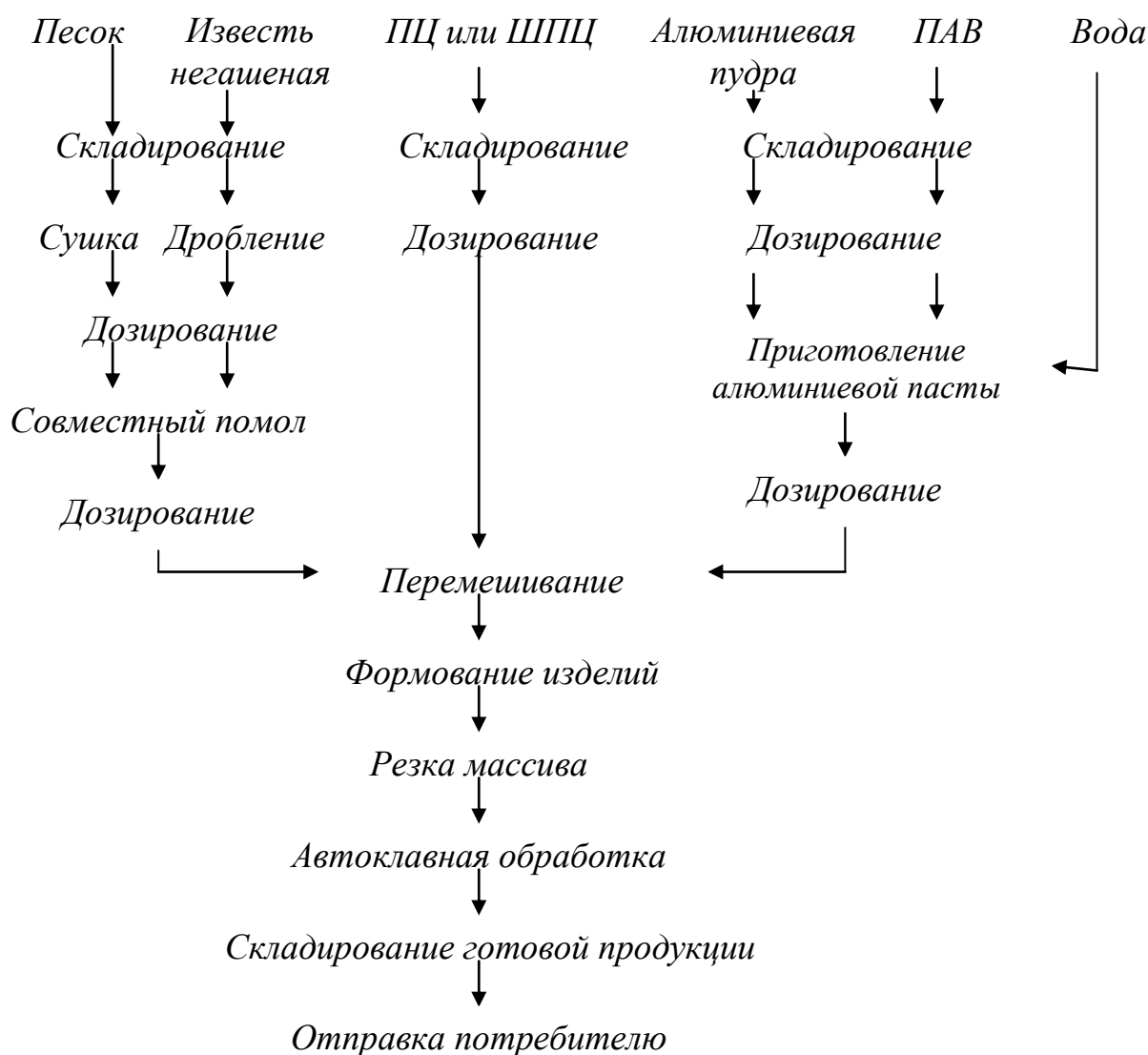


Рис. 10.5. Функциональная схема производства силикатного ячеистого газобетона

Пенобетон готовят, смешивая отдельно приготовленную растворную смесь, состоящую из цемента, кремнеземистого компонента и воды, и пену.

Пену готовят из водного раствора пенообразователей, содержащих поверхностно-активные вещества. Применяют клееканифольный, смолосапониновый, алюмосульфонафтенный и синтетические пенообразователи. Стабилизаторами пены служат добавки раствора животного клея, жидкого стекла или сернокислого железа.

После приготовления пенобетонной смеси она поступает в формы. Для сокращения времени выдержки и ускорения оборачиваемости форм добавляют хлористый кальций, поташ и другие вещества, ускоряющие структурообразование.

Пеносиликат, как и газосиликат, изготавливают на основе известково-кремнеземистого вяжущего.

Прочность и средняя плотность являются главными показателями качества ячеистого бетона.

Прочность автоклавного и неавтоклавного бетонов характеризуют марками по прочности на сжатие: М7,5; М10; М15; М25; М35; М50; М75; М100; М150; М200 и классами: В0,5; В0,75; В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15.

По показателю **средней плотности** в сухом состоянии бетоны делятся на марки: D300; D350; D400; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200. Марка характеризует плотность, колеблющаяся от 300 до 1200 кг/м³, которая косвенно отражает пористость ячеистого бетона (соответственно 85...60 %).

Показатели физико-механических свойств ячеистых бетонов приведены в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Показатели физико-механических свойств ячеистых бетонов

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Бетон автоклавный		Бетон неавтоклавный	
		класс по прочности на сжатие	марка по морозостойкости	класс по прочности на сжатие	марка по морозостойкости
Теплоизоляционный	D300	В0,75 В0,5	Не нормируется	—	—
	D350	В1 В0,75		В0,75 В0,5	Не нормируется
	D400	В1,5 В1			
	D500	—	—	В1 В0,75	
Конструкционно-теплоизоляционный	D500	В2,5 В2 В1,5 В1	От F15 до F35	—	—
	D600	В3,5 В2,5 В2 В1,5	От F15 до F75	В2 В1	От F15 до F35
	D700	В5 В3,5 В2,5 В2	От F15 до F100	В2,5 В2 В1,5	От F15 до F50
	D800	В7,5 В5 В3,5 В2,5		В3,5 В2,5 В2	От F15 до F75

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Бетон автоклавный		Бетон неавтоклавный	
		класс по прочности на сжатие	марка по морозостойкости	Класс по прочности на сжатие	Марка по морозостойкости
Конструкционно-теплоизоляционный	D900	B10 B7,5 B5 B3,5	От F15 до F75	B5 B3,5 B2,5	От F15 до F75
Конструкционный	D1000	B12,5 B10 B7,5	От F15 до F50	B7,5 B5	От F15 до F50
	D1100	B15 B12,5 B10		B10 B7,5	
	D1200	B15 B12,5		B12,5 B10	

Водопоглощение и морозостойкость зависят от величины и характера пористости ячеистого бетона и плотности перегородок между макропорами (ячейками). Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости стремятся к созданию ячеистой структуры с замкнутыми порами.

Установлены следующие марки ячеистого бетона по морозостойкости: F15, F25, F35, F50, F75, F100. Для панелей наружных стен применяют ячеистый бетон марок F15, F25 в зависимости от влажности атмосферы в помещениях и климатических условий. Более высокая морозостойкость требуется для конструкционного ячеистого бетона, подвергающегося многократному замораживанию и оттаиванию.

Теплопроводность ячеистого бетона зависит от плотности и влажности, например, при плотности 600 кг/м^3 теплопроводность в сухом состоянии $0,14 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$, при влажности 8 % – $0,22 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Усадка зависит от состава ячеистого бетона, плотности и условий твердения. Ячеистый бетон плотностью $700\text{...}800 \text{ кг/м}^3$ в воздухе с 70...80-процентной относительной влажностью и температурой 20°C имеет усадку $0,4\text{...}0,6 \text{ мм/м}$.

10.4.3. Крупнопористый бетон

Для получения крупнопористого бетона из состава намеренно исключают мелкий заполнитель (песок), благодаря чему создается значительный объем межзерновых пустот. Исключение песка из состава и ограниченный расход цемента позволяют получать крупнопористые бетоны со средней плотностью $1700\text{...}1900 \text{ кг/м}^3$ и теплопроводностью $0,55\text{...}0,8 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Марки крупнопористого бетона по прочности при сжатии колеблются от

M15 до M75.

Крупнопористый бетон целесообразно применять в районах, богатых гравием. Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготавливают крупные стеновые блоки. Стены из крупнопористого бетона оштукатуривают с двух сторон для предотвращения продувания.

10.5. Особые и специальные виды бетонов

Высокопрочный бетон марок M600...M1000 получают на основе высокопрочного портландцемента, промытого песка и щебня. Из компонентов готовят малоподвижные и жесткие смеси с низкими В/Ц = 0,27...0,45. Для плотной укладки этих смесей при формировании изделий используют интенсивное уплотнение: вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование, прессование. Значительно облегчают уплотнение добавки – суперпластификаторы, не понижающие прочности бетона.

Высокопрочные бетоны являются, как правило, и быстротвердеющими. Они могут набирать прочность как в условиях сокращенной тепловой обработки, так и без нее.

Применение высокопрочных бетонов дает возможность уменьшить расход арматурной стали на 10...12 % и сократить объем бетона на 10...30 %.

Гидротехнический бетон предназначается для изготовления конструкций, находящихся в воде или периодически соприкасающихся с водой. Поэтому гидротехнический бетон должен удовлетворять требованиям по прочности, долговечности, водостойкости, водонепроницаемости, морозостойкости, тепловыделению при твердении, усадке и трещиностойкости.

Обычно весь массив бетона делят на наружную и внутреннюю зоны. Бетон наружной зоны по отношению к уровню воды делят на бетон подводный (находящийся постоянно в воде), переменного уровня воды и надводный, находящийся выше уровня воды.

В самых суровых условиях находится бетон, расположенный в области переменного уровня воды. Он многократно замерзает и оттаивает, находясь все время во влажном состоянии. Это же относится к бетону водосливной грани плотин, морских сооружений (причалов, пирсов, молов и т.д.), градирен, служащих для охлаждения оборотной воды на тепловых электростанциях, предприятиях металлургической и химической промышленности. Этот бетон должен обладать высокой плотностью и морозостойкостью, что достигается правильным выбором цемента, применением морозостойких заполнителей, подбором состава плотного бетона и тщательным производством бетонных работ.

Бетон внутренней зоны массивных конструкций защищен наружным бетоном от непосредственного воздействия воды. Поэтому к этому бетону предъявляются следующие требования: минимальное тепловыделение при твердении (ШПЦ, ППЦ), прочность M100, M150 и водонепроницаемости W2, W4.

Стойкость гидротехнического бетона к воздействиям среды определяется

комплексом его свойств: морозостойкостью, малым водопоглощением, небольшими деформациями усадки.

Установлены следующие марки гидротехнического бетона по морозостойкости: F100, F150, F200, F300, F400, F500.

Водопоглощение бетона зоны переменного уровня воды не должно превышать 5 %, для бетонов других зон – не более 7 %.

Линейная усадка бетона при относительной влажности воздуха 60 % и температуре 18 °С в возрасте 28 сут. не превышает 0,3 мм/м, в возрасте 180 сут. – 0,7 мм/м. Предельно допустимые величины набухания составляют: в возрасте 28 сут. – 0,1 мм/м, 180 сут. – 0,3 мм/м.

Дорожный бетон предназначен для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Он должен хорошо сопротивляться истиранию. Бетонное покрытие дороги работает на изгиб как плита на упругом основании, поэтому основной прочностной характеристикой бетона является проектная марка на растяжение при изгибе.

Бетон дорожных покрытий подвергается совместному действию воды и мороза при одновременном влиянии солей, используемых для предотвращения обледенения и облегчения очистки дорог ото льда. Поэтому бетон однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий должен иметь необходимую морозостойкость: в суровом климате не ниже 200; в умеренном – 150; в мягком – 100.

Чтобы получить морозостойкий бетон, применяют портландцемент М500, гидрофобный и пластифицированный портландцементы. В/Ц бетона не должно превышать величины 0,5...0,55. Бетон оснований дорожных покрытий изготавливают на портландцементе М300 и М400 и шлакопортландцементе. Начало схватывания цемента должно быть не ранее 2 ч, поскольку дорожный бетон нередко приходится перевозить на большие расстояния.

Для декоративных целей при устройстве пешеходных переходов, разделительных полос на дорожных покрытиях, парковых дорожек, а также изготовлении элементов городского благоустройства используют **цветные бетоны**. Такие бетоны получают при введении в бетонную смесь пигментов в количестве 8...10 % от массы цемента (охра, мумия, сурик и др.) или применении цветных цементов. В отдельных случаях используют заполнители, обладающие необходимым цветом, например туфы, красные кварциты, мрамор и другие окрашенные горные породы.

Жаростойкий бетон предназначается для изготовления промышленных агрегатов (облицовки котлов, футеровки печей) и строительных конструкций, подверженных нагреванию (дымовые трубы). При действии высокой температуры на цементный камень происходит разложение гидроксида кальция с образованием СаО, который при воздействии влаги гидратируется с увеличением объема и вызывает растрескивание бетона. Поэтому в жаростойкий бетон на портландцементе вводят тонко измельченные материалы, содержащие активный кремнезем SiO₂ (пемзы, золы, доменный гранулированный шлак, шамот),

который связывает оксид кальция. Шлакопортландцемент уже содержит добавку доменного гранулированного шлака и может успешно применяться при температурах до 700 °С.

Однако портландцемент и шлакопортландцемент нельзя применять для жаростойкого бетона, подвергающегося кислотной коррозии (например, действию сернистого ангидрида в дымовых трубах). В этом случае следует применить бетон на жидком стекле. Он хорошо противостоит кислотной коррозии и сохраняет свою прочность при нагреве до 1000 °С.

Глиноземистый цемент можно применять без тонкомолотой добавки, поскольку при его твердении не образуется гидроксид кальция. Еще большей огнеупорностью (не ниже 1580 °С) обладает высокоглиноземистый цемент с содержанием глинозема 65...80 %. А в сочетании с высокоогнеупорным заполнителем его применяют при температурах до 1700 °С.

Столь же высокой огнеупорности позволяют достигнуть жаростойкие бетоны на фосфатных и алюмофосфатных связующих (фосфорная кислота H_3PO_4 , алюмофосфаты $Al(H_2PO_4)_3$ и магнийфосфаты $Mg(H_2PO_4)_2$). Они имеют небольшую огневую усадку, термически стойки, хорошо сопротивляются истиранию.

Заполнитель для жаростойкого бетона должен быть не только стойким при высоких температурах, но и обладать равномерным температурным расширением.

Бескварцевые изверженные горные породы как плотные (сиенит, диорит, диабаз, габбро), так и пористые (пемза, вулканические туфы, пеплы) можно использовать для жаростойкого бетона, применяемого при температурах до 700 °С.

Для бетона, работающего при температурах 700...900 °С, целесообразно применять *бой обычного глиняного кирпича и доменные отвальные шлаки*.

При более высоких температурах заполнителем служат *огнеупорные материалы*: кусковой шамот, бой шамотных, хроммагнезитовых и других огнеупорных изделий.

Легкий жаростойкий бетон изготавливают на пористом заполнителе, выдерживающем действие высоких температур (700...1000 °С): керамзит, вспученный перлит, вермикулит, вулканический туф. Такой бетон имеет среднюю плотность менее 2100 кг/м³, теплопроводность в 1,5...2 раза меньше, чем у тяжелого жаростойкого бетона.

Ячеистый жаростойкий бетон отличается небольшой средней плотностью (500...1200 кг/м³) и малой теплопроводностью.

Сборные элементы и монолитные конструкции из жаростойкого бетона широко применяют в различных отраслях промышленности: энергетической, черной и цветной металлургии, в химической и нефтеперерабатывающей, в производстве строительных материалов.

Кислотоупорный бетон. Вяжущим для кислотоупорного бетона является жидкое стекло с полимерной добавкой. Для повышения плотности бетона вводят наполнители – кислотостойкие минеральные порошки, получаемые измельчением чистого кварцевого песка, андезита, базальта, диабазы и т.п. В качестве отвердителя используют кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6), в качестве

заполнителя – кварцевый песок, щебень из гранита, кварцита, андезита и других стойких пород.

После укладки с вибрированием бетон выдерживают не менее 10 сут на воздухе (без поливки) при 15...20 °С. После отверждения рекомендуется поверхность бетона смочить раствором серной или соляной кислот. Кислотоупорный бетон применяют в качестве защитных слоев (футеровок) по железобетону и металлу.

Бетоны для защиты от радиоактивного воздействия предназначены для защиты окружающей среды от α -, β -частиц, γ - и нейтронного излучения, возникающих от действия радиации. Если защита от α - и β -частиц не представляется затруднительной ввиду малого пробега частиц, то для защиты от γ -излучения требуются особо тяжелые бетоны с заполнителями на основе оксидов бария, железа и других соединений (для рассеивания излучения), а для защиты от нейтронного излучения – наличие в бетонах водорода, бора, лития, кадмия (для поглощения излучения).

Выбор бетона для защиты от радиоактивного воздействия обусловлен назначением сооружения, районом строительства и наличием местных сырьевых материалов. По функциональному назначению такие сооружения бывают:

- для защиты от поражающего действия ядерного взрыва;
- для защиты от радиоактивного излучения промышленных, энергетических и исследовательских установок;
- хранилища радиоактивных материалов и отходов.

Наиболее эффективными являются подземные бетонные сооружения, так как уплотненный и увлажненный грунт обладает хорошими защитными свойствами от γ - и нейтронного излучений. Толщина грунта 8 см способствует половинному ослаблению γ - лучей, что в 1,5 раза больше, чем у бетона, и в 5 раз – чем у стали.

Вязущим для таких бетонов служит портландцемент или шлакопортландцемент, который выделяет при гидратации немного тепла и поэтому хорошо зарекомендовал себя в массивных защитных конструкциях.

В качестве заполнителей используют тяжелые природные или искусственные материалы (магнетит Fe_3O_4 и гематит Fe_2O_3 , бурый железняк (лимонит) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, баритовые руды BaSO_4). Свинец является достаточно дорогим, поэтому его применяют при малой толщине защиты, для заделки отверстий в конструкциях, когда требуется бетон с повышенными защитными свойствами.

Средняя плотность бетона на металлическом заполнителе достигает 6000 кг/м³. Механические свойства особо тяжелых магнетитового, гематитового, лимонитового и баритового бетонов близки. Особо тяжелый бетон имеет марки по прочности М100, М200 и М300, при этом марки на осевое растяжение составляют 10, 20.

Бетон должен иметь относительно низкий модуль упругости, что позволяет снизить величину растягивающих напряжений во внешней зоне защиты, в результате одностороннего нагрева. Кроме того, бетон, расположенный у ак-

тивного корпуса реактора, должен обладать достаточной стойкостью к воздействию излучений, быть огнестойким и жаростойким. Для массивных конструкций желательны меньшая теплота гидратации цемента и минимальная усадка бетона (для предотвращения температурных и усадочных трещин), а также небольшая величина коэффициента температурного расширения.

Мелкозернистый бетон не содержит крупного заполнителя, вследствие чего увеличивается водопотребность бетонной смеси и возрастает расход цемента на 20...40 % по сравнению с обычным бетоном. Снизить расход цемента возможно за счет применения высокопрочного фракционированного песка, добавок-суперпластификаторов, усиленного уплотнения.

Мелкозернистый бетон имеет повышенную прочность на изгиб, хорошую водонепроницаемость и морозостойкость. Мелкозернистый бетон широко применяется при изготовлении тротуарной плитки, а также при изготовлении тонкостенных, в том числе армоцементных конструкций.

Бетон на шлакощелочных вяжущих. Шлакощелочное вяжущее представляет собой гидравлическое вяжущее вещество, получаемое в результате твердения смеси, состоящей из шлаков черной или цветной металлургии, белитовых шламов, высококальциевых зол ТЭС, затворенной растворами щелочных металлов. Применяют заполнители из горных пород, а также из техногенных твердых отходов. В отличие от цементного шлакощелочное вяжущее активно взаимодействует с минеральными заполнителями. По своим свойствам такие бетоны не уступают цементным, но имеют повышенную жаро- и химическую стойкость.

Дисперсно-армированный бетон (фибробетон) представляет собой композиционный материал, упрочненный волокнами, что повышает его прочность на разрыв. Эффективность армирования волокнами зависит от ориентации волокон по отношению к действию растягивающих усилий. Волокна препятствуют развитию усадочных трещин, их наличие повышает прочность сцепления стержневой арматуры с бетоном примерно на 40 %.

Применяют минеральные (стеклянные, базальтовые, кварцевые и др.), металлические (из обычной или нержавеющей стали), синтетические (пропиленовые, капроновые и др.) волокна.

Криогенные бетоны – бетоны, работающие при низких температурах ниже природных (-70°C). Получение и использование низких температур – быстро развивающаяся область науки и техники, требующая использования надежных и долговечных конструкций, например сооружений для хранения сжиженных газов. Раньше для этих целей использовали металлические резервуары, что являлось очень капиталоемким процессом. Применение бетонных конструкций для этих целей позволяет при жестких условиях эксплуатации обеспечить непроницаемость, ударостойкость, термоустойчивость (от -70°C при хранении, до $+600^{\circ}\text{C}$ – при пожаре). Связано это с тем, что в водонасыщенном бетоне при снижении температуры увеличивается прочность на сжатие, растяжение и сцепление с арматурой.

Контрольные вопросы

1. Что такое бетон и железобетон?
2. Назовите преимущества бетона по сравнению с другими строительными материалами.
3. Представьте классификацию бетонов.
4. Какие сырьевые материалы применяются для изготовления тяжелого бетона? Охарактеризуйте их.
5. Какие добавки применяются в технологии тяжелого бетона?
6. Представьте классификацию химических добавок, применяемых в производстве изделий из тяжелого бетона.
7. Что такое бетонная смесь? Каковы свойства бетонной смеси?
8. Опишите методику определения удобоукладываемости бетонной смеси.
9. Назовите основные свойства тяжелого бетона. Что такое класс бетона по прочности?
10. Изобразите технологическую схему производства бетонных и железобетонных изделий и конструкций.
11. Основное назначение легких бетонов. Какие существуют способы получения легких бетонов?
12. Что такое легкие бетоны на пористых заполнителях? Какие материалы применяются в качестве заполнителя в таких бетонах?
13. Что представляют собой ячеистые бетоны? По каким признакам их классифицируют?
14. Раскройте сущность технологии производства ячеистых бетонов (газосиликатный бетон).
15. Раскройте сущность технологии производства пенобетонов.
16. Как получить крупнопористый бетон?
17. Какими свойствами должен обладать гидротехнический бетон?
18. Для каких целей применяется дорожный бетон? Назовите его основные свойства.
19. Опишите свойства и области применения декоративного бетона.
20. Какие сырьевые материалы (вяжущие, заполнители) применяются для получения жаростойкого бетона?
21. Охарактеризуйте бетоны для защиты от радиоактивного излучения. Какие сырьевые материалы применяются для таких бетонов?
22. Для каких целей применяется мелкозернистый бетон?
23. Что такое фибробетон? Что такое криогенные бетоны?

РАЗДЕЛ 11

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

11.1. Общие сведения

Полимерными материалами (пластмассами) называют материалы, основой которых являются природные или синтетические высокомолекулярные соединения.

