

З.Р.З  
к 63

А.Г. КОМАР  
Ю.М. БАЖЕНОВ  
Л.М. СУЛИМЕНКО

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Г. КОМАР  
Ю. М. БАЖЕНОВ  
Л. М. СУЛИМЕНКО

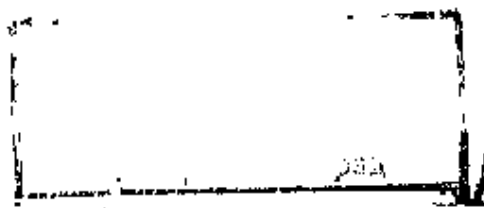
38.3  
КБЗ  
046751

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Издание второе,  
переработанное и дополненное

Допущено Государственным комитетом СССР  
по народному образованию  
в качестве учебника  
для студентов высших  
учебных заведений,  
обучающихся по специальности  
«Экономика и управление в строительстве»

1252598



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1990

ББК 38.3  
К 63  
УДК 691.002

Рецензент: кафедра «Строительные материалы и изделия» Всесоюзного заочного политехнического института (заа. кафедрой проф. Л. Н. Попов)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник написан в соответствии с программой курса «Технология производства строительных материалов» для высших учебных заведений по специальности 0708 «Экономика и управление в строительстве».

В книге проанализированы основные технологические процессы производства важнейших видов строительных материалов и изделий. Во 2-м издании (1-е — в 1984 г.) внимание акцентируется на методах технико-экономического анализа для выбора оптимальных технологических решений, а также на обосновании видов строительных материалов, наиболее рациональных в конкретных условиях службы зданий и сооружений. Основы теории и практики изготовления строительных материалов увязываются в учебнике с экономикой их производства и применения. Излагаемые физико-химические основы получения и применения различных строительных материалов базируются на ранее изученных студентами дисциплинах химического цикла. Вопросы как технологического, так и экономического характера даны в доступной для студентов форме, отвечающей современному состоянию и перспективам развития отдельных отраслей промышленности строительных материалов.

Задача будущего экономиста не только овладение знаниями технологии изготовления строительных материалов, но и методами нахождения экономически наиболее целесообразных направлений развития предприятий строительной индустрии.

Введение, гл. 1, 2, 3, 4, 8, 9 и заключение написаны д-ром техн. наук, проф. А. Г. Комаром и проф. Л. М. Сулименко, гл. 5, 6, 7, 10, 11, 12 — д-ром техн. наук, проф. Ю. М. Баженовым, гл. 13 — д-ром техн. наук, проф. Ю. М. Баженовым и канд. техн. наук, доц. В. И. Баженовой.

Авторы выражают большую благодарность рецензентам книги — кафедре «Строительные материалы и изделия» Всесоюзного заочного политехнического института (зав. кафедрой проф. Л. Н. Попов).

*Авторы*

К 330600000(4309000000)—214 220—90  
001(01)—90

ISBN 5-06-001612-9

© А. Г. Комар, Ю. М. Баженов,  
Л. М. Сулименко, 1990

Грандиозная программа капитального строительства, осуществляемая в нашей стране, должна быть обеспечена эффективными строительными материалами, для выпуска которых создана соответствующая индустриальная база. Промышленность строительных материалов играет важную роль в создании материально-технической базы, обеспечении дальнейшего роста материального и культурного уровня жизни народа, успешной и своевременной реализации программы строительных работ. Объем выпуска строительных материалов и изделий в значительной мере определяет экономический потенциал страны, а от темпов роста их выпуска зависят масштабы капитального строительства, его экономичность и технический уровень. Динамика роста производства строительных материалов и изделий в СССР дана в табл. В.1.

В строительстве особое внимание обращено на производство эффективных строительных материалов, последовательный переход на поставку изделий высокой строительной готовности, использование для производства строительных материалов вторичного сырья, попутных пород, шлаков и других отходов.