Молекулы высокомолекулярных соединений состоят из нескольких тысяч или даже сотен тысяч атомов. Чаще всего макромолекулы таких соединений построены путем многократного повторения определенных структурных единиц. Высокомолекулярные соединения встречаются в природе. К ним принадлежит натуральный каучук, целлюлоза, шелк, шерсть, янтарь и др.

Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500.

Пластмассы получают из связующего вещества и наполнителя, а также вводя специальные добавки: пластификаторы, отвердители, стабилизаторы, красители и др.

Связующим веществом в пластмассах служат различные полимеры - синтетические смолы и каучуки, производные целлюлозы. Выбор связующего вещества в значительной мере определяет технические свойства изделий из пластмасс: их теплостойкость, способность сопротивляться воздействию кислот, щелочей и др. агрессивных веществ, а также их прочностные и деформационные характеристики. Связующее вещество является самым дорогим компонентом пластмассы.

Исходными материалами для получения полимеров являются природный газ, газообразные продукты переработки нефти (этилен, пропилен и др.). Сырьем для полимеров служит также каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля и содержащий фенол и другие компоненты.

Наполнители представляют собой разнообразные неорганические и органические порошки и волокна (бумага, ткань, древесный шпон). Применение наполнителя значительно уменьшает количество полимера в системе, повышает теплостойкость и прочность пластмасс.

Пластификаторы добавляются к полимеру для повышения его эластичности и уменьшения хрупкости.

Отвердители – вещества, являющиеся инициаторами реакций полимеризации, которые ускоряют отвердевание полимера.

Стабилизаторы способствуют сохранению структуры и свойств пластмасс во времени, предотвращают их старение при воздействии солнечного света, кислорода воздуха и других неблагоприятных влияний.

Красители – вещества, предающие полимерным материалам окраску. В качестве красителей применяют органические (нигрозин) и минеральные пиг-

менты (охру, сурик, ультрамарин, белила и др.).

Порообразователи (порофоры) вводят в состав полимеров для создания в материале пор.

11.2. Свойства пластмасс

Положительными свойствами пластмасс являются:

- малая средняя плотность (20...2200 кг/м³);
- высокие прочностные характеристики ($R_{\text{раст}} = 150...350$ МПа, $R_{\text{сж}} = 120...400$ МПа);
- низкая теплопроводность (0,03 Вт(м·°С));
- высокая химическая стойкость;
- высокая устойчивость к коррозионным воздействиям;
- малая истираемость некоторых пластмасс;
- прозрачность и способность окрашиваться в различные цвета;
- легкость в обработке (пилении, сверлении, фрезеровании, строгании, обточки).

Вместе с тем пластмассы имеют ряд недостатков:

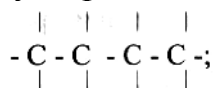
- низкая теплостойкость (от + 70 до + 200 °С);
- малая твердость;
- высокий коэффициент термического расширения;
- повышенная ползучесть, особенно при повышении температуры;
- горючесть и токсичность;
- старение под воздействием солнечных лучей, кислорода воздуха, повышенных температур.

11.3. Классификация полимеров

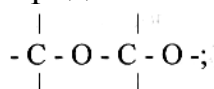
Полимеры классифицируются по составу, по методу получения, по внутреннему строению и по отношению к нагреванию.

1. *По составу основной цепи* макромолекул полимеры делят на три группы:

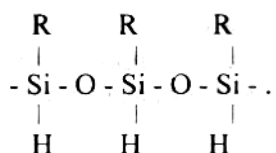
- карбоцепные, в которых основная молекулярная цепь состоит только из атомов углерода;



- гетероцепные, в состав молекулярных цепей которых входят кроме атомов углерода атомы кислорода, серы, азота, фосфора;



- элементоорганические, в основных молекулярных цепях которых содержатся атомы кремния, алюминия, титана и некоторых других элементов;



2. По методу получения полимеры бывают:

- полимеризационные (полиэтилен, полистирол), полученные из низкомолекулярных мономеров путем срастания. Химический состав мономера и полученного из него полимера одинаков;

- поликонденсационные (фенолоальдегидные, мочевиноальдегидные, эпоксидные, полиэфирные и т.п.), также получены из низкомолекулярных мономеров, но, в отличие от полимеризационных полимеров, их состав отличается от состава исходных компонентов вследствие выделения при реакции побочных продуктов (воды, аммиака и др.).

3. По внутреннему строению полимеры бывают:

- линейные, состоящие из длинных нитевидных макромолекул, связанных между собой слабыми силами межмолекулярного взаимодействия (рис. 11.1);

- пространственные – имеют прочные химические связи между цепями, которые образуют единый пространственный каркас.

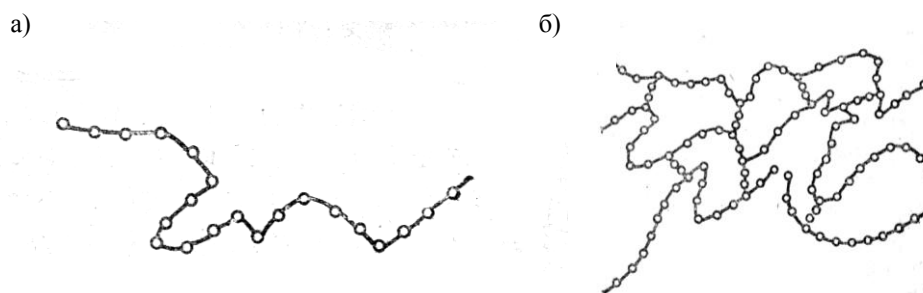


Рис. 11.1. Схематичное изображение строение полимеров:
а – линейного; б – пространственного

Пространственные структуры гораздо хуже деформируются, чем структуры из линейных молекул. Различие между ними отчетливо проявляется при нагревании.

4. По отношению к нагреванию полимеры делятся на две группы:

- термопластичные, способные при нагревании размягчаться, а при охлаждении отверждаться (линейные полимеры);

- термореактивные – при повышении температуры не переходят в пластическое состояние, но при высоких температурах возгораются (пространственные полимеры).

11.4. Основные виды полимеров

11.4.1. Полимеризационные полимеры

Полиэтилен $[-\text{CH}_2-\text{CH}_2-]_n$ представляет собой твердый белый роговидный продукт, полученный путем полимеризации этилена ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$).

Его выпускают в виде гранул размером 3...5 мм или в виде белого порошка. Полиэтилен является одним из самых легких полимеров - его плотность меньше плотности воды (0,92...0,97 г/см³). Он обладает высокими прочностными характеристиками, низким водопоглощением (0,03...0,04 %), высокой химической стойкостью и морозостойкостью.

Однако при его применении следует учитывать некоторые особенности, свойственные всем линейным полимерам: малую твердость, ограниченную теплостойкость (108...130 °С), большой коэффициент температурного расширения.

Полиэтилен применяют для изготовления гидроизоляционных материалов, труб, предметов санитарно-технического оборудования.

Поливинилхлорид (ПВХ) $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$ является продуктом полимеризации винилхлорида. Мономер ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ, обладающий эфирным запахом.

Высокие механические свойства поливинилхлорида определили главные области его применения в строительстве. Этот полимер используют в основном для производства разнообразных материалов для полов: однослойного безосновного линолеума, линолеумов на тканевой и тепловой основах, многослойных линолеумов, плиток для полов. Из поливинилхлорида изготавливают гидроизоляционные и отделочные декоративные материалы. Ценным свойством поливинилхлорида является стойкость к действию кислот, щелочей, спирта, бензина, смазочных масел. Поэтому его широко применяют для производства труб, используемых в системах водоснабжения, канализации и технологических трубопроводов. Из него изготавливают плитуса, поручни, ячеистые теплоизоляционные материалы.

Недостатками поливинилхлорида являются резкое понижение прочности при повышении температуры, а также ползучесть при длительном действии нагрузки.

Полистирол $[-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-]_n$ является одним из наиболее применяемых полимеров. Его получают путем полимеризации мономера – стирола $\text{CH}_2=\text{CHC}_6\text{H}_5$. В противоположность мономеру полистирол лишен запаха и вкуса, физиологически безвреден. При обычной температуре полистирол представляет собой твердый прозрачный материал, похожий на стекло, пропускающий до 90 % видимой части спектра. Выпускают полистирол в виде гранул (6...10 мм), мелкого и крупнозернистого порошка, а также в виде бисера с влажностью до 0,2 %.

Полистирол обладает высокими механическими свойствами ($R_p = 35...60$ Па, $R_{сж} = 80...110$ МПа), водостойкостью, хорошо сопротивляется

действию концентрированных кислот (кроме азотной и ледяной уксусной), противостоит растворам щелочей (с концентрацией до 40 %). Облицовочные плитки из полистирола долговечны, их применяют для облицовки стен ванных комнат, санузлов, кухонь, лабораторных помещений и т.п.

К недостаткам полистирола, ограничивающим его применение, относятся: невысокая теплостойкость, хрупкость, проявляющаяся при ударных нагрузках.

Полиметилметакрилат (оргстекло) $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)(\text{O}\text{C}\text{O}\text{C}\text{H}_3)-]_n$ является продуктом полимеризации метилового эфира метакриловой кислоты. Метилметакрилат синтезируют в виде бесцветной прозрачности жидкости, подвергая сложной химической переработке исходные сырьевые продукты (нефтяные углеводороды, природный газ и др.).

Особенностью органического стекла является его исключительная прозрачность, бесцветность, способность пропускать ультрафиолетовые лучи, светостойкость и атмосферостойкость. Органическое стекло пропускает 73,5 % ультрафиолетовых лучей, в то время как обычное силикатное – лишь 0,6 %, зеркальное силикатное – 3 %, а кварцевое стекло – 100 %. Поэтому органическое стекло применяют для остекления окон больниц, витрин, теплиц, парников, фонарей производственных помещений, декоративных ограждений и т.п. При температуре выше 90 °С полимер становится эластичным и хорошо формуется. Полиметилметакрилат легко обрабатывается резанием, шлифовкой. Техническое органическое стекло имеет высокую прочность при сжатии (120...140 МПа). Ударная вязкость органического стекла почти не снижается в интервале температур от 60 до 183 °С.

Однако недостаточная абразивостойкость и теплостойкость (80 °С) ограничивают применение органического стекла. Этот полимер также не стоек к действию кислот и щелочей, легко растворяется в органических растворителях (ацетон и т.п.), при соприкосновении с огнем горит ярким пламенем.

Поливинилацетат $[-\text{CH}_2-\text{CH}\text{C}\text{O}\text{O}\text{C}\text{H}_3-]_n$ получают в результате полимеризации винилацетата (сложного эфира уксусной кислоты и винилового спирта).

Поливинилацетатные смолы бесцветны, эластичны, светостойки, хорошо прилипают к поверхности различных материалов. Поэтому их используют для изготовления эмульсионных красок, клеев, мастик. Водные дисперсии полимера применяют для устройства бесшовных полов, а также вводят в цементные бетоны и растворы с целью увеличения их водонепроницаемости и химической стойкости.

Полиизобутилен $[-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-]_n$ – продукт полимеризации изобутилена $\text{CH}_2 = \text{C}(\text{CH}_3)_2$, получаемого из продуктов переработки нефти. Полимер представляет собой эластичный каучукоподобный материал. Он легок, как и полиэтилен, но значительно эластичнее. Полиизобутилен способен выдержать относительное удлинение 1000...2000 %, обладает водостойкостью; на него не действуют кислоты, щелочи.

Полиизобутилен в сочетании с наполнителями (сажей, графитом, тальком) применяют в разнообразных герметизирующих материалах, служащих для

уплотнения горизонтальных и вертикальных швов в панельных зданиях.

Синтетические каучуки являются продуктами полимеризации и сополимеризации ненасыщенных углеводородов. Для получения синтетических каучуков в качестве мономеров применяют изопрен, бутадиен (дивинил), хлорпрен, изобутилен и др.

Синтетические каучуки применяют для изготовления клеев и мастик (служат для приклеивания линолеума, плиток пола и т.п.). Каучуки необходимы в производстве разнообразных герметизирующих материалов, а также служат для модификации других полимеров с целью придания им упругих свойств.

Резина представляет собой вулканизированный каучук, содержащий наполнители (сажу, мел и др.). Вулканизация каучука – это процесс, при котором в результате взаимодействия каучука с серой или другими веществами (либо под влиянием радиации) образуется значительное число новых связей между цепями (цепи «сшиваются»), что приводит к повышению жесткости и теплостойкости, снижению растворимости и набухания в органических растворителях [5].

Резину используют в качестве материала для полов; отходы резины (в виде дробленой отработанной резины – резиновой крошки) являются компонентом битумнорезиновых материалов (бризола, битумнорезиновой мастики и др.).

11.4.2. Поликонденсационные полимеры

Фенолоальдегидные полимеры получают в результате реакции поликонденсации фенолов (фенола C_6H_5OH , резорцина, крезола и др.) с альдегидами (формальдегидом OCH_2 , фурфуролом, лигнином и т.п.).

Фенолоформальдегидный полимер первым получил широкое применение в технике. Фенолоформальдегидные полимеры хорошо совмещаются с наполнителями – древесной стружкой, бумагой, тканью, стеклянным волокном, при этом получают пластики более прочные и менее хрупкие, чем сами полимеры. Поэтому фенолоформальдегидные полимеры широко применяют в качестве связующего при изготовлении древесностружечных плит, бумажно-слоистых пластиков, стеклопластиков и разнообразных изделий из минеральной ваты. Широкому распространению фенолоформальдегидных полимеров в технике способствует их относительная дешевизна.

Карбамидные (мочевино-формальдегидные) или аминокформальдегидные полимеры изготавливают из мочевины $O=C-(NH_2)_2$ и формальдегида. Карбамидные полимеры бесцветны, хорошо окрашиваются в различные цвета.

Эти полимеры сравнительно дешевы, применяют их для изготовления теплоизоляционных материалов (ячеистых пластмасс и сотопластов), слоистых и волокнистых пластиков и клеев.

Кремнийорганические полимеры представляют собой особую группу полимеров, макромолекулы которых имеют кремнийкислородные (силоксановые) связи. Их получают из низкомолекулярных кремнийорганических со-

единений – алкил(арил)хлорсиланов и др.

В кремнийорганическом полимере молекулы построены из кремнеземистого скелета с органическими ответвлениями (радикалами). Поэтому такой полимер выгодно сочетает лучшие свойства силикатных материалов (высокую теплостойкость) и обычных синтетических полимеров (эластичность и др.).

Низкомолекулярные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей (ГКЖ-10, ГКЖ-11, ГКЖ-94) используют в качестве водоотталкивающих фасадных красок, а также гидрофобных добавок к бетонам и растворам.

Высокомолекулярные полимеры линейной структуры являются синтетическими каучуками, которые применяют в виде различных герметизирующих и изоляционных паст и клеев.

Высокомолекулярные полимеры пространственной структуры обладают жесткостью и теплостойкостью более 400 °С. На их основе изготавливают жароупорные лаки и эмали, используют в производстве пенопластов и клеев, а в виде связующих и пропитанных составов – при изготовлении слоистых и волокнистых пластиков.

Эпоксидные полимеры получили свое название ввиду наличия в их молекуле эпоксидной группы. Основным сырьем для эпоксидных полимеров является эпихлоргидрин, получаемый из глицерина и пропилена. В большинстве случаев эти полимеры представляют собой жидкости различной вязкости.

Эпоксидные смолы характеризуются высокой химической стойкостью, за исключением сильных окислителей и влажного хлора. Материалы на их основе (клеи, краски, мастики, растворы и бетоны) отличаются высокой прочностью и универсальной клеящей способностью по отношению к металлу, керамике, дереву, стеклу и др. Эти замечательные свойства у них сочетаются с относительно высокой теплостойкостью (100...150 °С).

Полиэфирные полимеры – это группа полимеров, получаемых в результате поликонденсации многоосновных кислот со спиртами. Широкое применение получил, например, глифталевый полимер. Распространенность сырья и относительная дешевизна позволяют применять полиэфирные полимеры для изготовления стеклопластиков, свето-прозрачных и цветных покрытий, санитарно-технических изделий, клеев, фасадных красок и лаков. Полиэфирные полимеры стойки к действию влажного хлора и концентрированных окисляющих кислот, разрушающих фурановые и эпоксидные полимеры. Однако при длительном воздействии воды прочность полиэфирного полимера понижается (до 40 %), уменьшается его адгезионная способность.

Полиамидные полимеры, получаемые в результате реакции поликонденсации двухосновных кислот и диаминов, сходны с полиэфирными. Их применяют, например, в виде влагоизолирующих пленок.

Полиуретаны изготавливают из изоцианатов и многоатомных спиртов, содержащих две и более гидроксильные группы. Линейные полиуретаны применяют для изготовления волокон, пленок, листовых материалов, которые выдерживают высокую влажность и температуру до 110 °С.

Полиуретановые каучуки синтезируют из диизоцианитов и полиэфиров, причем в зависимости от вида полиэфира получают мягкие эластичные и жесткие материалы, а из них прекрасные звуко- и теплоизоляционные пластмассы.

11.5. Основы технологии производства полимерных материалов

В зависимости от полимера, вида наполнителя (порошок, гранулы, волокна и др.), конфигурации готовых изделий (рулонные, листовые, профильные, объемные) применяют различные технологические методы переработки полимеров в изделия. Как правило, процесс переработки сопровождается нагреванием сырьевой шихты с последующим приданием ей соответствующей формы и дальнейшим охлаждением смеси и отверждением готового изделия.

По назначению все технологические операции производства пластмасс можно разделить на 4 группы:

- подготовительные операции (смешение, окрашивание и др.);
- формование;
- вспомогательные операции (охлаждение, отделение от формы, обрезка кромок);
- дополнительные операции (цветная печать, сварка, склеивание, механическая обработка и др.).

Определяющей для свойств производимого полимерного изделия является операция формования, которая может осуществляться различными способами (вальцеванием, каландрированием, экструзией, прессованием, промазыванием, пропиткой, поливом, литьем, напылением, сваркой и склеиванием).

Вальцевание – операция, при которой пластмасса формируется в зазоре между вращающимися валками (рис. 11.2). Вальцевание позволяет перетирать и дробить, а также смешивать исходные компоненты.

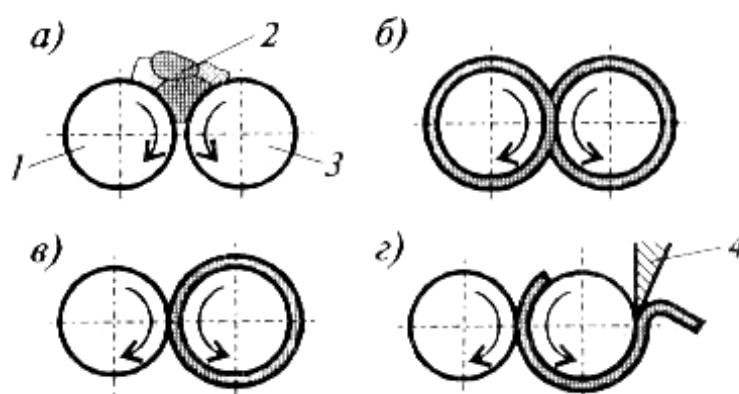


Рис. 11.2. Схема вальцевания:
 а – загрузка массы; б – вальцевание;
 в – переход массы на один валок;
 г – срез массы

По характеру работы валцы могут быть периодического и непрерывного действия, а по способу регулирования температуры – обогреваемые (паром) и охлаждаемые (водой).

Каландрирование – процесс образования бесконечной ленты заданной толщины из размягченной полимерной смеси, однократно пропускаемой через зазор между валками (рис. 11.3).

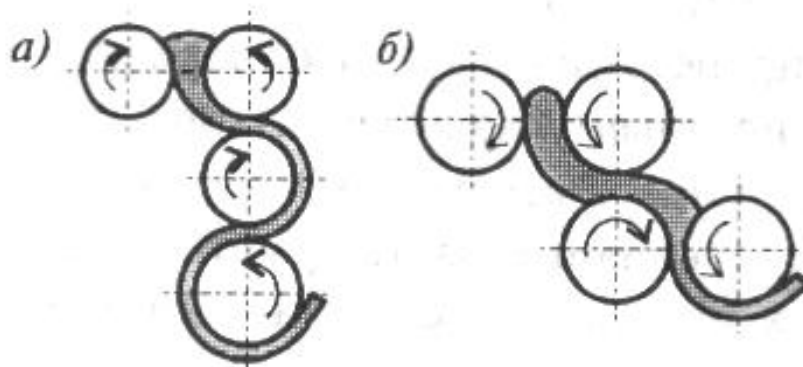


Рис. 11.3. Схема работы четырехвалковых каландров:
а – Г-образный каландр;
б – Z-образный каландр

Валки изготавливаются из высококачественного чугуна; рабочую поверхность валка шлифуют до зеркального блеска. Валки обогреваются паром через внутреннюю полость.

Экструзия – продавливание нагретой массы через мундштук, с получением изделий различного профиля (трубы диаметром 5...250 мм; пленки и листы шириной 0,3...1,5 м, толщиной 0,1...4,0 мм). В экструзионных машинах происходит также смешение компонентов смеси (рис. 11.4).

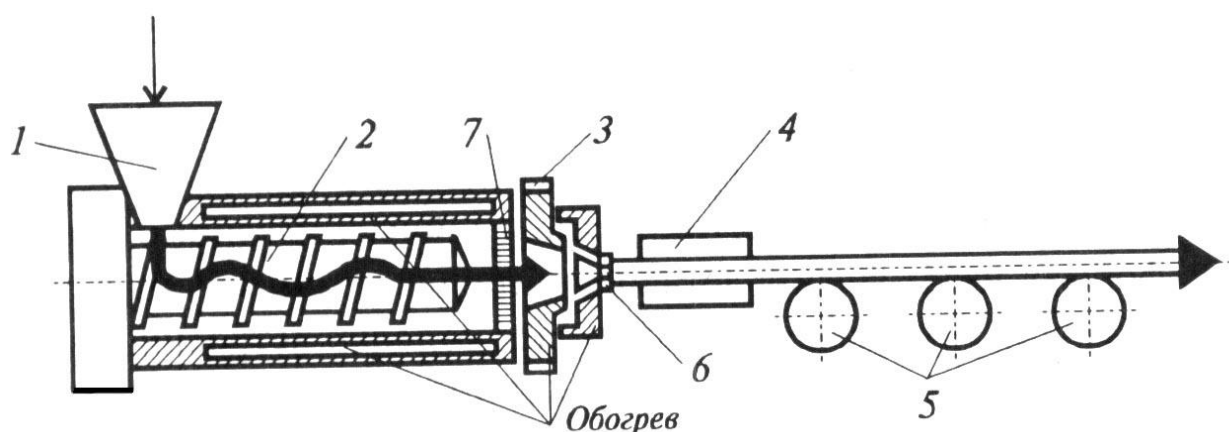


Рис. 11.4. Схема работы экструзионной машины:
1 – загрузочный бункер; 2 – шнек; 3 – головка; 4 – калибрующая насадка;
5 – тянущее устройство; 6 – мундштук; 7 – фильтр

Прессование – способ формования изделий в обогреваемых (водой или паром) гидравлических прессах. Методом прессования получают плоские изделия (ДВП, бумажно-слоистые пластики), а также изделия сложной конфигурации, например детали санитарно-технического и электротехнического оборудования.

Промазывание – операция, при которой пластическая масса в виде раствора наносится на основание – бумагу, ткань, войлок. Наносимая масса разравнивается специальным ножом, регулирующим толщину слоя и степень вдавливания.

Пропитка – окунание основы (ткани, бумаги, волокон) в пропиточный раствор с последующей сушкой.

Полив – процесс получения прозрачных пленок путем распределения тонким слоем на металлической ленте или барабане специальной полимерной массы.

Напыление – нанесение на горячую поверхность порошкообразных полимеров, которые, расплавляясь, прилипают к ней, а при охлаждении образуют прочную пленку покрытия.

Литье бывает простым и под давлением. При простом литье расплав заливается в формы и отвердевает в результате реакций полимеризации, поликонденсации или вследствие охлаждения.

Литье под давлением осуществляется в специальных литьевых машинах (рис. 11.5). Полимер нагревается до вязкотекучего состояния в нагревательном цилиндре и плунжером впрыскивается в разъемную форму, охлаждаемую водой.

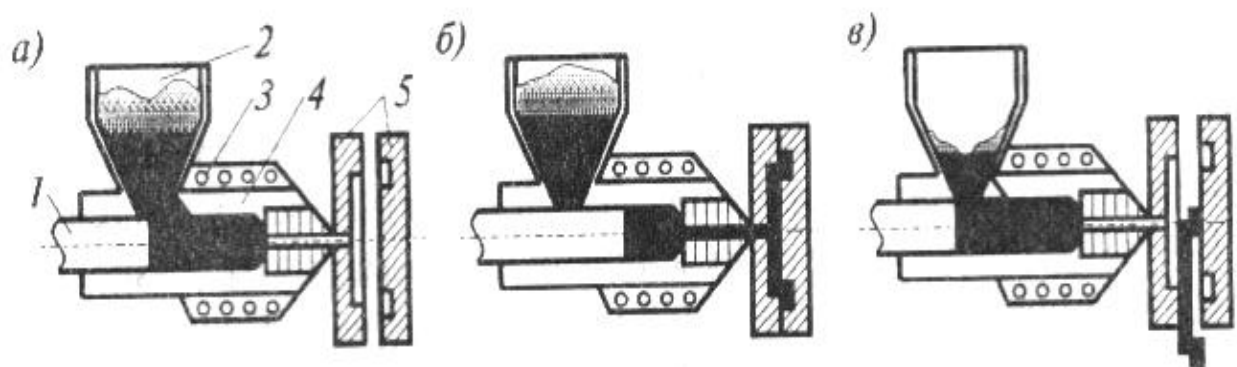


Рис. 11.5. Схема работы машины для литья под давлением:
а) плавление и пластификация массы; б) впрыскивание массы в форму и выдержка; в) размыкание формы;
1 – поршень; 2 – загрузочный бункер; 3 – обогреватели цилиндра;
4 – цилиндр; 5 – разъемная форма

Дополнительное формование – переработка листовых, пленочных, трубчатых пластмассовых заготовок с целью придания им более сложной формы. К основным методам формования относят штампование, пневмо- и вакуумформование.

Сварка и склеивание служат для соединения заготовок из пластмасс с целью получения изделий заданной формы.

Сварку применяют для соединения термопластичных пластмасс (полиэтилена, поливинилхлорида). Нагревание проводят горячим воздухом, ультразвуком, радиацией и др.

Склеивание применяют для соединения как термопластичных, так и терморезистивных пластмасс. Клеем может служить органический растворитель.

11.6. Изделия из полимерных материалов

11.6.1. Материалы для несущих и ограждающих конструкций

Полимербетоны – композиционные материалы, в которых заполнителем является кварцевый песок, щебень из базальта и гранита, бой кислотоупорного кирпича, кокс, антрацит, графит, а роль связующего выполняют различные полимеры (полиэфирные, эпоксидные, фурановые и др.).

Для уменьшения хрупкости полимербетона применяют волокнистые наполнители: асбест, стекловолокно.

Полимербетоны обладают химической стойкостью, высокими прочностными показателями ($R_{\text{раст}} = 7...20$ МПа; $R_{\text{сж}} = 60...120$ МПа; $R_{\text{изг}} = 16...40$ МПа). Применяют полимербетоны для химически стойких конструкций, износостойких покрытий, а также для ремонта железобетонных конструкций, так как полимербетон обладает хорошей адгезией.

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

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

Выпускают три разновидности стеклопластиков: на основе ориентированных волокон (СВАМ), нитей (АГ-4С, АГ-4В), рубленых волокон (полиэфирные стеклопластики) и тканей или матов (стеклотекстолиты, КАСТ).

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

Сравнительные характеристики стеклопластиков представлены в табл. 11.1.

Таблица 11.1

Сравнительные характеристики стеклопластиков и других материалов

Физико-механические характеристики	Показатели материалов					
	стеклопластика	стекла	ПВХ	стали	алюминия	древесины (сосны)
Средняя плотность, г/см ³	1,6...2,0	2,2	1,4	7,8	2,7	0,5
Предел прочности при сжатии, МПа	410...1180	35	41...48	410...430	80...430	40...80
Предел прочности при изгибе, МПа	690...1240	25...50	80	400	275	80
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,3...0,35	0,45	0,15...0,35	46	140...190	0,04...0,1

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

Оргстекло (полиметилметакрилат) изготавливается в виде прозрачных листов длиной до 1,5 м, шириной от 400 до 600 мм при толщине 0,8...24 мм. Применяется оргстекло в светопрозрачных покрытиях и стенах теплиц, карнизов, оранжерей, в световых фонарях и др.

Отделочные полистирольные плитки «полиформ» изготавливают толщиной 8...10 мм из ударного полистирола с добавлением вспененного компонента. Плитки используют для облицовки потолков, стен, элементов интерьера.

11.6.2. Материалы для полов

Линолеум выпускают безосновный и на теплоизоляционной основе (тканевой, войлочной, вспененной).

Линолеум на тканевой основе получают путем нанесения пасты, состоящей из полимера, пластификатора, наполнителя, красителя и др. на джутовую или другую ткань. Ткань со слоем нанесенной пасты проходит через термокамеру, в которой происходит полимеризация и отверждение полимера.

Резиновый линолеум (линолеум-релин) состоит из двух слоев – нижнего (подкладочного), изготовленного из бывшей в употреблении дробленой резины с битумом, и верхнего (лицевого), состоящего из смеси синтетического каучука (резины) с наполнителем и пигментом.

Линолеум на вспененной основе состоит из слоя обычного линолеума и подкладочного слоя из ячеистой (вспененной) пластмассы.

Линолеум изготавливают с гладкой и рельефной поверхностью, различных цветовых оттенков. Он обладает стойкостью к истиранию, декоративностью, биостойкостью и служит 20...25 лет.

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

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

Полимербетонные наливные полы получают смешением связующего (полимер + пластификаторы, отвердители, стабилизаторы и др.) с порошкообразным наполнителем и заполнителем (песок, щебень или гравий),

Наливные полы толщиной 20...50 мм обладают химической стойкостью и способны выдерживать тяжелые нагрузки.

11.6.3. Санитарно-технические и погонажные изделия

Погонажные изделия (плинтуса, поручни лестничных перил, наличники, уголки) изготавливают на основе поливинилхлорида, полиэтилена, полистирола, органического стекла (рис. 11.6). Такие изделия имеют гладкую поверхность, окрашиваются в различные цвета.

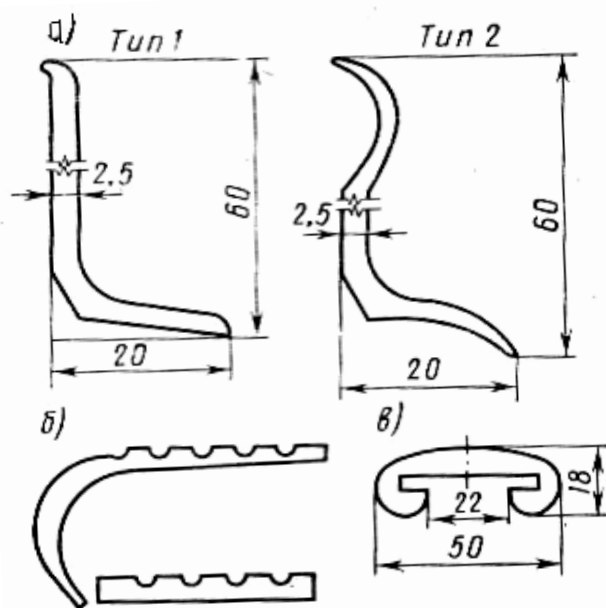


Рис. 11.6. Виды погонажных изделий:

а – плинтусы; б – угловые и полосовые накладки на ступени; в – поручень для лестниц

Термопластичные трубы получают из поливинилхлорида, полиэтилена и полипропилена экструзивным способом, прессованием, сваркой или склеиванием листовых заготовок.

Пластиковые трубы в 3...6 раз легче стальных и чугунных, обладают высокой коррозионной стойкостью, легко пилятся, сверлятся. Их используют при сооружении канализационных и водопроводных сетей, вентиляционных каналов.

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

Санитарно-технические изделия в виде ванн, моек, раковин, сифонов, смывных бочков, смесителей и др. изготавливают из полиметилметакрилата, полипропилена, стеклопластиков.

Эти изделия дешевле фаянсовых или чугунных, отличаются малой массой, высокой коррозионной стойкостью.

11.6.4. Полимерные клеи и мастики

Клеи изготавливают из различных полимерных смол, каучуков и производных целлюлозы. Для регулирования свойств в клеи вводят растворители, наполнители, пластификаторы, отвердители.

Полимерные клеи обладают хорошей адгезией и водостойкостью. С их помощью можно склеивать древесину, пластмассу, металлы, керамику, стекло, природные и искусственные камни. Широко применяются полимерные клеи для ремонта железобетонных конструкций.

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

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику полимерным строительным материалам.
2. Представьте основные компоненты полимерных строительных материалов.
3. Назовите положительные и отрицательные свойства пластмасс.
4. По каким признакам классифицируются полимеры?
5. Приведите примеры полимеризационных полимеров.
6. Приведите примеры поликонденсационных полимеров.
7. Раскройте технологию получения полимерных материалов и изделий.
8. Какими способами может осуществляться формование полимерных изделий?
9. Представьте основные виды полимерных строительных материалов и изделий.
10. Опишите технологию получения ДВП и ДСП.
11. Что такое полимербетон и бетонополимер?
12. Для каких целей применяются полимерные клеи и мастики?

РАЗДЕЛ 12

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

12.1. Общие сведения

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

Теплоизоляционные материалы предназначены для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного, энергетического оборудования, трубопроводов, тепловых и холодильных установок. Применение этих материалов дает возможность резко снизить массу строительных конструкций, затраты на сооружение зданий, расходы на отопление, рационально использовать энергетические ресурсы. Так, например, тепловые агрегаты при их изоляции сокращают потери на 20...30 %. Изоляция холодильных установок еще более значима, так как стоимость получения единицы холода примерно в 20 раз дороже соответствующей единицы теплоты. Особенно важна проблема теплосбережения в северных районах нашей страны [5].

В табл. 12.1 представлены теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, выполненных из различных материалов.

Таблица 12.1

Сравнительные характеристики ограждающих конструкций из различных штучных материалов и требуемая толщина стены для обеспечения требуемого термического сопротивления

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

12.2. Классификация теплоизоляционных строительных материалов

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируют по следующим признакам: виду исходного сырья, форме, структуре, средней плотности, теплопроводности, жесткости и возгораемости [5, 13].

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

- неорганические (минеральная вата и изделия из нее, пеностекло, ячеистые бетоны, теплоизоляционная керамика, вспученный перлит и вермикулит, асбестосодержащие материалы);

- органические (материалы на основе древесины, торфа, камыша, соломы; газонаполненные пластмассы).

Существует еще группа материалов, изготавливаемых из смеси органического и неорганического сырья, например фибролит, получаемый из древесной шерсти и цемента, изделия из минеральной ваты на синтетическом связующем и др. Их не выделяют в особую группу, а относят либо к неорганическим, либо к органическим в зависимости от преобладания той или иной части в таком материале.

2. *По форме и внешнему виду:*

- штучные (плиты, блоки, кирпичи, цилиндры, скорлупы);

- рулонные (маты, полосы, матрацы);

- шнуровые (шнуры, жгуты);

- рыхлые и сыпучие (вата минеральная, стеклянная, вспученный перлит и вермикулит).

3. *По структуре:*

- волокнистые (минераловатные, асбесто- и древесно-волокнистые изделия);

- ячеистые (ячеистое стекло, ячеистый бетон, пенопласты, керамзитобетон);

- зернистые (перлит, вермикулит).

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

- особо легкие ОЛ, имеющие марки 15, 25, 35, 50, 75 и 100 кг/м³ (ячеистые пластмассы, минеральная вата, пеностекло);

- легкие Л – 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350 кг/м³ (пеностекло, легкие бетоны, торфоплиты);

- тяжелые Т – 400, 450, 500 и 600 кг/м³ (газосиликат, ячеистая керамика, пеностекло).

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

5. *По теплопроводности:*

- малотеплопроводные, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \leq 0,058$ Вт/(м·°С) (минеральная вата, ячеистые пластмассы);

- среднетеплопроводные, $\lambda = 0,058 \dots 0,116$ Вт/(м·°С) (изделия из минеральной ваты, ячеистые бетоны, ячеистая керамика);

- повышенной теплопроводности, $\lambda = 0,116 \dots 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ (керамзитобетон, битумоперлит, торфоплиты, ячеистые бетоны).

6. По жесткости теплоизоляционные изделия подразделяют на виды, исходя из относительной деформации сжатия под удельной нагрузкой (табл. 12.2).

Таблица 12.2

Классификация изделий по жесткости

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

7. По возгораемости:

- негоряемые (ячеистые бетоны, пеностекло);
- трудногоряемые (цементный фибролит);
- горяемые (древесно-волокнистые, древесно-стружечные плиты, ячеистые пластмассы).

12.3. Основные свойства теплоизоляционных строительных материалов

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

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

Коэффициент теплопроводности определяют по приложению СНиП «Строительная теплотехника» [14] или экспериментально при помощи различных приборов (тепломеров).

Теплопроводность связана с коэффициентом температуропроводности a , теплоемкостью C и средней плотностью материала ρ_m :

$$\lambda = a \cdot C \cdot \rho_m. \quad (12.1)$$

Так как числовые значения коэффициентов температуропроводности и теплоемкости для материалов строительных конструкций являются величинами постоянными, то можно считать, что теплопроводность является функцией средней плотности, то есть $\lambda = f(\rho_m)$. Эта зависимость значительно упрощает маркировку теплоизоляционных материалов, которую можно проводить по их

плотности с достаточной для практики точностью.

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

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

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

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

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

В случае замерзания воды в порах теплопроводность льда составит $2,32 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$, что на два порядка выше значения теплопроводности сухого воздуха и в 4 раза больше теплопроводности воды.

Теплопроводность влажного материала λ_w можно вычислить по следующей формуле:

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta \cdot W_0, \quad (12.2)$$

где λ_c – теплопроводность сухого материала;

W_0 – объемная влажность материала;

δ – приращение теплопроводности на 1 % влажности, которое составляет для неорганических материалов при положительной температуре – $0,002 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$, при отрицательной – $0,004 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$; для органических соответственно $0,003$ и $0,004 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$.

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

$$\lambda_t = \lambda_0(1 + \beta \cdot t). \quad (12.3)$$

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

В табл. 12.3 приведены значения пористости для теплоизоляционных материалов различной структуры.

Объем общей пористости определяется содержанием в материале каркасообразующих элементов (волокон, зерен, мембран), прочностью этих элементов и образованного ими каркаса.

Таблица 12.3

Значения пористости теплоизоляционных материалов

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

Для материалов с волокнистой и зернистой структурой значения общей пористости не являются величинами постоянными, так как даже при небольших нагрузках они способны уплотняться.

Открытая пористость ухудшает эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов, являясь причиной проникновения влаги и газов в глубь изделия, что способствует резкому повышению коэффициента теплопроводности.

Закрытая пористость обеспечивает повышенную эксплуатационную стойкость строительной теплоизоляции.

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

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

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

Прочностные показатели наиболее распространенных теплоизоляционных материалов приведены в табл. 12.4.

Прочностные показатели теплоизоляционных материалов

Материалы	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа, при	
		сжатию	изгибе
Ячеистый бетон	350	0,6	-
Пеностекло	200	1,0	0,7
Минераловатные плиты на синтетическом связующем	200	-	0,1
Асбестосодержащие изделия	350	-	0,17...0,3
Перлитобитумные изделия	300	-	0,15
Перлитцементные изделия	300	0,8	0,25
Керамические изделия	400	0,8	-
Древесноволокнистые плиты	300	-	0,12
Фибролит	400	-	0,7
Пенопласты	25	0,07	0,1
	50	0,1	0,1
	100	0,2...0,4	-

Сжимаемость характеризует уплотняемость материала, %, под действием сжимающих сил. Этот показатель используют для определения жесткости теплоизоляционных материалов (см. табл. 12.2).

Влажность. Наличие влаги в теплоизоляционных материалах всегда ухудшает их функциональные и строительно-эксплуатационные свойства. У влажных материалов резко повышается теплопроводность, а также снижаются физико-механические показатели.

Увлажнение материалов может происходить при контакте с водой (водопоглощение) или влажным воздухом (сорбция).

Величина влажности материала зависит от его природы, характера пористой структуры, смачиваемости твердой фазы.

Для предотвращения увлажнения теплоизоляционных материалов используют гидрофобизирующие добавки.

Огнестойкость – свойство материала противостоять, не деформируясь и не расплавляясь, длительному воздействию огня [1, 2, 9]. Этот показатель является важным признаком для определения предельной температуры применения теплоизоляционного материала.

12.4. Способы создания высокой пористости теплоизоляционных материалов

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

Вспучивание – способ поризации, основанный на выделении в массе или введении в нее газовой фазы. Вспучивание охватывает следующие способы по-

ризации: *газообразование и пенообразование*.

Сущность *газообразования* состоит в выделении газообразных продуктов во всем объеме поризуемого материала. Газообразователи могут специально вводиться в поризуемую массу (алюминиевая пудра, карбонаты, порофоры и т.д.), а также являться частью вспучиваемого материала (гидратная вода). Этим способом получают высокопористые эффективные материалы: ячеистое стекло, вспученный перлит, стеклопор, керамзит, ячеистые бетоны, газонаполненные пластмассы.

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

Удаление порообразователя – способ, основанный на испарении или выжигании порообразователя при температурном воздействии. Различают способ *высокого водозатворения* и *выгорающих добавок*.

Способ высокого водозатворения состоит в применении большого количества воды при получении формовочных масс, которая испаряется при последующей сушке и обжиге, способствуя образованию воздушных пор. Таким способом получают теплоизоляционные асбестосодержащие изделия, древесноволокнистые и торфяные плиты.

Способ выгорающих добавок основан на введении в формовочную массу и последующем выжигании органических добавок (углесодержащих техногенных отходов, древесных опилок и др.). Этот метод применяется для высокопористых керамических и огнеупорных материалов.

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

Контактное омоноличивание основано на склеивании зернистых и волокнистых материалов тонкими прослойками связующего вещества (полимера, цемента, растворимого стекла).

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

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

12.5. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

12.5.1. Минеральная вата.

Изделия из минеральной ваты и стекловолокна

Минеральная вата – рыхлый волокнистый материал, состоящий из тонких стекловидных волокон диаметром 5...15 мкм, получаемых из расплава легкоплавких горных пород (габбро, мергелей, доломитов и др.), металлургических и топливных шлаков и их смеси. Расплав обычно получают в шахтных печах (вагранках (рис. 12.1)) или ваннных печах (рис. 12.2). Волокна образуются при воздействии подаваемого под давлением пара или воздуха на непрерывно вытекающую из печи струю расплава либо путем подачи расплава на валки, или фильтры, или диск центрифуги. Полученное минеральное волокно собирается в камере волокно-осаждения, куда вводят органические и минеральные связующие вещества.

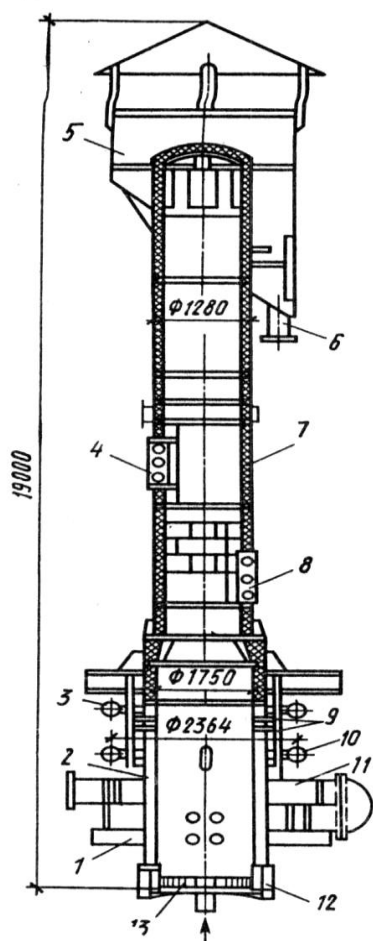


Рис. 12.1. Вагранка:

- 1 – фурмы; 2 – ватержакет;
- 3 – труба для отвода воды;
- 4 – загрузочное окно;
- 5 – искрогаситель; 6 – патрубок для удаления уноса; 7 – шахта;
- 8 – люк для осмотра и выполнения ремонтных работ;
- 9 – компенсаторы; 10 – труба для подвода воды;
- 11 – воздушный коллектор;
- 12 – летка; 13 – днище (под)

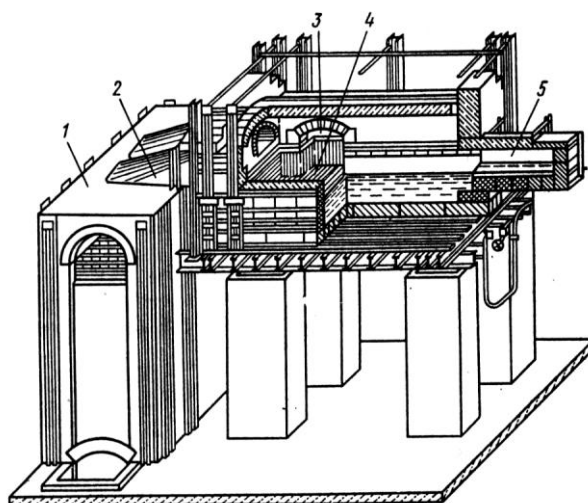


Рис. 12.2. Ванная печь:

- 1 – регенераторы; 2 – горелка;
3 – загрузочное окно; 4 – бассейн;
5 – фидер

Базальтовое огнеупорное волокно изготавливается расплавом горной породы (базальта). Выдерживает температуру до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (стекловолокно только 650 и $550\text{ }^{\circ}\text{C}$). Базальтовая вата применяется в виде огнестойких матов, лент и плит, поставляемых в рулонах, обладает стойкостью к коррозии. При средней плотности 130 кг/м^3 и температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вата имеет теплопроводность $0,035\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$.