Наша страна занимает ведущее место в мире по производству цемента, строительной извести, сборного железобетона, листовых асбестоцементных изделий и труб, оконного стекла. В создание и развитие индустрии строительных материалов, разработку и внедрение новых их видов, формирование современной науки о строительных материалах огромный вклад внесли советские ученые; академики А. А. Байков, Д. С. Белянкин, В. А. Обручев, А. Е. Ферсман, члены-корреспонденты АН СССР И. П. Будников, В. В. Тимашев, Н. А. Торопов, профессора Ю. М. Бутт, В. И. Вернадский, К. Э. Горяйнов, С. И. Дружинин, В. А. Кинд, И. И. Китайгородский, Н. А. Попов, Б. Г. Скрамтаев, В. Н. Юнг и др.

Реальные здания и сооружения эксплуатируются в условиях, резко отличающихся температурой, влажностью, агрессивностью и другими факторами. Соответственно и к строительным материалам предъявляют самые разнообразные требования по прочности при нормальной или высоких температурах, водостойкости, устойчивости к действию различных солей, кислот и щелочей, непроницаемости для жидкостей, газов, сопротивляемости морозу, электрическому току, радиоактивным излучениям. Наконец, материалы для отделки помещений жилых и общественных зданий, садов и парков должны быть не только долговечными и прочными, но и красивыми. В строительстве применяют материалы, отличающиеся как исходным сырьем, так и технологическими приемами получения.

Таблица В.1. Выпуск основных строительных материалов и изделий в СССР

Наименование материалов и изделий	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1980 г.	1985 г.
Цемент, млн. т	5,8	10,2	45,5	95,2	125,0	130,8
Кирпич керамический, млрд. шт.	7,6	10,2	35,5	43,2	41,8	41,2
Сборный железобетон и бетон, млн м <sup>3</sup>	0,3	1,2	30,1	84,6	122,0	136,6
Стекло листовое, млн. м <sup>2</sup>	45,7	76,9	147,2	233,4	245,0	243
Мягкая кровля, млн. м <sup>2</sup>	130,2	285,5	750	1333,7	1723,0	1927,0
Асбестоцементные листовые материалы, млн. шт. усл. пл.	211,7	546,4	2991	5840	7308	8270
Минераловатные изделия, млн. м <sup>3</sup>	—	0,7	4,0	13,2	21,5	22,9
Легкие заполнители для бетона, млн м <sup>3</sup>	—	—	0,94	15,7	31,8	44
Линолеум, млн. м <sup>2</sup>	—	1,5	13,3	57,4	93,0	112,7
Гипсовые перегородочные плиты и детали, млн. м <sup>2</sup>	—	0,5	23	33,0	28,0	н. св.
Нерудные строительные материалы, млн. м <sup>3</sup>	20	61,6	313,5	541,7	970,6	1087

По технологическим признакам строительные материалы делят на следующие основные группы:

**природные каменные материалы**, как рыхлые (песок, гравий, щебень), так и в виде штучных изделий (плит, камней и др.); **неорганические вяжущие материалы** — продукт обжига природного сырья или искусственной смеси с последующим измельчением; **бетоны и строительные растворы** на основе неорганических вяжущих; **керамические материалы и изделия**, получаемые из глины путем формования, сушки и обжига; **материалы из минеральных расплавов**, получаемые формированием расплавленных природных пород или искусственных сырьевых шихт; **теплоизоляционные и акустические материалы и изделия** — органические и неорганические, штучные и рыхлые; **битумные и дегтевые материалы и изделия на их основе** для кровли и гидроизоляции; **полимерные строительные материалы**; **лакокрасочные материалы**; **лесные материалы**, **металлические материалы**.

Последние три группы материалов в рамках настоящего учебника подробно не рассматриваются, так как производство их относится к другим отраслям промышленности.



## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИРОДНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### § 1.1. Общие сведения

● **Природный камень как строительный материал известен с глубокой древности. Высокая механическая прочность и долговечность позволяли использовать его в качестве стенового материала в строительстве различных сооружений, а красивая окраска и богатая текстура обусловили его применение для архитектурного оформления уникальных сооружений, храмов, дворцов. Украшением старорусских городов (Москвы, Киева, Суздаля, Владимира и др.) до сих пор являются белокаменные соборы, воздвигнутые древними мастерами.**

Роль природного камня в современном строительстве претерпела значительные изменения. Из универсального материала, сочетающего конструктивные и декоративные свойства, камень стал преимущественно материалом отделочным. Важность высоких защитных свойств камня особенно возросла в последние годы, когда прогресс в области создания теплоизоляционных материалов позволил получить легкие и экономичные, не нуждающиеся в защите от атмосферного воздействия изделия.

Природные каменные материалы нашли широкое применение для облицовки и архитектурной отделки зданий и сооружений, а также в качестве стенового материала, для устройства дорожных покрытий и т. д. В сооружаемых объектах масса материалов и конструкций из минерального сырья составляет в среднем 70%, а иногда и 90%.

Природные каменные материалы получают в результате обработки плотных и рыхлых горных пород: раскалыванием, распиливанием, обтесыванием, шлифовкой, дроблением и т. д.

В соответствии со спецификой технологии производства каменных строительных материалов могут быть выделены три группы: 1) *штучный стеновой камень* — изделия правильной геометрической формы, получаемые непосредственно из горного массива с помощью специальных механизмов; 2) *облицовочный (или декоративный) камень* — изделия, пригодные для отделочных работ; 3) *нерудные материалы* — камень в виде кусков неправильной формы (щебень, гравий и др.) — полупродукт, идущий на производство бетона.

СССР располагает фактически неограниченными запасами нерудных ископаемых. Производство строительных материалов из природного камня организовано во всех экономических районах страны и в связи с ростом выпуска бетона и сборного железобетона развивается быстрыми темпами.

Технические свойства природных каменных материалов определяются свойствами тех горных пород, из которых они получены.

### § 1.2. Горные породы и их классификация

● **Горной породой называют минеральную массу более или менее постоянного состава, слагающую земную кору.**

В основу классификации горных пород положено их происхождение (генетическая классификация). Условия образования горных пород определяют их химико-минералогический состав, кристаллическое строение и структуру. В свою очередь, от этих показателей зависят основные физико-технические свойства горных пород, и они являются исходными при выборе и технико-экономической оценке природных каменных материалов. Согласно генетической классификации, горные породы делят на три большие группы: изверженные, осадочные и метаморфические (табл. 1.1).

● **Изверженные горные породы образовались из расплавленной магмы, поднявшейся из глубины земли и отвердевшей при остывании.** Различные условия охлаждения магмы привели к образованию изверженных пород с особыми строением и свойствами. В одних случаях магма не вышла на поверхность земли, а застыла под ее верхними слоями — так образовались глубинные породы. В других случаях магма излилась и отвердела на поверхности земли — так образовались излившиеся горные породы.

● **Глубинные породы** под давлением верхних слоев остывали медленно и сравнительно равномерно. Вследствие благоприятных условий для кристаллизации минералов глубинные породы массивны, плотны, состоят из тесно сросшихся, достаточно крупных кристаллов. Они обладают большой плотностью, высокими прочностью на сжатие и морозостойкостью, малым водопоглощением и большой теплопроводностью. Большая механическая прочность, стойкость против выветривания и морозостойкость обуславливают высокие строительные свойства глубинных горных пород и изготовленных из них строительных материалов и изделий. Их применяют для изготовления облицовочных плит, лестничных ступеней, полов, бортовых камней, щебня и др.