Используются также **стеклянная вата** и **керамическая вата**, получаемая из алюмосиликатных расплавов с содержанием Al_2O_3 не менее 45% .

Из минеральной и стеклянной ваты изготавливают теплоизоляционные изделия довольно широкой номенклатуры (рис. 12.3), среди которых выделяются изделия фирмы URSA и ISOVER.

Шнуровые материалы изготовляют без применения связующих веществ путем набивки минеральной или стеклянной ваты в оплетку, выполненную из металлической проволоки, стеклянных или хлопковых нитей.

Прошивные маты (см. рис. 12.3), гибкие изделия, изготавливаемые путем обкладки минераловатного ковра гибкими материалами (металлической сеткой, водонепроницаемой бумагой, стеклотканью, асбестовой тканью) и прошивки изделий стеклянными или хлопковыми нитями. Маты могут прошиваться и без обкладок. Гибкие изделия, состоящие из слоя волокнистого материала со связующим веществом, называются **войлоком** (см. рис. 12.3)

Минераловатные маты в рулонах выпускают следующих видов: с синтетическим связующим ($\rho_m = 35\text{...}75\text{ кг/м}^3$); прошивные с металлическими, тканевыми, бумажными обкладками, с обкладкой из стеклохолста ($\rho_m = 100\text{...}200\text{ кг/м}^3$); из штапельного стекловолокна ($\rho_m = 25\text{...}50\text{ кг/м}^3$); из непрерывного стекловолокна ($\rho_m = 80\text{...}120\text{ кг/м}^3$); в виде холста из базальтового волокна ($\rho_m = 15\text{...}20\text{ кг/м}^3$).

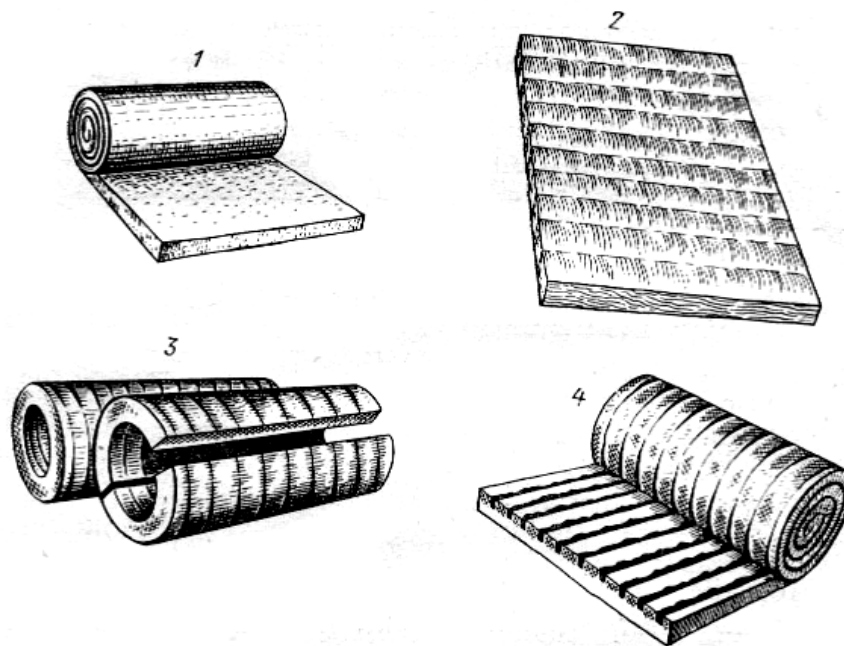


Рис. 12.3. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты:
1 – войлок; 2 – полужесткая плита; 3 – скорлупы;
4 – прошивной мат

Минераловатные полужесткие и мягкие плиты (см. рис. 12.3) изготавливают с синтетическим, битумным и крахмальным связующими. Изделия с синтетическим связующим имеют меньшую плотность, более прочны и привлекательны на вид по сравнению с изделиями на битумном связующем. Средняя плотность плит – $35 \dots 250 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,041 \dots 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$.

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

Минераловатные твердые плиты, имеющие повышенную жесткость, изготавливают на синтетическом связующем (фенолоспирте, растворе или дисперсии карбамидного полимера и др.). Существует технология изготовления твердых плит из гидромассы (то есть «мокрым» способом), состоящей из минерального волокна, раствора полимера, пенообразователя. Плиты из массы жидкотекучей консистенции формуют в вакуум-прессах и подвергают тепловой обработке при $150 \dots 180 \text{ }^\circ\text{С}$. Получают плиты плотностью $180 \dots 200 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью $0,047 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)}$, толщиной $30 \dots 70 \text{ мм}$.

Существенно важным для свойств изделий является ориентация волокон (рис. 12.4). Наиболее прогрессивная технология формования твердых минераловатных плит – с вертикальной ориентацией волокон (рис. 12.4, б).

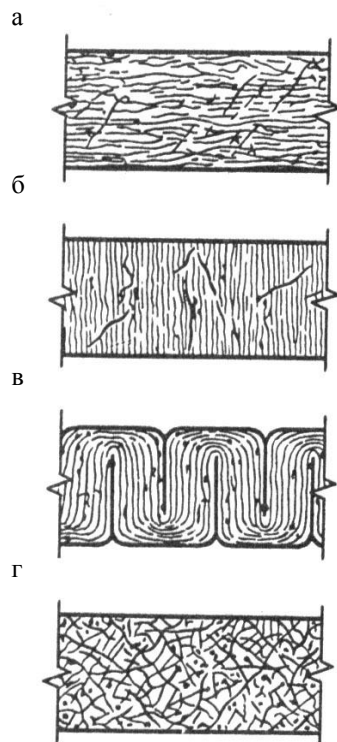


Рис. 12.4. Виды ориентации волокон минераловатных изделий:
 а – горизонтальная;
 б – вертикальная;
 в – гофрированная;
 г – пространственная

Минераловатные изделия с гофрированной структурой (см. рис. 12.4, в), содержащие до 30 % ориентированных в вертикальном направлении волокон, имеют плотность 140...200 кг/м³. По сравнению с плитами с горизонтальной ориентацией волокон гофрированные плиты отличаются меньшей деформативностью и повышенной прочностью.

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

12.5.2. Материалы и изделия из поризованных искусственных стекол

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

При спекании порошка стекольного боя с газообразователями – коксом и известняком – выделяется углекислый газ, образующий поры. Газообразующими добавками могут служить также мел или карбиды кальция и кремния. При выходе из печи от непрерывнодвигающегося бруса отрезаются блоки определенной длины, направляемые в печь отжига. Благодаря этому предотвращается возникновение внутренних напряжений, вызывающих растрескивание. Ячеистое стекло имеет в материале стенок крупных пор мельчайшие микропоры, обуславливающие малую теплопроводность ($\lambda = 0,05 \dots 0,08 \text{ Вт(м} \cdot \text{}^{\circ}\text{С)}$) при достаточно высокой прочности, водостойкости и морозостойкости. Пеностекло –

несгораемый материал с высокой температуростойкостью – 400 °С; хорошо обрабатывается. Применяют для утепления ограждающих конструкций и кровель зданий, теплоизоляции промышленного оборудования и тепловых сетей, в конструкциях холодильников.

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

В сочетании с различными связующими стеклопор используют для изготовления различных изделий, а также штучной, мастичной и заливочной теплоизоляции (табл. 12.5).

Таблица 12.5

Характеристика изделий на основе стеклопора

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

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

12.5.3. Теплоизоляционные материалы и изделия из вспученных горных пород

Вспученный перлит представляет собой сыпучий теплоизоляционный материал в виде пористых зерен, полученный путем измельчения и обжига водосодержащих горных пород вулканического происхождения (вулканических стекол).

Он характеризуется высокопористой структурой; общая пористость, включая межзерновые пустоты, составляет 90...98 %, при объеме замкнутых пор не более 25 %. Внутризерновые поры, как правило, имеют сферическую и щелевидную форму, их размер колеблется от 0,5 до 10 мкм.

Вспученный перлитовый песок имеет марки по плотности от 75 до 500 и теплопроводность – от 0,047 до 0,093 Вт/(м·°С). Перлитовый песок, используемый для теплоизоляции, имеет насыпную плотность от 80 до 120 кг/м³; более тяжелый ($\rho_n = 150...300 \text{ кг/м}^3$) применяется в качестве мелкого заполнителя в легких бетонах.

Высокие теплоизоляционные свойства вспученного перлита обеспечивают возможность получения на его основе различных изделий: плит, скорлуп, сегментов, кирпича (табл. 12.6).

Таблица 12.6

Характеристика теплоизоляционных перлитовых изделий

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

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

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

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

Вспученный вермикулит получают из гидрослюд (магнезиальных, алюминиевых, литиевых) вспучиванием при нагревании в результате испарения межпакетной влаги.

Теплопроводность вермикулита зависит от насыпной плотности, размера зерен и находится в пределах 0,056...0,07 Вт/(м·°С).

Из вспученного вермикулита изготавливают различные изделия, применяя в качестве связующего битум, жидкое стекло, портландцемент, диатомит и их комбинации. Свойства наиболее распространенных изделий приведены в табл. 12.7.

Основные свойства изделий из вспученного вермикулита

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

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

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

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

12.5.4. Ячеистые бетоны

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

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

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

гвоздимостью, повышенной огнестойкостью.

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

12.5.5. Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия

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

В зависимости от длины волокон асбест подразделяется на восемь сортов:

Сорт асбеста	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Длина волокна, мм	16	12	9	5,5	2,5	1,0	0,7	Не нормируется

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

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

Асбестоизвестковокремнеземистые изделия (известковокремнеземистые изделия ИКИ) получают из асбеста, извести и кремнеземистого компонента (песка, трепела или диатомита) с применением автоклавной обработки.

Асбестодоломитовые материалы (совелит) являются у нас наиболее распространенным асбестомagneзиальными материалами. Сырьем для производства совелита служат доломит (CaCO₃·MgCO₃) и асбест (в количестве 15 %). Доломит подвергают сложной переработке, которая включает обжиг, гашение обожженного доломита, карбонизацию полученного доломитового молока с использованием газов, содержащих CO₂. Конечным продуктом химической переработки доломита является четырехводный основной карбонат магния MgCO₃·Mg(OH)₂·4H₂O, который вместе с осажденным CaCO₃ составляет основу совелита. Сушка и прокаливание имеют целью декарбонизацию магнезиальной составляющей. Благодаря прокаливанию снижается плотность и теплопроводность, а температуростойкость повышается. Совелит в виде изделий и порошка применяют для изоляции промышленного оборудования при температурах до 500 °С.

Монтажные асбестовые материалы выпускают в виде листов и рулонов из асбестового волокна; иногда вводят наполнитель и небольшое количество

склеивающих веществ (крахмала, казеина и др.), получая асбестовую бумагу, картон, шнур. Иногда применяют алюминиевую фольгу в качестве отражателей в воздушных прослойках слоистых ограждающих конструкций зданий и для теплоизоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температурах до 300 °С.

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

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

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

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

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

12.5.6. Керамические теплоизоляционные изделия

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

Керамические теплоизоляционные изделия изготавливают путем формования, сушки и обжига. Высокая пористость создается путем введения в формовочную массу пенообразователей, высокопористых наполнителей и выгорающих добавок. Закрепление полученной структуры достигается в процессе сушки и обжига. По сравнению с другими теплоизоляционными материалами они имеют высокую прочность и температуростойкость до 900...1600 °С. В качестве сырья используют диатомит, трепел, огнеупорную глину, перлит.

В табл. 12.8 приведены основные виды высокопористых керамических изделий, нашедших наиболее широкое применение в промышленной теплоизоляции.

Таблица 12.8

Основные виды керамических теплоизоляционных изделий

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

Примечание. Теплопроводность при средней температуре 600 °С.

12.6. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

12.6.1. Теплоизоляционные материалы на основе древесины

Древесно-волокнистые плиты (ДВП) производят из неделовой древесины, отходов лесопиления и деревообработки, а также из бумажной макулатуры, соломы, стеблей кукурузы. Производство состоит из измельчения массы, формования из нее изделий и их тепловой обработки.

В зависимости от средней плотности ДВП разделяют на виды: мягкие (М) со средней плотностью не более 350 кг/м³; полутвердые (ПТ) – не менее 400 кг/м³; твердые (Т) – не менее 850 кг/м³ и сверхтвердые (СТ) – не менее 950 кг/м³. Теплопроводность плит 0,053...0,093 Вт/(м·°С). Водостойкость всех ДВП не высока, предельная температура применения – 100 °С.

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

Эковата – один из перспективнейших современных теплоизоляционных материалов, полученный из вторичного сырья и бытовых отходов (бумаги и картона). Эковата является идеальным заменителем традиционных утеплителей: минеральной ваты, стекловаты и т.д. Среднее значение теплопроводности составляет 0,041 Вт/(м·°С), насыпная плотность 35...65 кг/м³. Эковата трудно сгораема, что обусловлено добавками антипиренов, обладает биостойкостью,

звукопоглощающими свойствами.

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

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

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

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

12.6.2. Теплоизоляционные материалы на основе местного сырья

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

Торфяные изоляционные изделия изготавливают в виде плит, блоков, скорлуп и сегментов. Средняя плотность таких изделий 150...430 кг/м³, теплопроводность 0,04...0,08 Вт/м·°С. Применяются эти материалы для тепловой изоляции конструкций промышленных зданий, холодильных установок, промышленного оборудования и трубопроводов с температурой не более 100 °С.

Камышитовые теплоизоляционные изделия (камышит) изготавливают из стеблей камыша путем прессования и скрепления стальной оцинкованной проволокой. Для предотвращения гниения камышитовые изделия пропитывают раствором железного купороса.

Из камышита изготавливают плиты (рис. 12.5) длиной 2000...3000, шириной 800...1000 и толщиной 50...100 мм, средней плотности 175...250 кг/м³. Предел прочности при изгибе плит 0,5 МПа, теплопроводность 0,058...0,093 Вт/(м·°С).

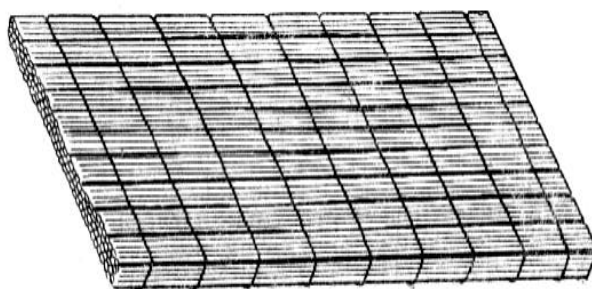


Рис. 12.5. Камышитовая плита

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

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

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

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

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

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

12.6.3. Полимерные теплоизоляционные материалы (газонаполненные пластмассы)

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

По характеру пористости полимерные теплоизоляционные материалы разделяются:

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

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

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

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

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

В табл. 12.9 приведены свойства пенопластов из наиболее широко распространенных полимеров.

Таблица 12.9

Характеристики пенопластов

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

Пенополистирол – легкий пластик, изготавливаемый из полистирола с порообразователем. Пенополистирол имеет среднюю плотность до 25 кг/м³, стоек к истиранию, обладает низким водопоглощением (доли %), трудно воспламеняется.

Недостатком материала является усадка. Применяется в трехслойных стеновых панелях совместно с жесткими минераловатными плитами, при теплоизоляции стен и кровель. Такие стеновые панели, называемые сэндвич, получили очень широкое распространение особенно в строительстве промышленных зданий и сооружений. Основные типы сэндвич-панелей представлены в табл. 12.10.

Таблица 12.10

Размер и типы сэндвич-панелей

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

Примечания:

ПТСМ – панель трехслойная стеновая с минераловатным утеплителем,

ПТКМ – панель трехслойная кровельная с минераловатным утеплителем,

ПТСП – панель трехслойная стеновая с пенополистирольным утеплителем,

ПТКП – панель трехслойная кровельная с пенополистирольным утеплителем.

Широкое применение в строительстве получил экструдированный пенополистирол ПЕНОПЛЭКС, характеристики которого приведены в табл. 12.11.

Таблица 12.11

Характеристики теплоизоляционного материала ПЕНОПЛЭКС

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

ПЕНОПЛЭКС широко применяется для теплоизоляции ограждающих конструкций, для защиты от морозного пучения железных и автомобильных дорог, в производстве холодильных камер, рефрижераторов и других холодильных установок, а также в производстве сэндвич-панелей.

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

Жесткий полиуретан используется в широком интервале температур, отличается легкостью и экономичностью обработки, высокой механической прочностью, устойчивостью к износу и химической и биологической стойкостью. Характеризуется самой низкой теплопроводностью по сравнению с другими изоляционными материалами, теплопроводность при температуре 10 °С ниже 0,019 Вт/(м·°С). Может быть использован при температуре от – 50 °С до + 110 °С. Стойкость к действию грибов и микроорганизмов делает его негниющим и неразлагающимся.

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

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

Пенополивинилхлорид выпускают жесткий и эластичный. Жесткий пенополивинилхлорид – теплоизоляционный материал, незначительно изменяющий свои свойства при изменении температуры от + 60 °С до – 60 °С. Он менее горюч по сравнению с пенополистиролом.

Пенопласты на основе **фенолоформальдегидных полимеров** выпускают на основе чистого полимера (ФФ) с введением в него стеклянного волокна (ФС) или каучука (ФК), а также каучука и газообразователя в виде алюминиевой пудры (ФК-А).

Пенопласты получают по беспрессовому методу из готовой смеси компонентов путем вспенивания смеси при нагреве и последующего охлаждения. Они способны выдерживать действие высоких температур (200...250 °С), устойчивы к влиянию вибрации.

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

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

Контрольные вопросы

1. Какие строительные материалы относят к теплоизоляционным?
2. Что достигается при применении теплоизоляционных материалов в строительной практике?
3. Представьте классификацию теплоизоляционных материалов и изделий.
4. Как делятся теплоизоляционные материалы по возгораемости?
5. На что делятся теплоизоляционные материалы и изделия по средней плотности в сухом состоянии?
6. Перечислите основные эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов.
7. Что такое теплопроводность? Назовите единицы измерения коэффициента теплопроводности.
8. Какими способами создается высокопористая структура теплоизоляционных материалов?
9. Какие теплоизоляционные материалы относят к неорганическим?
10. Что представляет собой минеральная вата? Что является сырьем для ее производства?
11. Какова технология производства минеральной ваты и изделий на ее основе?
12. Назовите изделия, получаемые на основе минеральной, стеклянной ваты?
13. Назовите основные свойства базальтового волокна. Для каких целей используется базальтовое волокно?
14. Опишите свойства, технологию и области применения пеностекла
15. Что представляет собой стеклопор? Перечислите его основные свойства и назовите изделия, изготавливаемые на его основе.
16. Какие теплоизоляционные материалы и изделия получают из вспученных горных пород?
17. Какими свойствами обладают ячеистые бетоны?
18. Что представляет собой асбест? Какие теплоизоляционные материалы и изделия изготавливаются на его основе?
19. С какой целью применяются керамические теплоизоляционные материалы и изделия? Назовите их отличительные свойства от других теплоизоляционных материалов.
20. Какие теплоизоляционные материалы относят к органическим?
21. Что представляет собой эковата? Назовите ее основные свойства.
22. Что такое фибролит и арболит?
23. Какие теплоизоляционные материалы и изделия относятся к изделиям на основе местного сырья?
24. Что представляют собой полимерные теплоизоляционные материалы?
25. Какие виды полимеров получили самое широкое распространение при производстве теплоизоляционных изделий?

РАЗДЕЛ 13

АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

13.1. Общие сведения

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

Человеческое ухо воспринимает звуковые колебания частотой 16...20000 Гц, особо чувствительными являются частоты 1500...3000 Гц. Уровни громкости звука представлены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Уровни громкости звука [1]

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

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

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

Эффективными акустическими материалами являются изделия, изготовленные из пористых материалов или многослойные конструкции с воздушными прослойками, так как воздух способен гасить звуковые колебания и прерывать

перемещение звука. Поэтому акустические материалы стремятся изготавливать высокопористыми (пористость 40...90 %), как и теплоизоляционные. Однако в отличие от теплоизоляционных материалов, имеющих замкнутые воздушные поры, акустические материалы должны иметь сквозные поры.

13.2. Классификация акустических материалов и изделий

1. *По назначению* акустические материалы разделяют:

- на звукопоглощающие;
- звукоизоляционные.

2. *По виду используемого сырья:*

- органические (на основе поропластов, древесного волокна);
- неорганические (на основе ячеистой керамики, ячеистого стекла, легких природных или искусственных заполнителей);

- смешанные, материалы с минеральным наполнителем и органическим связующим (изделия из минеральной ваты, стекловолокна, перлита и др.) и материалы на основе органических заполнителей и минерального вяжущего (древесно-цементные композиции).

3. *По структуре:*

- пористо-волокнистые (изделия на основе минерального и органического волокна);
- пористо-ячеистые (пено- и газобетоны, поропласты, изделия на основе керамзита, перлита);
- пористо-губчатые (пенопласты, резина).

4. *По конструктивному признаку:*

- для сплошной изоляции (перфорированные экраны, резонансные конструкции и др.);
- для локальной изоляции (отдельные щиты, штучные поглотители, рассеивающие изделия и др.).

5. *По возгораемости:*

- негорючие;
- трудногорючие;
- сгораемые;
- трудновоспламеняющиеся.

6. *По форме и внешнему виду:*

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

13.3. Звукопоглощающие материалы и изделия

Звукопоглощающие материалы способны поглощать энергию падающих на них звуковых волн и служат для защиты от воздушного шума. Они, как пра-

вило, используются для конструкций в помещениях производственных и общественных зданий.

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

Основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов является коэффициент звукопоглощения α , равный отношению количества поглощенной энергии звуковых колебаний к общему количеству падающей энергии:

$$\alpha = \frac{E_{\text{ПОГЛ}}}{E_{\text{ПАД}}} \quad (13.1)$$

По величине коэффициента звукопоглощения материалы делятся на классы: первый класс α выше 0,8; второй класс $\alpha = 0,4 \dots 0,8$; третий класс $\alpha = 0,2 \dots 0,4$. Материалы первого класса характеризуются высокой, преимущественно открытой, пористостью и малой средней плотностью (не более $300 \dots 500 \text{ кг/м}^3$). Коэффициенты звукопоглощения некоторых материалов представлены в табл. 13.2.

Таблица 13.2

Коэффициент звукопоглощения некоторых материалов [1]

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

Для усиления поглощения звуковой энергии звукопоглощающие материалы часто дополнительно перфорируют. Перфорация облегчает доступ звуковых волн к материалу и в зависимости от размера и формы отверстий, их наклона и глубины, а также процента перфорации (отношения площади, занимаемой отверстиями, к общей площади изделия) увеличивает коэффициент звукопоглощения на 10...20 % и более. Для этой же цели фактуру поверхности из-

делий делают трещиноватой, бороздчатой или рельефной (рис. 13.1) и окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, дающими пористое покрытие.