**Гранит** — глубинная горная порода, состоящая в основном из кварца, полевого шпата и слюды. Зерна минералов имеют настолько прочную спайность, что излом чаще происходит не по плоскости спайности, а по зернам минералов. Предел прочности

Таблица 1.1. Генетическая классификация горных пород

Изверженные (магматические) породы				Осадочные	
массивные		обломочные		химические осадки	органогенные отложения
глубинные	излившиеся	рыхлые	цементированные		
Гранит, диорит, габбро	Порфир, базальт, трахит, порфирит, андезит	Вулканический пепел, пемза	Вулканический туф	Гипс, ангидрит, магнезит, доломит, известковый туф	Известняк, мел, ракушечник, диатомит, трепел

Таблица 1.2. Классификация горных пород

Осадочные породы		Метаморфические (видоизмененные) породы	
механические отложения (обломочные породы)		продукты видоизменения изверженных пород	продукты видоизменения осадочных пород
рыхлые	цементированные		
Глина, гравий	песок, Песчаник, конгломерат, брекчия	Гнейс	Мрамор, глинистый сланец

при сжатии 100...300 МПа, а при растяжении 1/40...1/60 предела прочности при сжатии.

● *Излившиеся породы*, образовавшиеся на поверхности земли при быстром охлаждении магмы без внешнего давления, как правило, состоят из отдельных хорошо сформированных кристаллов, вкрапленных в основную скрытокристаллическую массу. Состав и свойства излившихся пород такие же, как и у глубинных, но структура их мелкокристаллическая.

Наиболее распространенная порода этой группы — *базальт*. Он имеет темный цвет, скрытокристаллическую структуру с некоторым количеством вулканического стекла и состоит из полевого шпата и авгита. Высокая прочность (100...150 МПа) и твердость базальтов позволяют использовать их в качестве материалов для дорожных покрытий. Применяют базальт так же, как сырье для изготовления каменного литя и минеральной ваты.

● *Обломочные породы* отличаются стеклообразным пористым строением, небольшими плотностью, прочностью и теплопроводностью. Продукты вулканических извержений сначала откладывались в виде отдельных обломков, образуя породы небольшой плотности — пемзу, вулканические пеплы, а затем из части таких пород за счет слеживания образовались вулканические туфы.

*Пемза* состоит из кремнезема  $SiO_2$  (до 70%) и глинозема  $Al_2O_3$  (до 15%). Залегают она в виде обломков размером 5...50 мм. Плотность пемзы в куске 400...1400 кг/м<sup>3</sup>, пористость до 80%, предел прочности при сжатии 0,4...2,0 МПа. Используют пемзу как заполнитель для легких бетонов и как теплоизоляционный материал.

*Вулканический туф* имеет пористость 40...70%, предел прочности при сжатии 8...19 МПа и выше, теплопроводность 0,21...0,33 Вт/(м·°С). Применяют туф в качестве песка или щебня для легких бетонов и растворов. Хорошие декоративные качества и

высокая морозостойкость позволяют также широко использовать его как облицовочный материал для фасадов зданий.

● *Осадочные горные породы по характеру образования и составу делят на: химические, органогенные и механические.*

● *Химические осадки* представляют собой горные породы, образовавшиеся при осаждении минеральных веществ из водных растворов с последующим их уплотнением и цементацией, например гипс, ангидрит, известковые туфы.

● *Органогенные отложения* образовались в результате отложения на дне водоемов остатков водорослей и животных организмов. К ним относятся большинство известняков, мел, диатомиты.

● *Механические отложения (обломочные породы)* образовались в результате накопления рыхлых продуктов распада горных пород. Часть из них подвергалась в дальнейшем цементированию глинистым веществом, железистыми соединениями, карбонатами, образуя плотные осадочные породы — конгломераты, брекчии.

Осадочные горные породы разнообразны по составу, структуре и физико-механическим свойствам. В отличие от изверженных пород они менее однородны, залегают пластами, имеют слоистое строение, что отрицательно сказывается на строительно-технических свойствах получаемых из них каменных материалов. Для производства нерудных строительных материалов наиболее широко применяют известняки, доломиты, песчаники, а также рыхлые обломочные породы — гравий и песок.

● *Метаморфические горные породы образовались при глубоком преобразовании изверженных или осадочных горных пород влиянием высоких температур и давлений, а иногда и химических воздействий.* Как правило, получаемые в результате метаморфизма породы более плотны, чем исходные осадочные. В большинстве случаев они имеют слоистую структуру, что снижает строительно-технические свойства получаемых каменных материалов. В стро-

ительстве из метаморфических пород применяют гнейсы, глинистые сланцы, мрамор.

*Гнейсы* отличаются ярко выраженным слоистым строением. Их используют преимущественно как облицовочные плиты, в виде бутового камня для кладки фундаментов и стен неотопливаемых зданий, для тротуаров.

*Глинистые сланцы* состоят из уплотненных глин. Они легко раскалываются на тонкие плитки, обладают высокой атмосферостойкостью и долговечностью, что позволяет использовать их даже в качестве кровельного материала.

*Мрамор* — кристаллическая порода, образовавшаяся из известняков или доломитов. Хотя прочность мрамора достигает 300 МПа, он сравнительно легко пилится на плиты и хорошо полируется. Применяют мрамор для облицовки внутренних частей зданий.

### § 1.3. Основы разработки и обработки природных каменных материалов

Для получения природных каменных материалов горные породы разрабатывают в карьерах и подвергают механической обработке. В зависимости от условий залегания породы карьеры разрабатывают открытым способом — с поверхности, либо закрытым — шахтами. Более эффективен и экономичен открытый способ.

Выбор способа добычи горной породы зависит от ее вида, глубины и условий залегания, твердости и др. При добыче блоков твердого камня используют два способа организации процесса: от массива отделяют крупный монолит, подвергаемый в дальнейшем разделке на блоки, либо каждый блок отделяют от массива в отдельности. Первый способ более экономичен и получил большее распространение, в особенности для плотных пород типа гранита. Он может быть реализован в виде двух вариантов: монолит отделяют, образуя перфораторами или ударными машинами сплошную щель по его граням, либо шпурсы располагают на значительном расстоянии друг от друга, а монолит отделяют клиньями, загоняемыми в шпурсы. Это намного сокращает затраты энергии, так как сопротивление камня раскалыванию в 4...6 раз меньше, чем разрыву. На том же принципе реализуется буровзрывной способ отделения монолита с применением зарядов взрывчатки ограниченной мощности.

Кроме того, для отделения от горного массива крупных блоков-полуфабрикатов (4...5 м) используют высокопроизводительный реактивно-струйный способ. Из сопла камеры сгорания керосина в кислороде выбрасывается со сверхзвуковой скоростью (около 2000 м/с) высокотемпературная (свыше 2000 °С) газовая струя и разрушает породу.

Мягкие породы (известняк-ракушечник, известковые туфы и др.) добывают путем распиловки массива камнерезной машиной на блоки определенных размеров и правильной геометрической формы. При разработке месторождений некоторых разновидностей гранитов, гуфов, мраморов (в открытых выработках) на штучный камень, плиты, блоки также применяют распиловку породы механическими пилами. Камнерезная машина позволяет выполнять операции по проделке продольных и поперечных траншей, прорезке поперечных рядов на глубину блока, подрезке блока снизу и окончательной отрезке от массива с получением максимальных размеров блока 1000×1000 мм при произвольной длине.

Для придания камню требуемых формы, размеров и фактуры лицевой поверхности необходим ряд операций, выполняемых в строгой последовательности. Совокупность этих рабочих процессов называют обработкой камня. Ее производят механизированным способом на специализированных заводах. По степени завершенности изделий обработка камня может быть разделена на три стадии: обработку приближенную, обеспечивающую получение заготовки, точную, при которой камень приобретает форму выпускаемого изделия, и фактурную, позволяющую выявить декоративные свойства камня путем придания заданной степени шероховатости или зеркального блеска. В зависимости от характера воздействия различают два основных способа обработки: резание и скалывание. Возможные варианты технологической схемы представлены на рис. 1.1. Более высокую производительность обеспечивает обработка камня резанием. При этом снижается количество отходов.