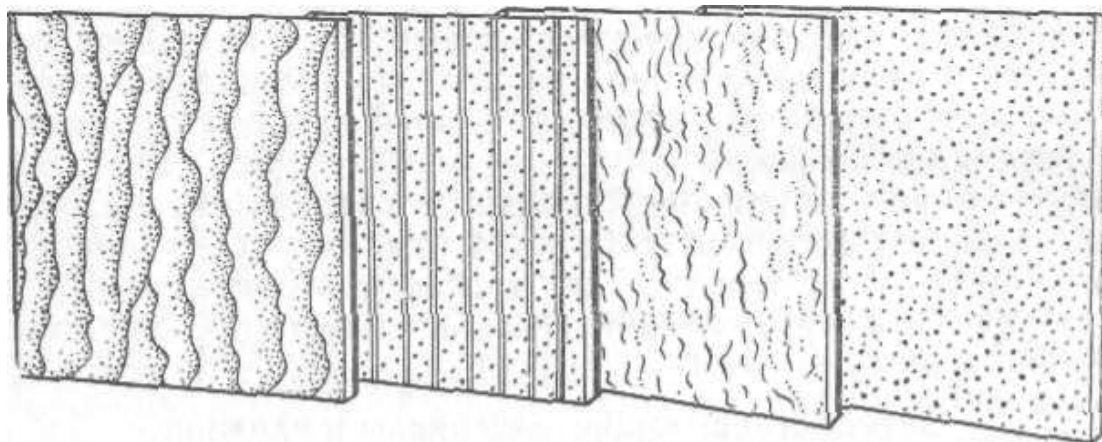


Рис. 13.1. Виды отделки поверхности звукопоглощающих плит

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

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

Звукопоглощающие материалы применяют в виде однослойного однородного пористого материала с офактуренной поверхностью, двух- и многослойных пористых материалов с жестким перфорированным покрытием, а также в виде штучных однослойных и многослойных изделий разнообразных размеров и формы [5, 9].

13.3.1. Однослойные пористые звукопоглощающие материалы и изделия

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

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

Минераловатные плиты изготавливают из минерального, в том числе стеклянного или асбестового волокна на синтетическом или битумном связующем. Эти плиты отличаются от теплоизоляционных плит более жестким скелетом, сквозной пористостью и внешней отделкой. Эффективными отделочными

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

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

К материалам с конгломератной структурой относят **акустические бетоны и растворы** в виде плит, блоков, изготавливаемые на пористых заполнителях (вспученных перлите и вермикулите, керамзите, природной или шлаковой пемзе) и белом, цветном или обычном портландцементе.

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

13.3.2. Звукопоглощающие изделия из пористых материалов с перфорированным покрытием

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

Наибольший эффект звукопоглощения достигается при расположении звукопоглотителя в непосредственной близости от источника звука. В этом случае часть звуковой энергии гасится до того, как она проникает в помещение. Поэтому в общественных и особенно в промышленных зданиях большое практическое значение имеют штучные звукопоглотители в виде отдельных щитов, кубов, призм, конусов, шаров, подвешиваемых к потолкам шумных помещений или устанавливаемых на полу вблизи источника звука (станка, механизма и т. д.). Стенки штучных поглотителей имеют перфорацию, а полости между ними

заполнены или облицованы изнутри пористыми материалами.

Основные виды звукопоглощающих материалов представлены в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Эксплуатационно-технические свойства основных видов звукопоглощающих материалов

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

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

13.4. Звукоизоляционные материалы и изделия

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

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

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

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

В большинстве случаев звукоизоляционные прокладочные материалы ра-

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

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

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

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

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

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

Одни из этих материалов применяют для сплошных звукоизоляционных прокладок под полы, укладываемых по всей площади перекрытий (рис. 13.2, а), другие – для полосовых и штучных прокладок, разделяющих несущую часть перекрытия от конструкции пола (рис. 13.2, б).

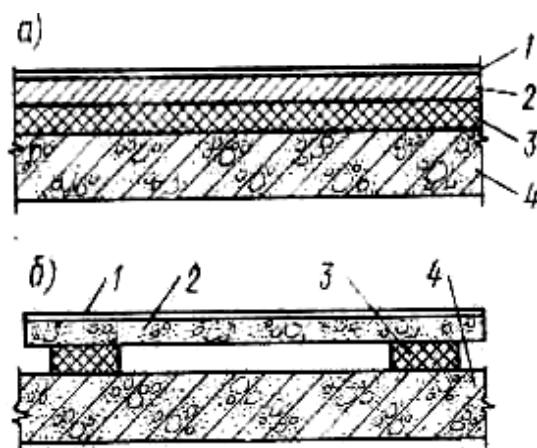


Рис. 13.2. Схема применения звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях:

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

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

В междуэтажных перекрытиях, состоящих из несущей плиты и мягкого покрытия пола, роль звукоизолирующего материала от воздушных шумов выполняет масса самой плиты, а звукоизоляция от ударного шума обеспечивается мягким покрытием пола. Для таких покрытий используют линолеум на войлочной или пористой поливинилхлоридной основе, релин на губчатой основе и другие типы мягких покрытий из ворсовой или гладкой синтетической ткани на губчатой основе. Такие покрытия одновременно выполняют и теплоизоляционные функции.

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

Основные виды звукоизоляционных материалов представлены в табл. 13.4.

Таблица 13.4

Эксплуатационно-технические свойства некоторых звукоизоляционных материалов

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости E_d , МПа, и относительное сжатие K при нагрузке 2 КПа		Область применения
		E_d	K	
Плиты древесно-волокнистые	150...250	1	0,1	Применяют в перекрытиях в виде сплошных ненагруженных или нагруженных прокладок, полосовых нагруженных и штучных нагруженных прокладок; в стенах и перегородках в виде сплошной ненагруженной прокладки; в стыковых конструкциях
Плиты минераловатные ВФ-75 на синтетическом связующем: марка 80 марка 100	70...80	0,36	0,50	
	90...100	0,40	0,40	
Шлак крупностью до 15 мм	500...800	8	0,8	
Песок прокаленный	1300...1500	12	0,03	
Маты минераловатные прошивные	100...200	-	-	
Плиты минераловатные на синтетическом связующем, толщиной 20 мм: мягкие полужесткие	50...75	0,18	0,2	
	100...125	0,15	0,1	
Плиты стекловатные на синтетическом связующем, толщиной 20 мм	50	0,07	0,2	
Плиты из пористой резины, толщиной 20 мм	500...700	2,5...3	0,065	
Прокладки из поризованной синтетической резины размером 20000×100×7,5 мм	33	-	-	

Материал	Средняя плотность, кг/м ³	Динамический модуль упругости E_d , МПа, и относительное сжатие K при нагрузке 2 КПа		Область применения
		E_d	K	
Пенополиуретановые прокладки 20000×100×6...20 мм				Применяют в перекрытиях в виде сплошных ненагруженных или нагруженных прокладок, полосовых нагруженных и штучных нагруженных прокладок; в стенах и перегородках в виде сплошной ненагруженной прокладки; в стыковых конструкциях.
Эластичные рулонные поропласты толщиной 10...15 мм	35...60	0,3...0,8	-	
Цементный фибролит	300	-	-	
Полиэстерные маты размером 25000×100×6...45 мм	35	-	-	
Синтепон 25000×100×6...45 мм	22	-	-	
Рулоны прессованной пробки размером 10000×100×2 мм	150	-	-	
Маты пенополиуретановые размером 15000×100×2...4 мм	35	-	-	

Контрольные вопросы

1. Дайте определение шуму. Какие виды шумов различают?
2. Что представляют собой воздушные шумы?
3. Что представляют собой ударные шумы?
4. Какие материалы относят к акустическим?
5. Представьте классификацию акустических материалов и изделий.
6. Для чего предназначены звукопоглощающие материалы?
7. Что является основной акустической характеристикой звукопоглощающих материалов?
8. Какие строительные материалы и изделия применяются в качестве звукопоглощающих?
9. Для каких целей используются звукоизоляционные материалы?
10. Что является основной характеристикой звукоизоляционных материалов в конструкциях?
11. Приведите примеры звукоизоляционных материалов и изделий.
12. Какие существуют схемы применения звукоизоляционных материалов в междуэтажных перекрытиях?
13. Какие акустические материалы используются для гашения вибрационных колебаний и шумов?

РАЗДЕЛ 14

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

14.1. Общие сведения

Лакокрасочными материалами называют вязко-жидкие многокомпонентные составы, наносимые тонкими слоями на поверхность отделяемой конструкции (бетон, дерево, металл). В результате отвердевания красочных составов образуется твердая пленка, которая прочно сцеплена с основанием.

Такие покрытия дают возможность защитить материал конструкций от вредного воздействия окружающей среды, повысить их долговечность, получить архитектурно-художественный эффект, улучшить санитарно-гигиенические условия в помещениях. Некоторые лакокрасочные покрытия имеют специальное назначение (антисептические, огнезащитные).

Свойства лакокрасочных материалов можно разделить на группы: *реологические* (вязкость, плотность, упругость, пластичность); *технологические* (дисперсность, укрывистость, разлив, маслостойкость); *физико-механические* (прочность пленки при разрыве и удлинении, прочность покрытия при изгибе и ударе); *специальные* (электрические, теплофизические, антисептические, огнезащитные и др.); *декоративные* (сохранение цвета, блеска и внешнего вида); *антикоррозионные* и *атмосферостойкие*.

Лакокрасочные покрытия обычно состоят из грунтовочного, подмазочного, шпаклевочного и окрасочного слоев (рис. 14.1), каждый из которых имеет свое особое назначение [13].

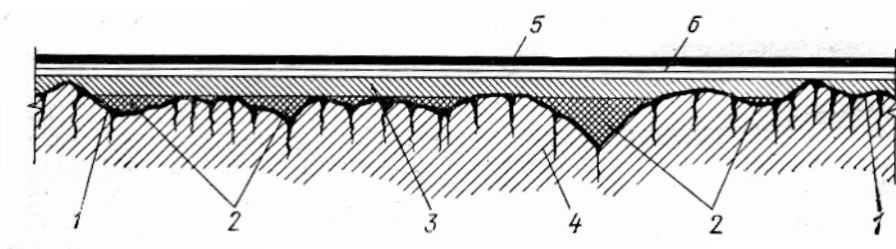


Рис. 14.1. Слой лакокрасочного покрытия:

1 – грунтовка; 2 – подмазка; 3 – шпаклевка; 4 – основание; 5 – слой лака;
6 – слой красочного состава

Грунтовочный слой, представляющий собой жидкий состав, хорошо впитывающийся основанием, предназначен для улучшения сцепления последующих слоев с основанием и для выравнивания свойств основания по отсасывающим свойствам.

Подмазочные слои служат для заполнения сравнительно крупных углублений на поверхности основания.

Шпатлевочный слой (густой пастообразный состав) наносят с целью вы-

равнивания поверхности и ликвидации ее дефектов.

Окрасочные слои создают тонкую пленку заданного цвета. Красочные составы бывают водные (известковые, силикатные, цементные, клеевые, казеиновые), масляные (натуральные), полимерные и др.

После нанесения всех слоев выполняют *шлифование* готовой поверхности различными абразивными материалами или *покрывают ее лаком*.

14.2. Классификация лакокрасочных материалов

Лакокрасочные материалы и покрытия классифицируют по условиям эксплуатации, методу нанесения и консистенции.

1. По условиям эксплуатации красочные покрытия делятся на группы, представленные в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Классификация красочных материалов

Наименование материала по назначению	Группа эксплуатации	Условия эксплуатации
Атмосферостойкие	1	Покрытия, стойкие к различным климатическим воздействиям, эксплуатируемые на открытой площадке
Ограниченно атмосферостойкие	2	Покрытия, эксплуатируемые под навесом и внутри неотапливаемых помещений
Консервационные	3	Покрытия, применяемые для временной защиты окрашиваемой поверхности
Водостойкие	4	Покрытия, стойкие к воздействиям воды и ее паров
Специальные	5	Покрытия, обладающие специфическими свойствами: стойкостью к рентгеновскому излучению, светящиеся и др.

2. По методу нанесения красочные составы бывают:

- кистевые;
- пульверизационные.

3. По своей консистенции красочные составы могут быть:

- жидкими;
- вязкими;
- пастообразными.

14.3. Основные компоненты лакокрасочных составов

Основными компонентами лакокрасочных составов являются связующие вещества, пигменты, наполнители, растворители и разбавители.

Связующие (пленкообразующие) вещества служат для сцепления между

собой частиц пигмента и создания тонкой пленки, прочно держащейся на окрашенной поверхности.

Основные свойства красочных составов (удобнонаносимость, скорость отвердевания, прочность и долговечность красочного покрытия) зависят в значительной мере от связующего.

Связующими веществами в красочных составах являются олифы (обработанные растительные масла) – в масляных красках; полимеры (синтетические смолы, синтетические каучуки, производные целлюлозы) – в полимерных красках, лаках, эмалях; клеи (животные, растительные, искусственные) – в клеевых красках; неорганические вяжущие вещества (цемент, известь, жидкое стекло) – в цементных, известковых, силикатных красках.

Пигменты – тонкодисперсные цветные порошки, нерастворимые в воде, масле (олифе) и органических растворителях. От них зависит не только цвет, но и долговечность лакокрасочного покрытия. При тщательном перемешивании пигментов со связующим образуются нерасслаивающиеся суспензии, которые называют красочными составами (красками).

В зависимости от происхождения пигменты классифицируются на минеральные и органические, а по способу получения – на природные и искусственные (табл. 14.2).

Таблица 14.2

Классификация пигментов по природе происхождения

Пигменты			
Минеральные		Органические	Металлические порошки
Природные	Искусственные		
Мел	Белила цинковые	Пигмент желтый	Пудра алюминиевая Пыль цинковая Бронза золотистая
Известь	Белила титановые	Пигмент алый	
Каолин	Белила свинцовые	Пигмент красный	
Охра	Литопон сухой	Пигмент голубой	
Мумия	Крон цинковый	Киноварь искусственная	
Умбра	Умбра жженая		
Сурик железный	Сажа малярная		
Перекись марганца	Зелень цинковая		
Графит	Оксид хрома		

Красочные составы содержат чаще всего неорганические пигменты. К органическим пигментам, применяемым достаточно редко, относятся малярная сажа, графит и синтетические красящие вещества.

Белыми пигментами являются белила (цинковые ZnO , титановые TiO_2 , свинцовые $PbCO_3$, $Pb(OH)_2$), мел, строительная известь, алюминиевая пудра.

Желтые пигменты – охра, соли хромовой кислоты ($ZnCrO_4$, $PbCrO_4$).

Синие пигменты – ультрамарин ($Na_4Al_3Si_3S_2O_{12}$), лазурь малярная ($Fe_4[Fe(CN_6)]_3$) и кобальт.

Зеленые пигменты – оксид хрома Cr_2O_3 , цинковая зелень, хромовая свинцовая зелень.

Красные пигменты (наиболее многочисленны) – искусственная мумия, свинцовый сурик ($PbO \cdot Pb_2O_3$), редоксайд, железный сурик, киноварь.

Черные и серые пигменты – различные сажи, диоксид марганца MnO_2 , тонкомолотый графит.

Металлические пигменты – пудра алюминиевая, бронза золотистая.

Основными свойствами пигментов являются тонкость помола, светостойкость, атмосферостойкость, химическая стойкость, огнестойкость, маслоспособность, укрывистость или кроющая способность.

Наполнители используют для экономии дорогостоящих пигментов, повышения декоративных и защитных свойств. Для наружной окраски лучшими наполнителями являются тонкие порошки тяжелого шпата ($BaSO_4$) и талька. Для внутренней отделки применяют более дешевые наполнители в виде тонкомолотых мела, известняка, гипса.

В последнее время расширяется применение в качестве наполнителей органических полимерных порошков: полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида и др.

Растворители применяют для растворения полимерных связующих в красочных составах. Они должны быть инертны по отношению к лакокрасочным материалам и материалам окрашиваемых конструкций.

Растворителями служат легко улетучивающиеся органические жидкости: ацетон, скипидар, бензол, уайт-спирит и др. Растворителем для клеевых красок и красок на основе минеральных вяжущих веществ является вода. Связующее и органический растворитель образуют лак, а лак плюс пигмент составляют эмаль.

Разбавители – жидкости, не растворяющие пленкообразующие вещества, а служащие только для уменьшения вязкости красочных составов. В качестве разбавителя применяют олифу (для масляных красок) или воду (для вододисперсионных красочных составов).

Растворители или разбавители позволяют получить жидко-вязкую консистенцию, в том числе без дополнительного расхода связующего.

14.4. Виды красочных составов

14.4.1. Масляные краски

Масляные краски представляют собой однородную суспензию, в которой каждая частица пигмента окружена связующим веществом. Масляные краски изготавливают путем растирания олифы с пигментами в специальных машинах-краскотерках. Выпускают густотертые и жидкотертые масляные краски. *Густотертые краски* производят в виде паст и доводят до рабочей консистенции добавлением олифы на месте работ. *Жидкотертые краски* выпускают готовыми к употреблению с содержанием олифы 40...50 %.

Масляные краски чаще всего применяют для защиты стальных конструкций от коррозии, для предохранения оконных рам и других деревянных эле-

ментов от увлажнения, а также для окраски поверхностей, подвергающихся истиранию и частой промывке водой (полы, нижние части стен коридоров общественных зданий, металлические ворота шлюзов и т.д.).

Масляная краска не изменяет свой объем в процессе твердения, обладает стойкостью и долговечностью.

14.4.2. Лаки и эмалевые краски

Лаки представляют собой пленкообразующие растворы в виде синтетических или натуральных смол (битумы, олифы) в летучих растворителях. Кроме этих двух главных компонентов лак обычно содержит пластификатор, отвердитель и другие специальные добавки, улучшающие качество лакового покрытия. В строительстве в основном применяют масляно-смоляные, смоляные (синтетические безмасляные), спиртовые, битумные, асфальтовые, каменноугольные лаки и нитролаки.

Масляно-смоляные лаки – растворы смол, модифицированных растительными маслами в органических растворителях. Одни из них используются для лакировки мебели и деревянных полов, другие – для наружных малярных работ.

Смоляные лаки представляют собой синтетическую смолу, диспергированную в органическом растворителе. Эти лаки бесцветны, высыхают в течение 2 ч при температуре 20 °С. Смоляные лаки на основе мочевиноформальдегидной и полиэфирной смол применяют для окраски паркетных полов, для отделки фанеры, столярных изделий, древесно-стружечных плит. Окраска перхлорвиниловым лаком защищает материал строительных конструкций от коррозии. Для лакировки деталей из цветных металлов и дерева применяют алкидный лак.

Спиртовые лаки – растворы синтетических или природных смол в спирте, имеющие коричневый, желтый и другие цвета. Их используют для полировки деревянных деталей, мебели, покрытия изделий из стекла и металла.

Битумные и асфальтовые лаки – коллоидный раствор битума или асфальта и растительных масел в органических растворителях. Эти лаки образуют водостойкие пленки черного цвета, применяют их для антикоррозионного покрытия металлических деталей санитарно-технического оборудования, канализационных и газовых труб, для покрытия скобяных изделий (петель, ручек).

Каменноугольные лаки – растворы каменноугольного пека в органических растворителях. Их применяют как антикоррозионное покрытие чугунных и стальных конструкций и изделий.

Нитролаки – растворы производных целлюлозы в органических растворителях, содержащие пластификатор. Нитролак быстро высыхает, дает блестящую пленку коричневого или желтого цвета, его широко используют для окраски мебели и деревянных деталей. Однако нитролаки огнеопасны, высыхая, выделяют вредные для здоровья пары растворителя.

Эмалевые краски представляют собой композицию, состоящую из лака и пигмента. Строительные эмалевые краски должны обладать определенной

твёрдостью, атмосферостойкостью, хорошим внешним видом, способностью высыхать при обычной температуре не более чем за 1...2 суток.

К эмалевым краскам относятся алкидные, перхлорвиниловые, кремнийорганические, каучуковые, битумные.

Алкидные эмалевые краски – суспензия пигмента в глифталевом, пентафталеовом, алкидно-стирольном и других алкидных лаках. Глифталевые и пентафталеовые эмали служат для наружных работ.

Перхлорвиниловые эмалевые краски ПХВ используют для отделки предварительно загрунтованных металлических поверхностей и для окраски бетонных фасадных поверхностей.

Кремнийорганические эмали нашли широкое распространение в современном строительстве. Кремнийорганические покрытия обладают гидрофобностью, атмосферостойкостью, защищают наружные ограждения от увлажнения, но не препятствуют естественной вентиляции помещений.

Покрытия на основе *каучуковых эмалей* представляют собой раствор хлоркаучука в органическом растворителе. Каучуковые эмали обладают эластичностью и не трескаются в результате деформаций. Они также обладают высокой водо- и коррозионной стойкостью, их применяют для защиты от коррозии металлических и железобетонных конструкций.

Битумную эмалевую краску получают, вводя в битумно-масляной лак алюминиевый пигмент (алюминиевую пудру). Эти эмали стойки к действию воды, поэтому их применяют для окраски санитарно-технического оборудования, стальных оконных рам.

Недостатком лаков и эмалей является наличие в них органического растворителя, а следовательно, токсичность, взрыво- и пожароопасность.

14.4.3. Полимерные красочные составы

Полимерные краски представляют собой суспензию пигментов в растворе полимера. Полимерные краски широко применяются для отделки стеновых панелей и блоков полной заводской готовности, а также для окраски и восстановления фасадов существующих зданий и сооружений. Вследствие высокой атмосферостойкости краски отделка сохраняется 10...12 лет и более, ее можно промывать водой.

К полимерным краскам относятся кремнийорганические покрытия, нитролаки, каучуковые краски (см. п. 14.4.2).

Полимерные краски содержат 30...50 % органического растворителя, что необходимо для придания составу малярной консистенции. После нанесения покрытия растворитель испаряется (улетучивается) и на окрашиваемой поверхности образуется атмосферостойкая пленка. Полимерные краски быстро высыхают, однако большинство растворителей горит, их пары огнеопасны и взрывоопасны. Накапливаясь в закрытых помещениях, пары растворителей вредно влияют на здоровье людей.

Более безопасными являются эмульсионные красочные составы на основе полимеров, не содержащих летучих растворителей или содержащих их в небольших количествах.

Полимерные эмульсионные (вододисперсионные) краски – красочные составы, состоящие из двух несмешивающихся жидкостей, в которых частицы одной жидкости распределены в другой. Для получения устойчивой не расслаивающейся эмульсии в ее состав при изготовлении вводят эмульгатор - поверхностно активные вещества (СДБ, мылонафт, омыленная канифоль и др.).

Эмульсионные краски обычно поставляют в виде пасты, которую на месте применения разбавляют водой до нужной консистенции. Воду из нанесенной на поверхность эмульсионной краски частично впитывает пористое основание (кирпич, бетон), а оставшаяся в покрытии вода испаряется. В результате образуется прочное, гладкое, водостойкое покрытие.

Эмульсионные краски не токсичны, пожаро- и взрывобезопасны. Их применяют для наружных и внутренних малярных работ.

Полимерцементные краски изготовляют на основе водной дисперсии полимера, белого портландцемента, пигмента и наполнителя (известковая мука, тальк и др.). Образование пленки в полимерцементных красках происходит в результате распада дисперсии полимера при испарении воды и реакций гидратации портландцемента. Такие краски хорошо сцепляются с бетонными поверхностями и штукатуркой.

Полимерцементные краски применяют для отделки фасадов зданий, а также для заводской отделки крупных блоков и панелей.

14.4.4. Порошковые краски

Порошковые краски представляют собой мелкодисперсную сухую смесь, состоящую из твердых полимеров, наполнителей, пигментов и специальных добавок. В качестве основного сырья применяют термопластичные полимеры (полиэтилен, поливинилхлорид, полиамиды).

Перед использованием порошкообразные краски доводят до рабочей вязкости переводом в капельно-жидкое состояние путем расплавления.

Формирование покрытий может происходить в широком интервале температур, при этом изменяется и продолжительность отверждения. Покрытие наносится на защищаемую поверхность различными методами с разогревом состава.

14.4.5. Красочные составы на основе неорганических вяжущих веществ

Красочные составы на основе неорганических вяжущих веществ являются водоразбавляемыми и изготавливаются на основе цемента и извести.

В **цементных красках** связующим веществом является белый портландцемент. Кроме цемента в состав красок входят щелочестойкие пигменты, из-

весть, хлористый кальций и гидрофобизирующие добавки. Известь и хлористый кальций повышают водоудерживающую способность краски, что необходимо для приобретения прочности красочной пленки. Гидрофобизирующие добавки вводят для повышения атмосферостойкости.

Цементные краски применяют для наружных малярных работ и внутренней окраски влажных производственных помещений по бетону, кирпичу, штукатурке (окрашивающую поверхность предварительно увлажняют).

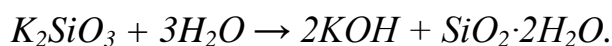
В известковых красках связующим веществом служит гашеная известь. Также в состав вводят щелочестойкие пигменты и добавки, например олифу для придания пленке блеска.

Образование красочной пленки происходит благодаря карбонизации извести. Для сохранения влаги в нанесенном составе, необходимой для успешной карбонизации извести, в состав вводят водоудерживающие добавки: поваренную соль, хлористый кальций или алюминиевые квасцы.

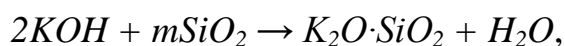
Известковые краски не обладают высокой прочностью и долговечностью, но они сравнительно дешевы, и подготовка поверхности для их нанесения проста.

Силикатные краски состоят из связующего – растворимого силиката калия $K_2O \cdot mSiO_2$ в виде водного коллоидного раствора. В красочный состав входят, помимо связующего, минеральный щелочестойкий пигмент (охра, железный сурик и др.) и кремнеземистый наполнитель (молотый кварцевый песок, трепел, диатомит), повышающий водостойкость пленки.

Силикат калия, являющийся пленкообразующим веществом, в воде подвергается гидролизу:



Дигидрат кремнезема $SiO_2 \cdot 2H_2O$ обладает вяжущими свойствами, а образующаяся щелочь связывается кремнеземистым наполнителем:



и пленка силикатной краски становится малорастворимой в воде.

Силикатными красками окрашивают деревянные конструкции для защиты от возгорания. Их используют для окраски фасадов зданий и внутри помещений. Атмосферостойкость наружного покрытия повышается при нанесении силикатной краски на основания, содержащие свободный гидроксид кальция (свежая цементная или известковая штукатурка, поверхность бетона).

Казеиновые и клеевые краски представляют собой суспензии пигментов и наполнителей (мела) в водных или водно-щелочных растворах клея или казеина. Для повышения прочности и водостойкости в клеевые составы вводят олифу. Для приготовления клеевых красок используют клеи природного сырья: мездровый, костяной или казеиновый.

Клеевые краски не прочны и не водостойки, поэтому их применяют лишь

для внутренней окраски сухих помещений (главным образом потолков).

Казеиновые клеевые составы более водостойки, чем составы на животных клеях. Их применяют для внутренней и наружной отделки.

Контрольные вопросы

1. Что называют лакокрасочными материалами? Что дает применение этих материалов?
2. Перечислите основные свойства лакокрасочных материалов.
3. Из каких слоев состоит лакокрасочное покрытие? Дайте характеристику этим слоям.
4. Представьте классификацию лакокрасочных материалов.
5. Назовите основные компоненты лакокрасочных составов.
6. Какие вещества являются связующими в лакокрасочных составах?
7. Что представляют собой пигменты в лакокрасочных составах? По каким признакам их классифицируют? Назовите пигменты, применяемые в лакокрасочных материалах.
8. Какие виды красочных составов существуют?
9. Что представляют собой масляные краски? Для каких целей их применяют?
10. Что представляет собой лак? Какие виды лаков применяют в строительной практике?
11. Что представляют собой эмалевые краски? Назовите их основные свойства и разновидности.
12. Перечислите разновидности полимерных красочных составов. Что представляют собой полимерные эмульсионные краски?
13. Из каких компонентов состоят порошковые краски? Опишите технологию их использования.
14. Какие Вы знаете красочные составы на основе неорганических вяжущих веществ?
15. Охарактеризуйте цементные, известковые и силикатные краски. Приведите их основные свойства и области применения.
16. Что представляют собой казеиновые и клеевые краски?

РАЗДЕЛ 15

МЕТАЛЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

15.1. Общие сведения

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

Металл – относительно новое приобретение техники. Именно металлам принадлежит ведущая роль в современной и, вероятно, будущей строительной практике. Такому успеху они обязаны, прежде всего, наличием ценных свойств, таких как высокая прочность, тепло- и электропроводность, пластичность, способность работать при относительно низких и высоких температурах и др.

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

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

15.2. Классификация металлов и сплавов

Все металлы и металлические сплавы делят на две основные группы (рис. 15.1): черные и цветные. К черным металлам относят железо и его сплавы с углеродом, кремнием, марганцем, фосфором, серой и др. элементами, а также чугуны и сталь. На их долю приходится около 95 % металлопродукции мирового производства.

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

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

Чугун – сплав железа с углеродом (более 2 %), содержащий постоянные примеси кремния, марганца, фосфора и серы. Он обладает низкими механическими свойствами, но зато экономичнее и легче отливается в изделия сложной формы [5, 13].

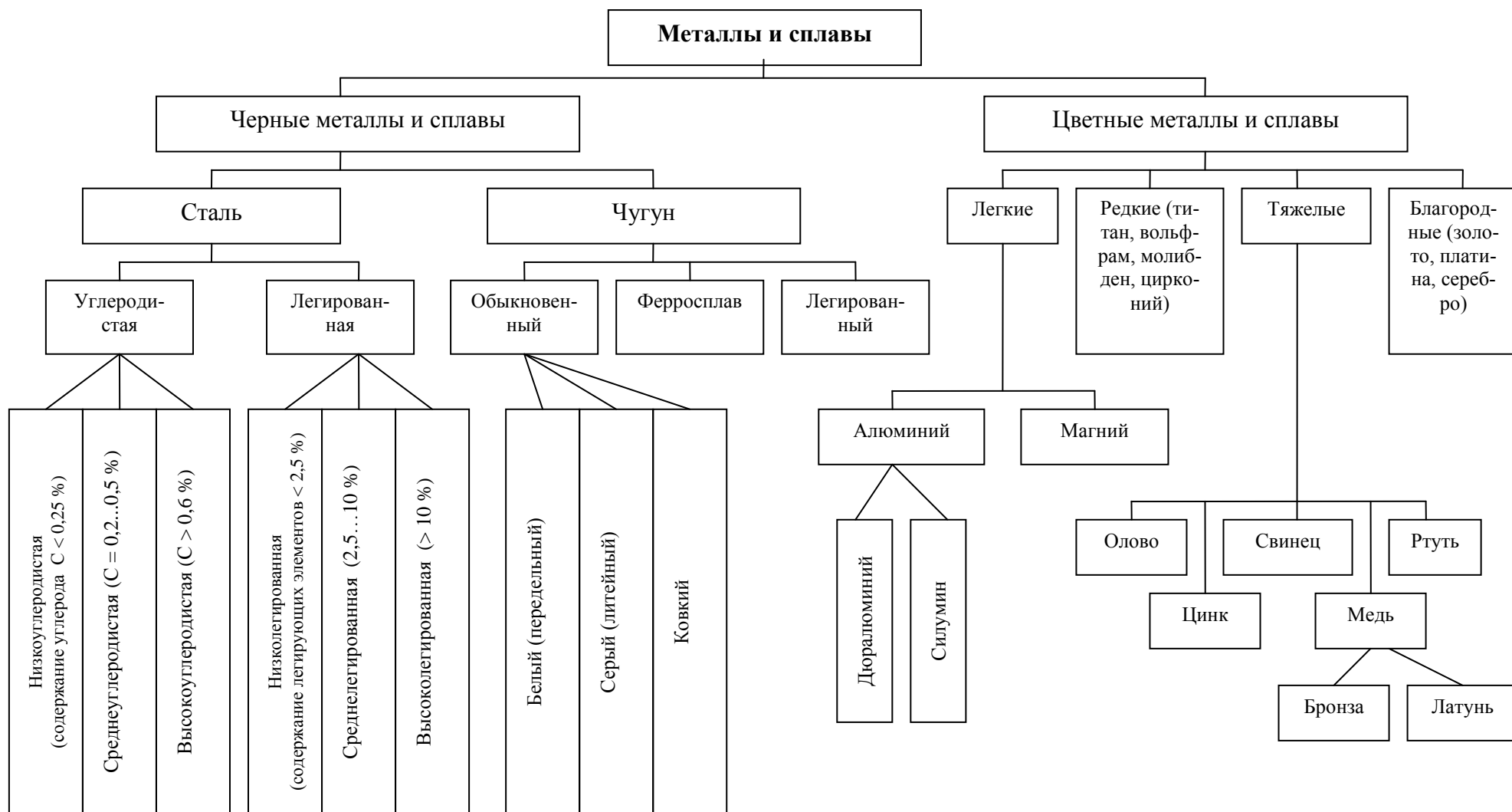


Рис. 15.1. Классификация металлов и сплавов [5]

Сталь – сплав железа с углеродом (до 2 %) и другими элементами. По химическому составу стали делят на углеродистые и легированные. Легированная сталь – сталь с содержанием легирующих элементов (вольфрама, хрома, молибдена, никеля, ванадия и др.), вводимых в состав для придания определенных свойств: повышенной прочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и др. В строительстве сталь используют для изготовления конструкций, армирования железобетонных изделий, форм при изготовлении железобетонных изделий и т.д.

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

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

Алюминий – легкий серебристый металл, имеющий самое широкое распространение в природе. Из-за высокой химической активности в свободном состоянии не встречается, содержится в бокситах, нефелинах, каолинах. Алюминий имеет плотность $2,7 \text{ г/см}^3$, температуру плавления – $660 \text{ }^\circ\text{C}$, обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью, легко обрабатывается. В чистом виде алюминий применяют в виде алюминиевой пудры и для приготовления красок. В строительстве чаще применяют алюминиевые сплавы – силумин (сплав алюминия с кремнием до 14 %) и дюралюминий (сплав алюминия с медью, кремнием, марганцем, магнием и др.). Силумины обладают хорошими литейными качествами, малой усадкой, большой прочностью, твердостью при достаточно высокой пластичности. В последнее время алюминий и его сплавы применяют в качестве несущих и ограждающих конструкций большепролетных зданий и сборно-разборных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

Сплавы магния (с алюминием, марганцем, цирконием и др.) характеризуются высокими значениями прочности, жаростойкостью, самыми малыми значениями плотности ($1700 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$) среди всех цветных металлов. Их целесообразно использовать в конструкциях с высокой стойкостью против вибрации, но необходимо защищать от коррозии.

Титан начал широко использоваться в различных отраслях техники благодаря ценным свойствам: высокой коррозионной стойкости, меньшей плотности (4500 кг/м^3) по сравнению со сталью, высокими прочностными свойствами, повышенной теплостойкости. Температура плавления титана $1627 \text{ }^\circ\text{C}$.

Медь представляет собой металл красного цвета, обладающий высокой плотностью (8960 кг/м^3), теплопроводностью ($394 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$) и стойкостью против атмосферной коррозии. Встречается в природе в свободном состоянии в

виде самородков, достигающих достаточно больших размеров, и в природных рудах. В чистом виде и в сплавах (бронза и латунь) применяется в архитектурно-строительной практике как конструкционный, кровельный и декоративно-отделочный материал.

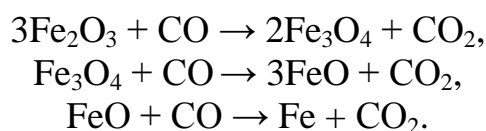
Бронза – сплав меди с оловом (до 12 %), алюминием, марганцем, свинцом и другими элементами. Обладает хорошими литейными свойствами.

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

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

15.3. Основы получения чугуна и стали

Чугун получают в ходе доменного процесса, основанного на восстановлении железа из железных руд, коксом при высокой температуре. Кокс (продукт нагрева каменного угля без доступа воздуха при 1000 °С), сгорая, образует углекислый газ, который, проходя через раскаленный кокс, превращается в оксид углерода. Он и способствует восстановлению железа в верхней части печи по обобщенной схеме



Опускаясь в нижнюю горячую часть печи, железо плавится в соприкосновении с коксом и, частично растворяя его, превращается в чугун:



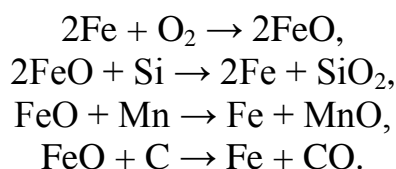
В готовом чугуне содержится около 93 % железа, до 5 % углерода и небольшое количество примесей кремния, марганца, фосфора, серы и некоторых других элементов.

В зависимости от количества и формы связи углерода и примесей с железом чугуны имеют разные свойства, в том числе и цвет, подразделяясь по этому признаку на белые и серые. Белый (пердедельный) чугун в дальнейшем идет для получения стали. Серый (литейный) чугун используется для изготовления отливок. Также существует специальный чугун-ферросплав (ферромарганец, ферросилиций и др.), который используется при получении стали в качестве раскислителя или легирующих добавок.

Сталь получают из чугуна путем удаления из него части углерода и примесей. Существуют три основных способа производства стали: конвертерный, мартеновский и электроплавильный.

Конвертерный способ основан на продувке расплавленного чугуна в больших грушевидных сосудах-конвертерах сжатым воздухом. Кислород воздуха окисляет примеси, переводя их в шлак, и способствует выгоранию углерода.

Различают кислый и основной способы получения стали в конвертерах. При **кислом** (бессемеровском, 1856 г.) способе происходят реакции окисления



Эти реакции сопровождаются большим выделением теплоты, благодаря чему температура в конвертере поднимается до 1600...1650 °С и сталь получается в жидком виде. Однако при этом способе в стали остается некоторое количество FeO, что ухудшает ее механические свойства. Чугун, перерабатываемый по Бессемеровскому способу, должен содержать минимальное количество серы S и фосфора P, так как они полностью остаются в стали – кислые шлаки не способны их вывести.

Бессемеровская сталь по сравнению с мартеновской (при одинаковом содержании углерода C) имеет повышенную хрупкость, особенно при температурах ниже 0 °С, что ограничивает ее применение во многих ответственных конструкциях.

Основной (томасовский, 1878 г.) конвертерный способ предусматривает получение стали из чугуна, богатого фосфором, путем продувки. Достигается это путем введения в конвертер 10...12 % негашеной извести, что создает условия для получения сильноосновных шлаков, способных удерживать фосфор. Томасовский чугун должен содержать не более 0,5 % кремния, так как кремнезем вступает во взаимодействие с CaO и понижает основность шлаков.

Качество томасовской стали ниже бессемеровской, так как в ней содержится больше фосфора, кислорода и азота, поэтому ее не применяют для сварных работ, а также в конструкциях, подвергающихся динамическим воздействиям.

Конвертерный способ отличается высокой производительностью, обусловившей его широкое распространение. К недостаткам этого способа относятся повышенный угар металла, его значительная хрупкость, загрязнение шлаком и наличие пузырьков воздуха, ухудшающих качество стали. Применение вместо воздуха кислородного дутья в сочетании с углекислым газом и водяным паром значительно улучшает качество конвертерной стали.

Мартеновский способ (1864 г.) осуществляется в специальных печах, в которых чугун сплавляется вместе с железной рудой и металлоломом (скра-

пом). Выгорание примесей происходит за счет кислорода воздуха, поступающего в печь вместе с горючими газами и содержащегося в железной руде. Мартеновские печи могут работать как по кислороду, так и по основному способу. Мартеновский способ позволяет получать сталь из чугуна любого химического состава. Состав стали хорошо поддается регулированию, что позволяет получать в мартеновских печах высококачественные стали для различных строительных конструкций.

В зависимости от состава шихты различают следующие разновидности мартеновского способа:

- скрап-процесс (60...75 % стального лома и 25...40 % твердого чугуна);
- рудный процесс (жидкий чугун, скрап, железная руда);
- скрап-рудный процесс (50 % жидкого чугуна и 50 % скрапа).

Сталь, полученная мартеновским способом, отличается более высоким качеством, чем конверторная, но уступает стали, полученной в электропечах.

Электроплавильный способ является наиболее совершенным способом получения высококачественных сталей с заданным составом и свойствами, однако требует повышенного расхода электроэнергии и обладает низкой производительностью, что находит отражение в высокой себестоимости стали. По способу подвода энергии электропечи подразделяются на дуговые и индукционные. Наибольшее применение в металлургии нашли дуговые печи. В электропечах выплавляют специальные виды сталей – средне- и высоколегированные, инструментальные, жаропрочные, магнитные и другие.

15.4. Механические свойства металлов

Механические свойства металлов устанавливаются по результатам статических, динамических и усталостных (на выносливость) испытаний.

Статические испытания характеризуются медленным и плавным приложением нагрузки. К ним относятся испытания на растяжение, твердость и вязкость разрушения.

Испытание на растяжение проводят на стандартных образцах путем осевого растяжения до разрыва. В результате испытаний получают следующие характеристики:

- предел текучести – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}; \quad (15.1)$$

- предел прочности – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}; \quad (15.2)$$

- относительное удлинение – отношение приращения длины образца после разрыва к его первоначальной длине:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%; \quad (15.3)$$

- относительное сужение – отношение уменьшения площади поперечного сечения образца после разрыва к первоначальной площади его поперечного сечения:

$$\psi = \frac{F_1 - F_0}{F_0} \cdot 100\%; \quad (15.4)$$

- предел упругости – такое напряжение, при котором остаточная деформация удлинения не превышает 0,05 %:

$$\sigma_y = \frac{P_y}{F_0}; \quad (15.5)$$

где P_B – максимальная нагрузка, при которой произошло разрушение образца, кгс;

P_T – нагрузка, соответствующая площади текучести, кгс;

P_y – нагрузка, при которой образец получает остаточное удлинение, равное 0,05 % расчетной длины, кгс;

l_0 и l_1 – длина образца до и после испытания, м (мм);

F_0 и F_1 – площадь сечения образца до и после испытания, м² (мм²).

Твердость металлов определяют путем вдавливания под определенной нагрузкой стального шарика, алмазного конуса или пирамиды и оценивают по величине отпечатка. В зависимости от вида используемого наконечника и критерия оценки различают твердость по Бринеллю (НВ), Роквеллу (НР) и Виккерсу (НV).

Твердость по Бринеллю определяют по формуле

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ МПа}, \quad (15.6)$$

где P – нагрузка, кгс;

D – диаметр стального шарика, м (мм);

d – диаметр отпечатка, м (мм).

Твердость по Роквеллу рассчитывают по формуле

$$HR = 100 - e \text{ - при вдавливании алмазного конуса,} \quad (15.7)$$

$$HR = 130 - e \text{ - при вдавливании стального шарика,} \quad (15.8)$$

где $e = \frac{h - h_0}{2 \cdot 10^{-6}}$,

h – глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки P ($P = P_0 + P_1$) после снятия основной нагрузки P_1 , м;

h_0 – глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки P_0 , м.

Твердость по Виккерсу определяют, пользуясь формулой

$$HV = 1,8544 \left(\frac{P}{d^2} \right) \cdot 10^{-6}, \text{ МПа,} \quad (15.9)$$

где P – нагрузка на алмазную пирамиду (500...1200 Н);

d – среднеарифметическое значение двух диагоналей отпечатка, м.

Испытания на *вязкость разрушения* проводят на стандартных образцах с надрезом при трехточечном изгибе. Метод позволяет оценить сопротивление металла распространению дефектов, всегда имеющих в металле.

Динамические испытания металлов проводят на ударный изгиб. Испытание на удар производят на специальных маятниковых копрах с применением стандартных образцов с надрезом посередине. Ударный изгиб характеризует способность работы металла в условиях динамических нагрузок и хрупкость разрушения.

Предел выносливости характеризуется максимальным напряжением, которое может выдержать металл без разрушения при циклическом нагружении.

15.5. Влияние химических элементов на свойства стали

Присутствие в стали различных примесей ухудшает качество изделий и конструкций.

Кремний и **марганец** содержатся в металлах в небольшом количестве ($\text{SiO}_2 < 0,35 \%$, $\text{Mn} < 0,9 \%$). В таких объемах примеси практически не оказывают существенного влияния на свойства стали.

Фосфор относится к вредным примесям. Он, находясь в состоянии твердого раствора с ферритом, искажает кристаллическую решетку стали, увеличивает ее

твердость, но значительно снижает пластичность, ухудшает обработку, также способствует получению крупнозернистых сталей, что ведет к снижению механической прочности. Особенно повышается хрупкость стали при содержании фосфора более 0,2 %, поэтому его содержание не должно быть больше 0,05 %.

Сера является также вредной примесью. Она не растворяется в железе и находится в нем в виде соединения FeS, образующего с железом легкорастворимую эвтектику с температурой затвердевания 958 °С. Сера уменьшает прочность стали и повышает ее хрупкость (красноломкость). Такие стали являются непригодными для горячей механической обработки (прокатки,ковки и др.). Сера также понижает коррозионную стойкость и свариваемость сталей. Ее содержание не должно превышать 0,05 % для мартеновской и 0,06 % для бессемеровской стали.

Влияние **кислорода** подобно сере: он не растворяется в твердом железе и находится в стали преимущественно в виде закиси железа FeO. С увеличением содержания кислорода сталь становится хладоломкой, понижается ее ударная вязкость, ухудшается свариваемость.

15.6. Обработка металлов

Для изготовления металлических строительных конструкций используют наиболее прогрессивные методы обработки металла давлением.

Сущность обработки металлов давлением основана на использовании пластических свойств металла, то есть способности принимать под воздействием внешних сил определенную форму без нарушения целостности.

Обработка металлов давлением существенно изменяет не только форму заготовки, но и структуру и свойства металла, так как при этом изменяются размеры и форма зерен.

При холодной обработке давлением изменяется форма зерен (вытягивается), повышаются механические свойства (пределы прочности и текучести, твердость) и снижаются деформационные свойства (относительное удлинение и сужение, ударное сопротивление).

При горячей обработке заготовку стали нагревают до 900...1000 °С и затем подвергают давлению, в результате чего она легко деформируется без нарушения целостности и связи между зернами.

Для получения изделий металлы обрабатывают давлением различными способами: прокаткой, волочением, прессованием, ковкой, штамповкой и литьем.

Прокатка – самый распространенный вид горячей обработки стали; до 90 % всей выплавляемой стали перерабатывают этим методом. При прокатке металл обжимают между двумя валками прокатного стана, вращающимися в разные стороны, в результате чего происходит обжатие заготовки. Если необходима значительная деформация сечения, то прокатку повторяют до 10...15 раз. Путем проката можно получить изделия различной формы и размеров. Этим способом изготавливают арматурную сталь, применяемую в производстве железобетона.

Волочение – процесс протягивания прутка через отверстие в волоке (матрице), размеры поперечного сечения которого меньше размеров исходной заготовки. Волочением получают тонкую и тончайшую проволоку, калибруют прутки и трубы из стали и цветных металлов.

Прессование – процесс, в результате которого металл выдавливают через круглое или фасонное отверстие в матрице. Прессование производят на гидравлических или механических прессах. Таким способом обрабатывают цветные металлы, их сплавы, а также сталь.

Ковка металла заключается в обжатии заготовки между верхним и нижним бойками с применением разнообразного кузнечного инструмента. При ковке происходит изменение микроструктуры металла с образованием измельченного зерна или волокнистой структуры. В строительстве ковку применяют для изготовления болтов, анкеров, хомутов, скоб, башмаков и др.

Штамповкой изготавливают значительное количество строительных конструкций. Это процесс деформации металла в штампах, при котором обеспечивается однородность и точность поверхностей, не требующих дополнительной обработки. Таким способом получают тонкостенные штампованные строительные профили и обрабатывают листовую сталь.

Литье широко применяют в производстве различного вида изделий или заготовок из металла. Литые детали изготавливают путем отливки расплавленного металла в формы. Получение стальной отливки значительно сложнее, чем чугуновой, так как у стали больше усадка (сталь – 2 %, чугун – 1 %), необходима более высокая температура (до 1600 °С), выше растворимость газов, что способствует пузыристости стальной отливки. В настоящее время имеется более чем 50 способов специальных видов литья, основными из которых являются: литье в металлические формы, литье под давлением, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы (корковое литье) и др.

15.7. Модифицирование структуры и свойств стали

Свойство металлов испытывать фазовые превращения при кристаллизации и повторном нагревании-охлаждении, изменять структуру под влиянием термомеханических и химических воздействий и примесей-модификаторов широко используются в металлургии для получения металлов с заданными характеристиками.

При разработке и проектировании стальных и железобетонных конструкций зданий и сооружений, технологического оборудования и машин (автоклавов, печей, мельниц, напорных и безнапорных трубопроводов различного назначения, металлоформ, строительных и специальных машин) необходимо учитывать климатические, технологические и аварийные условия их работы.

Например, низкие отрицательные температуры понижают ударную вязкость и вязкость разрушения. Повышенная температура снижает модуль упругости, предел текучести, что отчетливо проявляется при пожарах. При 600 °С сталь, а при 200 °С алюминиевые сплавы полностью переходят в пластическое

состояние и конструкции теряют устойчивость. Технологическое оборудование (котлы, трубопроводы, автоклавы, формы, арматура железобетонных конструкций) постоянно подвергается циклическому нагреву-охлаждению в интервале температур 20...200 °С и более, коррозии, что приводит к термическому старению и низкотемпературному отпуску.

Основными способами модифицирования структуры и свойств стали, применяемыми в металлургии, являются:

- введение легирующих элементов;
- термическая и термомеханическая обработка;
- химико-термическая обработка.

Легирующие элементы (азот N, хром Cr, никель Ni, кремний Si, марганец Mn, вольфрам W, молибден Mo, ванадий V, титан Ti, В, кобальт Co, цирконий Zr) вводят в конструкционные стали для дополнительного улучшения их свойств (повышения прочности и пластичности, хорошей свариваемости). Они служат добавками-модификаторами, обеспечивающими зарождение и измельчение зерна стали при кристаллизации расплава.

Для маркировки легированных сталей приняты следующие обозначения:

А – азот	К – кобальт	Т – титан
Б – ниобий	М – молибден	Ф – ванадий
В – вольфрам	Н – никель	Х – хром
Г – марганец	Р – бор	Ц – цирконий
Д – медь	С – кремний	Ю – алюминий

При маркировке сталей первой цифрой обозначают содержание углерода в сотых долях процента для конструкционных сталей, и в десятых долях процента для инструментальных сталей.

Содержание легирующих элементов ставится после соответствующей буквы при их содержании более 1 %. Легирующие элементы располагаются последовательно по мере их содержания. Например, сталь марки 12ХНЗ означает, что в ее составе 0,12 % углерода С, 1 % хрома Cr и 3 % никеля Ni.

При суммарном содержании легирующих элементов до 2,5 % стали относят к низколегированным, от 2,5 до 10 % - к среднелегированным, свыше 10 % - к высоколегированным.

Термическая и термомеханическая обработка являются распространенными способами модифицирования структуры и улучшения свойств стали. Различают следующие их разновидности: отжиг, нормализацию, закалку, отпуск и термомеханическую обработку.

1. Отжиг проводят в тех случаях, когда необходимо уменьшить твердость, повысить пластичность и вязкость, ликвидировать последствия перегрева, улучшить обрабатываемость при резании.

Отжиг включает процессы гомогенизации, рекристаллизации и снятия остаточных напряжений.

Гомогенизации подвергают слитки легированной стали при температуре

1100...1200 °С в течение 15...20 ч для выравнивания химического состава, анизотропии свойств.

Рекристаллизация применяется для снятия наклепа деформированного металла путем нагрева его выше температуры порога рекристаллизации (0,4...0,5 температуры плавления), выдержки при этой температуре и охлаждения. Рекристаллизацию проводят при холодной и горячей деформациях. Холодную проводят при температуре ниже порога рекристаллизации, а горячую – выше. Рекристаллизация при холодном деформировании способствует резкому снижению предела прочности и предела текучести, а также твердости и повышению относительного удлинения и сужения, что необходимо для процессов проката, волочения, штамповки.

Отжиг для снятия остаточных напряжений осуществляют при температуре 550...650 °С в течение нескольких часов. Он предотвращает коробление сварных изделий после резания, правки и других процессов.

2. Нормализация – охлаждение стали на воздухе, нагретой до состояния аустенита. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали, снимает внутренние напряжения, повышает пластичность и ударную вязкость. Ее применяют в тех случаях, когда необходимо получить мелкозернистую однородную структуру с более высокой твердостью и прочностью, но с несколько меньшей пластичностью, чем после отжига.

3. Закалка заключается в нагреве стали до определенной температуры (температура образования аустенита – когда Fe растворяет C), выдержке и быстром охлаждении. Закалку стали проводят в водных растворах слабых электролитов, холодной или горячей воде, минеральном масле.

Закалке подвергают готовые изделия с целью повышения твердости и прочности. Изделия, для которых требуется высокое сопротивление истиранию и повышенная вязкость, подвергают поверхностной закалке. При этом металл нагревается или пламенем газовой горелки, или токами высокой частоты. При поверхностной закалке повышается твердость и износостойкость только поверхностных слоев изделия, середина же сохраняет свою первоначальную структуру и свойства.

4. Отпуск – заключительная операция термической обработки стали, после которой она приобретает требуемые свойства. Цели отпуска – уменьшение внутренних напряжений, возникающих во время закалки, снижение твердости и хрупкости, повышение пластичности. Различают три вида отпуска: низкотемпературный (низкий) с нагревом в интервале температур 150...250 °С, среднетемпературный (средний) с нагревом в интервале 350...500 °С и высокотемпературный (высокий) с нагревом в интервале 500...600 °С.

5. Термомеханическая обработка ведется в две стадии. На первой стадии сталь подвергают горячей деформации, на второй проводят регламентированное охлаждение, в результате которого протекают полиморфные превращения. Высокие механические свойства после термомеханической обработки обуславливаются получением мелкодисперсной структуры с повышенной плотностью.

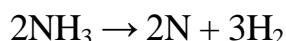
Химико-термическая обработка заключается в изменении химического состава стали на поверхности изделия за счет насыщения ее химическими элементами и в последующем проведении термообработки. Цель ее – упрочнение поверхностных слоев стали (повышение твердости, усталостной прочности, износостойкости и др.), изменение физико-химических и других свойств (коррозионных). От поверхностной закалки данный вид обработки отличается тем, что происходит насыщение поверхности обрабатываемых изделий различными химическими элементами (углеродом С, азотом N, алюминием Al, кремнием Si, хромом Cr и др.). Проникая в основную решетку металла, атомы этих элементов образуют твердый раствор внедрения или замещения либо химическое соединение.

Различают следующие виды химико-термической обработки стали: цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

1. Цементация – поверхностное насыщение низкоуглеродистой стали ($C < 0,25\%$) углеродом с последующими закалкой и отпуском с целью получения изделия с твердой поверхностью и вязкой сердцевиной. Цементацию можно проводить в твердой, жидкой и газообразной среде. Изделия, подвергаемые цементации в твердой среде, помещают в огнеупорный ящик и засыпают цементационной смесью, состоящей из активированного угля и углекислой соли (K_2CO_3 , Na_2CO_3 или $BaCO_3$). При температуре $900...950\text{ }^{\circ}C$ в печи образуется атомарный углерод С, который диффундирует в кристаллическую решетку металла, образуя твердый раствор (аустенит). При дальнейшей выдержке изделий в печи атом углерода проникает в металл на глубину $1...2\text{ мм}$.

При газовой цементации над обрабатываемыми изделиями пропускают газы (природный метан, его смеси и другие), которые при нагревании до температуры $900...950\text{ }^{\circ}C$ выделяют атомарный углерод.

2. Азотирование – процесс поверхностного насыщения стали азотом путем выдержки, заготовки нагретой до температуры $500...650\text{ }^{\circ}C$ в атмосфере аммиака NH_3 . Аммиак при этом диссоциирует по реакции



с выделением атомарного азота, который диффундирует в сталь и образует нитриды, обладающие высокой твердостью.

Азотирование стали значительно повышает ее поверхностную твердость (в $1,5...2$ раза выше по сравнению с цементацией), увеличивает износоустойчивость и предел усталости, повышает сопротивление коррозии.

3. Цианирование – одновременное насыщение поверхности стальных изделий азотом и углеродом. Применяется для повышения твердости, износоустойчивости и усталостной прочности мелких и средних деталей.

4. Диффузионная металлизация – процесс поверхностного насыщения стали алюминием (алитирование), хромом (хромирование), кремнием (силицирование), бором (борирование) и другими элементами. Его осуществляют пу-

тем нагрева и выдержки стальных изделий в контакте с одним или несколькими из указанных элементов, которые могут находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях. Такая обработка придает поверхностным слоям стали жаростойкость, износоустойчивость, сопротивление коррозии и создает возможность замены легированных сталей [5, 13].

15.8. Применение металлов в строительстве

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

Металлические конструкции из черных и цветных металлов широко применяют при строительстве зданий и сооружений, особенно при больших пролетах, высоте, нагрузках (промышленные здания, каркасы и большепролетные покрытия общественных зданий, мосты и эстакады, башни и мачты, витражи, подвесные потолки и др.). Широкое распространение металлоконструкций в строительстве обуславливается их высокой прочностью, надежностью, индустриальностью, скоростью монтажа.

Сталь, применяемая в строительной практике, делится на классы и обозначается буквами: А – стержневая арматура, В – проволока и К – канаты. Характеристики стержневой арматуры приведены в табл. 15.1 и 15.2.

Таблица 15.1

Характеристики стержневой арматурной стали

Класс арматурной стали (по ГОСТ 10884-94)	Марки стали	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
А-I (А240)	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп	235	25
А-II (А300)	Ст5сп, Ст5пс, 18Г2С	295	19
Ас-II (Ас300)	10ГТ	295	25
А-III (А400)	35ГС, 25Г2С, 32Г28пс	390	14
А-IV (А600)	80С, 20ХГ2Ц	590	6
А _Т -IV(А _Т 600)	20ГС, 25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС, 10ГС2, 08Г2С, 25С2Р	590	11
А _Т -IVС (А _Т 600С)		590	11
А _Т -IVК (А _Т 600К)		590	11
А-V (А800)	23Х2Г2Т	785	7
А _Т -V (А _Т 800)	20ГС, 20ГС2, 10ГС2, 28С, 22С	785	7...8
А _Т -VK (А _Т 800К)	35ГС, 25С2Р	785	7...8
А-VI (А1000)	22Х2Г2АЮ, 22Х2Г2Р, 20Х2Г2СР	980	6
А _Т -VI (А _Т 1000)	20ГС, 20ГС2, 25С2Р	980	6...7
А _Т -VIК (А _Т 1000К)	20ХГС2	980	6...7
А _Т -VII (А _Т 1200)	30ХС2	1175	5...6

Примечание. Индекс Т означает термически упрочненные стали, индекс с – стали, упрочненные вытяжкой; кп – кипящая сталь, сп – спокойная сталь, пс – полуспокойная сталь.

Таблица 15.2

Характеристика стержневой арматуры

Диаметр стержня, мм	Теоретическая масса 1 м, кг	Диаметр стержня, мм	Теоретическая масса 1 м, кг
6	0,222	28	4,830
7	0,302	32	6,310
8	0,395	36	7,990
10	0,617	40	9,870
12	0,888	45	12,480
14	1,210	50	15,410
16	1,580	55	18,650
18	2,000	60	22,190
20	2,470	70	30,210
22	2,980	80	39,460
25	3,850		

Арматурную проволоку делят на обыкновенную (низкоуглеродную), изготовленную из стали класса В-I, и высокопрочную (углеродистую), изготовленную из стали класса В-II. По форме поперечного сечения проволока бывает гладкой (В-I и В-II) и периодического профиля (Вр-I и Вр-II). Характеристики проволоки представлены в табл. 15.3, а канатов в табл. 15.4.

Таблица 15.3

Характеристика арматурной проволоки

Диаметр стержня, мм	Теоретическая масса 1 м, кг
3	0,0555
4	0,0987
5	0,1540
6	0,2220
7	0,3020
8	0,3920

Таблица 15.4

Характеристики арматурных канатов

Класс канатов	Диаметр, мм	Площадь сечения проволоки, мм ²	Разрывное усилие, кН	Масса 1 м длины, кг
К-7	6	23,0	40,6	0,184
	9	53,0	93,5	0,419
	12	93,0	164,0	0,736
	15	139,0	232,0	1,099
К-19	14	128,7	236,9	1,020
К-2Х7	18	101,8	169,7	0,800
	25	181,6	303,1	1,430
К-3Х7	10	38,1	74,8	0,300
	13	67,8	126,4	0,580
	16,5	106,2	187,4	0,830
	20	152,7	269,7	1,210
К-3Х19	16,5	108,1	202,1	0,850
	20	180,9	337,5	1,420

Для обычного и предварительно напряженного армирования железобетонных конструкций применяют главным образом стальную арматуру из углеродистых и низколегированных сталей (рис. 15.2).

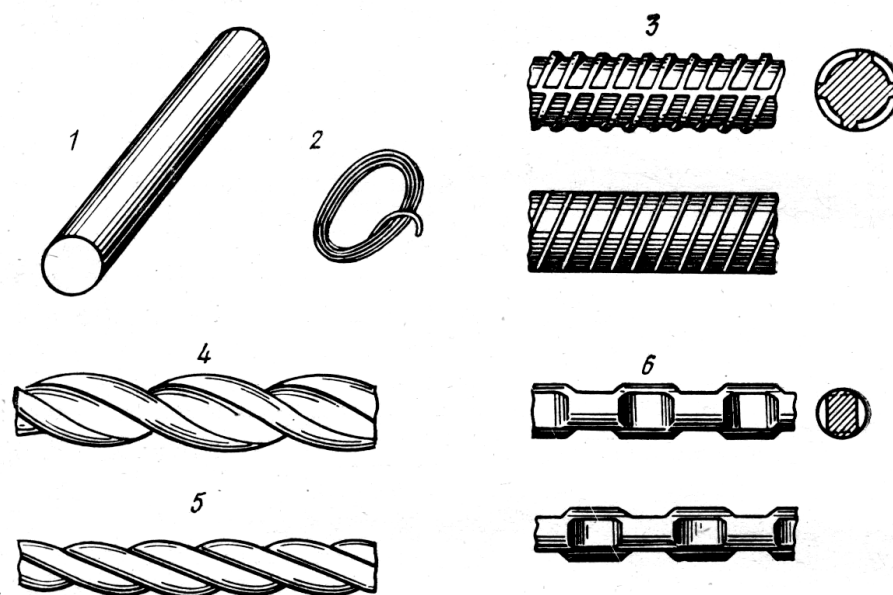


Рис. 15.2. Виды арматурных сталей:

1 – гладкая стержневая; 2 – гладкая проволочная; 3 – горячекатаная периодического профиля; 4, 5 – пряди из проволок; 6 – холодносплюснутая

При проектировании железобетонных конструкций арматуру выбирают в зависимости от ее назначения, марки и вида бетона, свариваемости сталей, условий эксплуатации, характера нагружения и т.д.

Стальную арматуру для бетона классифицируют по следующим признакам:

1. По технологии изготовления:

- горячекатаная стержневая;
- холоднотянутая проволочная.

2. По профилю (см. рис. 15.2):

- гладкая;
- периодического профиля.

3. По условиям применения в конструкции:

- ненапрягаемая;
- напрягаемая.

В зависимости от условий поставки различают прутковую арматуру, поставляемую в виде прямолинейных стержней, бухтовую и плоские сварные или тканые сетки.

Арматурные стали должны обладать достаточной пластичностью, что важно при условиях работы конструкции под нагрузкой, а также при заготовке арматуры. Арматурная сталь не должна снижать механических свойств при сварке. Хорошо свариваются горячекатаные стали с малым содержанием углерода Ст 3, Ст 5 и 10 ГТ. Не сваривается сталь 80с.

Термически упрочненные стали Ат-IV, Ат-V и Ат-VI свариваются ограниченно, после сварки они часто разупрочняются и становятся хрупкими. Так же ограниченно свариваются проволоки В-I, а высокопрочная проволока класса В-II не сваривается.

Арматуру горячекатаную высокопрочную класса А-V и термически упрочненную Ат-IV...Ат-VI, а также упрочненную вытяжкой А-II в и А-III в применяют для предварительно напряженных конструкций.

Из арматурной стали, упрочненной вытяжкой (А-II в и А-III в), изготавливают арматурную проволоку, сетки, каркасы. Проволока В-I используется в ненапрягаемой арматуре, а В-II – в напрягаемой.

Виды **прокатных сталей** весьма разнообразны (рис. 15.3).

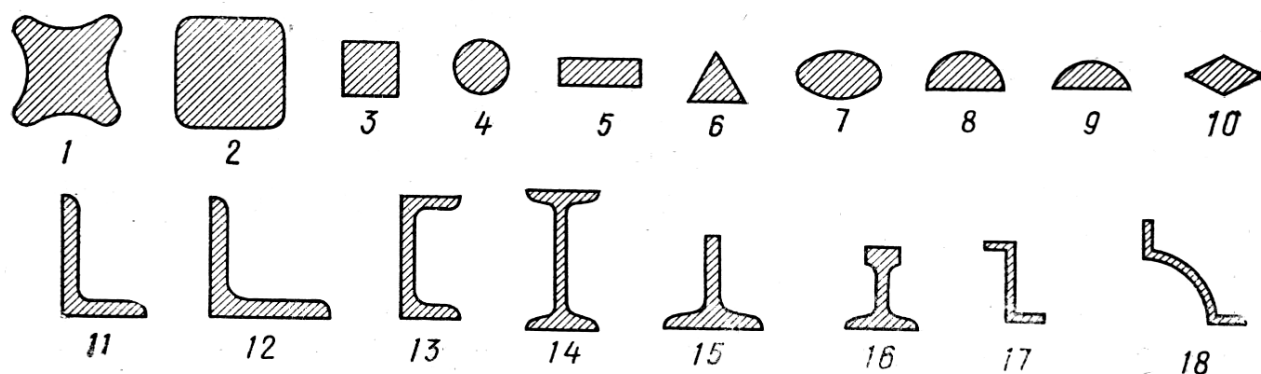


Рис. 15.3. Сортамент профилей проката:

- 1 – блумс; 2 – квадратный с закругленными углами; 3 – квадратный; 4 – круглый; 5 – полосовой; 6 – треугольный; 7 – овальный; 8 – полукруглый; 9 – сегментовый; 10 – ромбовидный; 11, 12 – угловой неравнобокий и равнобокий; 13 – швеллер; 14 – двутавр; 15 – тавр; 16 – рельс; 17 – зетовый; 18 – колонный

Основная часть проката изготавливается из низкоуглеродистой стали.

Характеристики некоторых видов прокатных сталей представлены в табл. 15.5 и 15.6.

Таблица 15.5

Характеристика балок двутавровых [1]

Номер балки	Масса 1 м, кг	Номер балки	Масса 1 м, кг	Номер балки	Масса 1 м, кг
10	9,46	22	24,0	33	42,2
12	11,5	22a	25,8	36	48,6
14	13,7	24	27,3	40	57,0
16	15,9	24a	29,4	45	66,5
18	18,4	27	31,5	50	78,0
18a	19,9	27a	33,9	55	92,6
20	21,0	30	36,5	60	108,0
20a	22,7	30a	39,2		

Характеристика швеллеров [1]

Номер профиля	Масса 1 м, кг	Номер профиля	Масса 1 м, кг	Номер профиля	Масса 1 м, кг
5	4,84	16a	15,3	24	24,0
6,5	5,90	18	16,3	24a	25,8
8	7,05	18a	17,4	27	27,7
10	8,59	20	18,4	30	31,8
12	10,40	20a	19,8	33	36,5
14	12,30	22	21,0	36	41,9
14a	13,30	22a	22,6	40	48,3
16	14,20				

Сортамент проката постоянно расширяется и совершенствуется благодаря внедрению облегченных, тонкостенных, фасонных и других экономических профилей (рис. 15.4). Применяемые для этой цели алюминиевые сплавы отличаются небольшой плотностью ($2,7...2,9 \text{ г/см}^3$), высокой коррозионной стойкостью и прочностью.

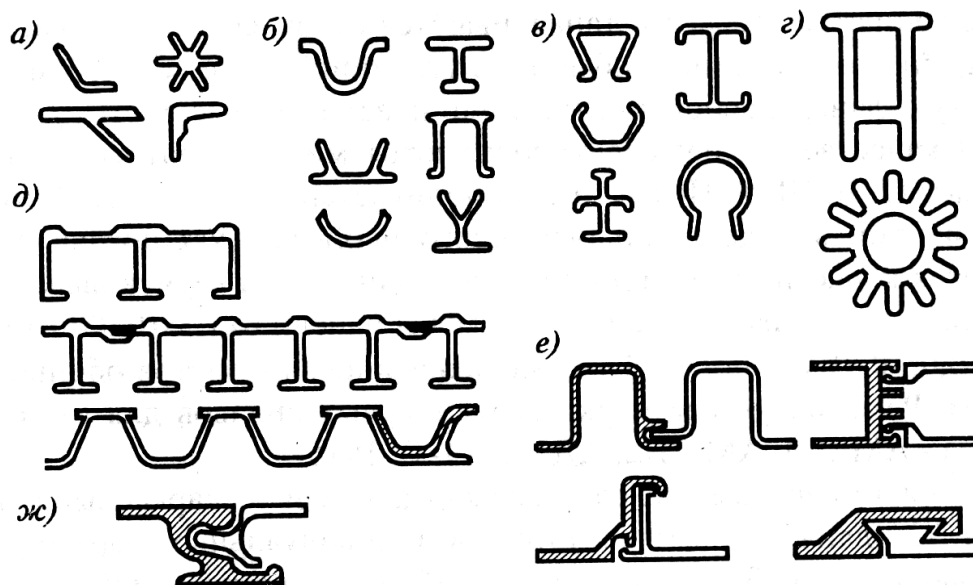


Рис. 15.4. Виды алюминиевых профилей:

- a) сплошные; б) открытые; в) полуоткрытые; г) замкнутые; д) прессованные панели; е) замковые соединения парных профилей; ж) соединение профилей на защелках

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

Легкие сплавы, имеющие среднюю плотность не более 3500 кг/м^3 , изготавливают из алюминия, магния, титана.

Алюминиевые сплавы широко используются в строительной практике.

Наиболее широко применяют силумин – сплав алюминия с кремнием, который имеет более высокую прочность и твердость, чем чистый алюминий, однако сохраняет высокую пластичность. С повышением содержания кремния в силуминах увеличивается прочность сплава, но снижается пластичность. Улучшить свойства силуминов можно путем введения модификаторов (натрий и его фтористые соли), которые являются дополнительными центрами кристаллизации в расплаве.

Дюралюминий – сплав алюминия с медью (3,5...5 %), магнием (0,4...0,8 %), кремнием (до 0,8 %) и марганцем (0,4...0,8 %). При высоких температурах эти элементы растворяются в алюминии и образуют однофазный сплав. Дюралюминий широко используется в авиастроении, транспорте, мостостроении.

Магналий – самый легкий алюминиевый сплав (средняя плотность 2,55 г/см³), получаемый из алюминия, магния (5,8...6,8 %) и марганца (0,5...0,8 %). Магналий хорошо сопротивляется атмосферной коррозии, имеет достаточно высокую прочность и пластичность.

Авиаль – сплав алюминия с магнием, кремнием и медью, отличающийся высокой пластичностью. Авиаль используется при ковке и штамповке сложных деталей.

Магниевые сплавы получают на основе магния, алюминия (до 1 %), цинка (до 4 %), марганца (до 2,5 %). В сплаве алюминий и цинк повышают прочность, а марганец улучшает свариваемость и коррозионную стойкость. По своим свойствам магниевые сплавы приближаются к дюралюминию.

Титановые сплавы благодаря высокой прочности, пластичности, легкости, атмосферостойкости и химической стойкости нашли широкое применение в технике и строительстве. Легирующими элементами в этих сплавах являются алюминий, ванадий, молибден, хром, образующие твердые растворы замещения.

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

15.8. Коррозия металлов и способы защиты от коррозии

Коррозия – процесс химического или электрохимического разрушения металлов под действием окружающей среды. Установлено, что от коррозии ежегодно теряется безвозвратно около 10 % производимых металлов, то есть годовая продукция крупного металлургического завода.

При **химическом разрушении** происходит непосредственное соединение металла с агрессивными агентами. В процессе химического разрушения на поверхности металла образуется пленка из продуктов коррозии, обычно окислов. В некоторых случаях эта пленка может защищать лежащий под ней слой металла от дальнейшей коррозии. Сравнительно плотные окислы пленки образу-

ются на поверхности алюминия, свинца, олова, никеля, хрома. При окислении железа в сухом воздухе также образуется достаточно плотная пленка, но она по мере роста растрескивается и отслаивается от металла. Чаще всего химическая коррозия происходит в среде сухих газов при высокой температуре (металлическая арматура печей, клапаны двигателей, лопатки газовых турбин) или в жидкостях неэлектролитах (окисление металла в спирте, бензине, нефти, мазуте).

При **электрохимической коррозии** металл разрушается вследствие его растворения в жидкой среде, являющейся электролитом. Сущность процесса электрохимической коррозии заключается в том, что атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки металла, при контакте с раствором электролита переходят в раствор в форме ионов, оставляя эквивалентное количество электронов в металле. Данный вид коррозии может также возникнуть при контакте двух разнородных металлов в присутствии электролита, когда между этими металлами возникает гальванический ток. В гальванической паре любых двух металлов будет растворяться тот металл, который обладает более отрицательным электродным потенциалом. Например, железо имеет более низкий отрицательный электродный потенциал, чем цинк, и более высокий, чем медь. Следовательно, при контакте железа с цинком будет разрушаться цинк, а при контакте железа с медью – железо.

Электрохимическая коррозия наблюдается в различных сплавах, в результате ее, разрушение может проникнуть очень глубоко и идти по границам раздела зерен (межкристаллическая коррозия).

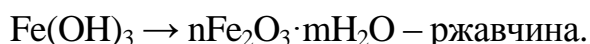
На скорость растворения металла в электролите влияют примеси, способы обработки металла, концентрация электролитов. Металл, находящийся под нагрузкой, корродирует значительно быстрее ненагруженного.

В зависимости от характера окружающей среды электрохимическая коррозия может быть подводной, атмосферной, почвенной, вызванной блуждающими токами. Электрохимическая коррозия металлов в воде обуславливается присутствием в ней растворенного кислорода. При атмосферной коррозии электролитом служит тонкая пленка влаги, сам же процесс усугубляется наличием в воздухе углекислого CO_2 и в особенности сернистого SO_2 газов, хлористого водорода HCl , различных солей, попеременным замораживанием и оттаиванием.

В результате коррозии стали на ее поверхности появляется смесь различных гидратированных окислов железа:



Нерастворимые гидраты постепенно со временем переходят в



Мерой оценки степени коррозии металлических конструкций является или потеря массы конструкции на единицу времени, или толщина образовав-

шейся пленки коррозии за единицу времени (например, за 1 год).

Защиту от коррозии следует начинать с правильного подбора химического состава и структуры металла. Для защиты металла от коррозии применяют различные способы.

1. Введение в сталь некоторых легирующих элементов повышает ее антикоррозионные свойства. Например, совершенную стойкость к атмосферной коррозии показывают легированные стали, содержащие в большом количестве хром, который, образуя на поверхности окисные пленки, приводит сталь в пассивное состояние. Существенно повышается (в 1,5...3 раза) коррозионная стойкость строительных сталей при введении в их состав меди (0,2...0,5 %).

2. Устройство защитных покрытий, которые представляют собой металлические, оксидные, лакокрасочные и другие пленки.

Металлические покрытия бывают двух типов – анодные и катодные. Для анодного покрытия используют металлы, обладающие более отрицательным электродным потенциалом, чем основной металл (например, цинк, хром). Для катодного покрытия выбирают металлы, имеющие меньшее отрицательное значение электродного потенциала, чем основной металл (медь, олово, свинец, никель и др.). Металлические покрытия наносят горячим методом (погружение в ванну с расплавленным защитным металлом), гальваническим (осаждение на поверхности металла солей из растворов) и металлизацией (покрытие поверхности детали расплавленным металлом, распыленным сжатым воздухом).

Металлические покрытия можно наносить также посредством диффузии металла покрытия в основной металл – алитирование, силицирование, хромирование, а также способом плакирования, то есть наложения на основной металл тонкого слоя защитного металла и закрепления его путем горячей прокатки.

Оксидирование – защита металла окисными пленками. Для этого естественную окисную пленку, всегда имеющуюся на металле, делают более прочной путем обработки сильным окислителем, например концентрированной азотной кислотой, растворами марганцевой или хромовой кислот и их солей.

Лакокрасочные покрытия наносят на металл в виде пленок из различных красок, лаков, эмалей. Такие покрытия наносят на металлические ванны, раковины, декоративные изделия в два слоя. Первый слой (грунтовка) содержит в своем составе ингибиторы, препятствующие коррозии (например, хромат цинка). Второй слой (покровный) должен быть эластичным и плотным.

При временной защите металлических изделий от коррозии при транспортировании, складировании используют невысыхающие масла (технический вазелин, лак), а также ингибиторы – вещества, замедляющие протекание реакции (нитрит натрия с углекислым аммонием, с уротропином, ингибиторную бумагу и др.).

Контрольные вопросы

1. Перечислите положительные свойства металлов.

2. Какими недостатками обладают металлы?
3. Представьте классификацию металлов и сплавов.
4. Что является сырьем для получения черных металлов?
5. Что называется чугуном? Охарактеризуйте его свойства.
6. Что представляет собой сталь? Где используется сталь в строительной практике?
7. Для каких целей применяют цветные металлы?
8. Назовите сырье, используемое в производстве цветных металлов.
9. Что представляет собой алюминий? Перечислите его свойства.
10. Охарактеризуйте свойства магния, титана и меди.
11. Для каких целей в строительной практике применяются цинк и свинец?
12. Как получают бронзу и латунь?
13. Каким образом происходит получение чугуна?
14. Какие виды чугуна Вы знаете?
15. Назовите основы получения стали. Какие существуют основные способы производства стали?
16. Опишите особенности конвертерного способа производства стали.
17. Дайте характеристику мартеновского и электроплавильного способов производства стали.
18. Перечислите механические свойства металлов.
19. Что называют пределом текучести стали? Напишите формулу для определения этого показателя.
20. Дайте определение пределу упругости.
21. Каким способом определяется твердость металлов?
22. Как проводят динамические испытания металлов?
23. Какое влияние оказывает содержание в стали кремния, марганца и фосфора?
24. На что влияют сера и кислород, содержащиеся в стали?
25. Перечислите способы обработки металлов. В чем отличие холодной обработки от горячей?
26. Какими способами может быть модифицирована структура и изменены свойства стали?
27. Перечислите термические и термомеханические способы обработки стали.
28. В чем заключается сущность химико-термической обработки стали?
29. Для каких целей применяют конструкции из черных и цветных металлов?
30. По каким признакам классифицируют стальную арматуру для бетона?
31. Назовите виды коррозии металлов. Перечислите способы защиты металлов от коррозии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии изложен достаточно подробный материал, касающийся современных строительных материалов, оценки их основных физико-механических свойств и особенностей технологии изготовления. Учебное пособие содержит большое количество иллюстративного материала и табличных данных, значительно облегчающих изучение конкретных вопросов курса.

Пособие написано в соответствии с рабочими программами дисциплин «Строительные материалы и изделия» и «Технология строительных конструкций и изделий». Цель преподавания данных дисциплин заключается в подготовке квалифицированного инженера, который будет знать основные свойства строительных материалов и изделий, закономерности их изменения под воздействием различных факторов, технологические основы получения тех или иных материалов, правильность применения материалов в зависимости от условий окружающей среды, последние достижения современной науки и техники.

Составной частью данных дисциплин являются практические занятия и лабораторные работы, а также контрольные работы по важнейшим разделам курса, содержание которых направлено на получение студентами практических навыков по оценке свойств и показателей качества различных строительных материалов.

Стремительный прогресс науки, колоссальные темпы строительства объектов промышленного и гражданского назначения, широкий ассортимент применяемых строительных материалов и изделий, а также постоянное совершенствование технологии их получения не позволяют в полной мере уследить за развитием отрасли строительных материалов. Поэтому изучение дисциплин, тесно связанных со строительными материалами, требует постоянного внимания и непрерывного расширения кругозора за счет самостоятельного изучения учебно-методических разработок, специальной литературы, периодических изданий и т.д.

В результате бурного развития науки и техники затрудняется и прогнозирование, касающееся ассортимента будущих строительных материалов. Однако можно предположить, что основными строительными материалами будут древесина, керамика, стекло, металл, бетон и железобетон, полимеры. Строительные материалы будут изготавливаться на основе того же сырья, но с использованием новых рецептур, технологических приемов и оборудования. Это позволит получить более высокие эксплуатационные свойства материалов и повысить долговечность возводимых из них зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадьин, Г.М. Справочник технолога-строителя / Г.М. Бадьин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 512 с.
2. Рахимов, Р.З. Современные теплоизоляционные материалы / Р.З. Рахимов, Н.С. Шелихов. – Казань, 2006. – 392 с.
3. Баженов, Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, У.Х. Магдеев. – М.: Изд-во АСВ, 2004 – 250 с.
4. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2003. – 701 с.
5. Микульский, В.Г. Строительные материалы (материаловедение и технология): учеб. пособие / В.Г. Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов и др. - М.: ИАСВ, 2002. – 536 с.
6. Рахимов, Р.З. Современные кровельные материалы / Р.З. Рахимов, Г.Ф. Шигапов. – Казань, 2001. – 432 с.
7. Ицкович, С.М. Технология заполнителей бетона / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.
8. Рыбьев, И.А. Технология гидроизоляционных материалов / И.А. Рыбьев. - М.: Высш. шк., 1991. – 122 с.
9. Горлов, Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю.П. Горлов. – М.: Высш. шк., 1989. – 384 с.
10. Горчаков, Г.И. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 687 с.
11. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: МИСИ, 1986 – 268 с.
12. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М.: Стройиздат, 1984 – 672 с.
13. Домокеев А.Г. Строительные материалы / А.Г. Домокеев. – М.: Высш. шк., 1982. – 384 с.
14. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. – М.: Госстрой, 1979. – 24 с.
15. Чернушкин, О.А. Технология конструкционных материалов: конспект лекций / О.А. Чернушкин, А.М. Усачев. – Воронеж: 2008. – 191 с.
16. Усачев, А.М. Конструкционные, функциональные и специальные строительные материалы: учеб. пособие / А.М. Усачев, О.А. Чернушкин. – Воронеж: 2010. – 245 с.
17. Бирюкова, Н.В. История архитектуры: учеб. пособие / Н.В. Бирюкова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 367 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Краткие сведения из истории строительных материалов	4
Развитие производства строительных материалов в России	4
РАЗДЕЛ 1	
СОСТАВ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	8
1.1. Общие сведения	8
1.2. Физические свойства	10
1.2.1. Параметры состояния	10
1.2.2. Структурные характеристики	11
1.2.3. Гидрофизические свойства	12
1.2.4. Теплофизические свойства	15
1.2.5. Радиационная стойкость	18
1.3. Механические свойства	18
1.3.1. Деформационные свойства	18
1.3.2. Прочностные свойства	19
1.4. Химические свойства	23
1.5. Обобщающие эксплуатационные свойства строительных материалов и изделий	24
1.6. Технологические свойства	24
1.7. Основные разновидности строительных материалов и конструкций	25
Контрольные вопросы	29
РАЗДЕЛ 2	
ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ	30
2.1. Общие сведения	30
2.2. Общие представления о технологических операциях производства строительных материалов, изделий и конструкций	30
2.2.1. Способы обработки строительных материалов и изделий	32
2.2.2. Способы организации производства	32
2.3. Основные положения теории управления технологическими процессами изготовления строительных материалов, изделий и конструкций	33
Контрольные вопросы	36
РАЗДЕЛ 3	
ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	38
3.1. Общие сведения	38
3.2. Классификация природных каменных материалов	39
3.3. Генетическая классификация горных пород	40
3.4. Основы технологии производства природных каменных материалов	42
3.4.1. Оценка качества горных пород	42
3.4.2. Основные технологические процессы при добыче природного камня	43
3.4.3. Технология получения и обогащения нерудных строительных материалов	45
3.4.4. Технологические схемы заводов по производству нерудных строи- тельных материалов	52
3.4.5. Способы обработки поверхности изделий из природного камня	53

3.5. Разновидности материалов из природного камня и основные требования к ним	55
3.6. Предохранение каменных материалов от разрушения в конструкциях	59
Контрольные вопросы	60

РАЗДЕЛ 4

МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ	61
4.1. Общие сведения	61
4.2. Строение и состав древесины	61
4.3. Свойства древесины	65
4.3.1. Физические свойства	65
4.3.2. Механические свойства	67
4.4. Пороки древесины	68
4.4.1. Сучки и трещины	69
4.4.2. Пороки формы ствола	71
4.4.3. Пороки строения древесины	72
4.4.4. Химические окраски	73
4.4.5. Грибные поражения	73
4.4.6. Повреждения насекомыми и прочие пороки	74
4.5. Защита древесины от гниения, поражения насекомыми и возгорания	76
4.6. Общая технология получения строительных материалов из древесины	78
4.7. Материалы и изделия из древесины	78
Контрольные вопросы	83

РАЗДЕЛ 5

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	84
5.1. Общие сведения	84
5.2. Классификация изделий строительной керамики	84
5.3. Сырье для производства керамических материалов и изделий	85
5.3.1. Глинистое сырье	85
5.3.2. Добавки к глинам	87
5.3.3. Глазури и ангобы	87
5.4. Основы технологии производства керамических изделий	87
5.5. Разновидности керамических материалов и изделий	90
5.5.1. Стеновые изделия	90
5.5.2. Облицовочные изделия	91
5.5.3. Керамические изделия для кровли и перекрытий	93
5.5.4. Керамические изделия для дорог и подземных коммуникаций	94
5.5.5. Санитарно-техническая керамика	94
5.5.6. Кислотоупорные керамические изделия	95
5.5.7. Теплоизоляционные керамические изделия	95
5.5.8. Огнеупорные керамические изделия	96
Контрольные вопросы	97

РАЗДЕЛ 6

СТЕКЛО И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ	98
6.1. Общие сведения	98
6.2. Стекло и его свойства	98
6.3. Сырье для производства стекла	99

6.4. Основы технологии производства стекла	100
6.5. Стекланные материалы и изделия	101
6.5.1. Листовые светопрозрачные и светорассеивающие стекла	101
6.5.2. Светопрозрачные изделия и конструкции из стекла	103
6.5.3. Облицовочные изделия из стекла	106
6.5.4. Изделия из пеностекла	106
6.5.5. Материалы на основе стекловолокна	107
6.6. Ситаллы и шлакоситаллы	107
6.7. Изделия из каменных расплавов	108
Контрольные вопросы	109
РАЗДЕЛ 7	
НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	110
7.1. Общие сведения	110
7.2. Воздушные вяжущие вещества	110
7.2.1. Гипсовые вяжущие вещества	110
7.2.2. Магнезиальные вяжущие вещества	113
7.2.3. Растворимое жидкое стекло	113
7.2.4. Воздушная известь	114
7.3. Гидравлические вяжущие вещества	115
7.3.1. Гидравлическая известь	115
7.3.2. Романцемент	114
7.3.3. Портландцемент	116
7.3.4. Разновидности портландцемента	122
7.3.5. Портландцементы с активными минеральными добавками	123
7.3.6. Глиноземистый цемент	123
7.3.7. Расширяющиеся и безусадочные цементы	124
Контрольные вопросы	125
РАЗДЕЛ 8	
ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	127
8.1. Общие сведения	127
8.2. Битумы	127
8.3. Дегти	129
8.4. Материалы на основе битумов и дегтей	130
8.4.1. Асфальтовые бетоны и растворы	130
8.4.2. Кровельные и гидроизоляционные материалы	130
8.4.3. Мастики	133
8.4.4. Эмульсии, пасты, лаки	133
Контрольные вопросы	134
РАЗДЕЛ 9	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	135
9.1. Общие сведения	135
9.2. Классификация строительных растворов	135
9.3. Свойства растворных смесей и растворов	136
9.3.1. Свойства растворных смесей	136
9.3.2. Свойства растворов	139
9.4. Виды строительных растворов	139

9.5. Сухие строительные смеси	140
Контрольные вопросы	144
РАЗДЕЛ 10	
БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ	145
10.1. Общие сведения	145
10.2. Классификация бетонов	145
10.3. Тяжелый бетон	148
10.3.1. Материалы для изготовления тяжелого бетона	148
10.3.2. Свойства бетонной смеси	149
10.3.3. Свойства тяжелого бетона	151
10.4. Легкие бетоны	154
10.4.1. Бетоны на пористых заполнителях	154
10.4.2. Ячеистые бетоны	156
10.4.3. Крупнопористый бетон	160
10.5. Особые и специальные виды бетонов	161
Контрольные вопросы	166
РАЗДЕЛ 11	
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	167
11.1. Общие сведения	167
11.2. Свойства пластмасс	168
11.3. Классификация полимеров	168
11.4. Основные виды полимеров	170
11.4.1. Полимеризационные полимеры	170
11.4.2. Поликонденсационные полимеры	172
11.5. Основы технологии производства полимерных материалов	174
11.6. Изделия из полимерных материалов	177
11.6.1. Материалы для несущих и ограждающих конструкций	177
11.6.2. Материалы для полов	178
11.6.3. Санитарно-технические и погонажные изделия	179
11.6.4. Полимерные клеи и мастики	180
Контрольные вопросы	180
РАЗДЕЛ 12	
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	181
12.1. Общие сведения	181
12.2. Классификация теплоизоляционных строительных материалов	182
12.3. Основные свойства теплоизоляционных строительных материалов	183
12.4. Способы создания высокой пористости теплоизоляционных материалов	186
12.5. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия	188
12.5.1. Минеральная вата. Изделия из минеральной ваты и стекловолокна	188
12.5.2. Материалы и изделия из поризованных искусственных стекол	191
12.5.3. Теплоизоляционные материалы и изделия из вспученных горных пород	192
12.5.4. Ячеистые бетоны	194
12.5.5. Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы и изделия	195
12.5.6. Керамические теплоизоляционные изделия	196
12.6. Органические теплоизоляционные материалы и изделия	197
12.6.1. Теплоизоляционные материалы на основе древесины	197
12.6.2. Теплоизоляционные материалы на основе местного сырья	198

12.6.3. Полимерные теплоизоляционные материалы (газонаполненные пластмассы)	199
Контрольные вопросы	203
РАЗДЕЛ 13	
АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ	204
13.1. Общие сведения	204
13.2. Классификация акустических материалов и изделий	205
13.3. Звукопоглощающие материалы и изделия	205
13.3.1. Однослойные пористые звукопоглощающие материалы и изделия	207
13.3.2. Звукопоглощающие изделия из пористых материалов с перфорированным покрытием	208
13.4. Звукоизоляционные материалы и изделия	210
Контрольные вопросы	213
РАЗДЕЛ 14	
ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	214
14.1. Общие сведения	214
14.2. Классификация лакокрасочных составов	215
14.3. Основные компоненты лакокрасочных составов	215
14.4. Виды красочных составов	217
14.4.1. Масляные краски	217
14.4.2. Лаки и эмалевые краски	218
14.4.3. Полимерные красочные составы	219
14.4.4. Порошковые краски	220
14.4.5. Красочные составы на основе неорганических вяжущих веществ ..	220
Контрольные вопросы	222
РАЗДЕЛ 15	
МЕТАЛЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	223
15.1. Общие сведения	223
15.2. Классификация металлов и сплавов	223
15.3. Основы получения чугуна и стали	226
15.4. Механические свойства металлов	228
15.5. Влияние химических элементов на свойства стали	230
15.6. Обработка металлов	231
15.7. Модифицирование структуры и свойств стали	232
15.8. Применение металлов в строительстве	236
15.9. Коррозия металлов и способы защиты от коррозии	241
Контрольные вопросы	243
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	245
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	246

Учебное издание

Усачев Александр Михайлович
Усачев Сергей Михайлович

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ**

Учебное пособие

для студентов, обучающихся по специальности
230201 «Информационные системы и технологии»

Редактор Акритова Е.В.

Подписано в печать 2011. Формат 60×84 1/16. Уч.- изд.л. 15.7
Усл. -печ.л. 15,8. Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ № _____

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии
издательства учебной литературы и учебно-методических пособий
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета
394006 Воронеж, 20-летия Октября, 84