● **Приближенная обработка блоков резанием (распиловка)** — весьма трудоемкая операция, стоимость которой составляет до 40% стоимости готовой продукции. В ее задачу входят получение полуфабриката — плит различной толщины и размера в зависимости от назначения (наружная или внутренняя отделка, плиты для полов, ступеней и т. д.), а также брусков для изготовления профильных изделий. Правильный выбор размеров исходных блоков, устранение поломок плит при распиловке, повышение качества поверхности распила обеспечивают рост выпуска готовой продукции при тех же затратах сырья и снижении себестоимости изделий.

Распиловку блоков на плиты и бруски производят на распиловочных станках различной конструкции. Наибольшее распространение получили рамные станки и канатные пилы. На рамных станках распиловку блока осуществляют комплектом пильных полотен, натянутых на раму. При работе станка под пилы непрерывно подают дозированными порциями абразив.

В канатных пилах режущим органом является стальной канат, изготавливаемый из профильных жил, а в отдельных случаях

дополнительно армированный твердосплавными или алмазными резцами. В качестве абразива используют карборунд, корунд, стальную дробь, обладающие повышенными режущими свойствами. Важнейшее достоинство канатной пилы — бесшумность работы, однако невозможность установки большого количества канатов на станке не позволяет ей быть достаточно конкурентоспособной по сравнению с рамными распиловочными станками.

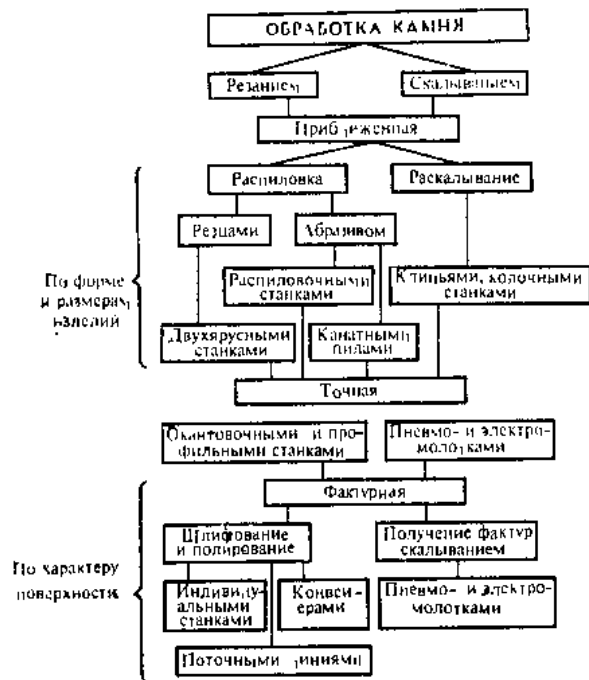


Рис. 1.1. Технологическая схема обработки природного камня

● **Точная обработка камня по форме («окантовка»)**, с одной стороны, обеспечивает придание изделиям точных размеров, а с другой — получение архитектурных деталей из брусков (ступеней, карнизов, колонн и др.). Основная часть окантовочных станков для точной обработки резанием — отрезной (алмазный или карборундовый) круг. Применение высокопроизводительных алмазных отрезных кругов позволило разработать технологию изготовления плит и брусков непосредственно из блоков. При одностадийной схеме (рис. 1.2, а) изготовление плит осуществляют на одном станке, имеющем один горизонтальный и 3...8 вертикальных отрезных кругов. При двухстадийной схеме на фрезерном станке

с двумя взаимно перпендикулярными дисками получают брусок-заготовку, а затем разрезают его на многодисковых станках с двухъярусным расположением кругов (рис. 1.2, б).

● **Фактурная обработка** преследует цель с предельной полнотой раскрыть декоративные возможности камня с учетом условий его службы. Вместе с тем она должна обеспечивать повышение срока службы изделий, поэтому желательны фактуры, уплотняющие поверхность камня. Для каменных изделий, получаемых путем резания, фактурная обработка осуществляется шлифовкой и полировкой. Сначала производится грубая шлифовка (обдир) мокрым способом с грубым абразивом (корунд и др.), а затем — тонкая шлифовка (лощение) тонким зерновым абразивом. Для придания

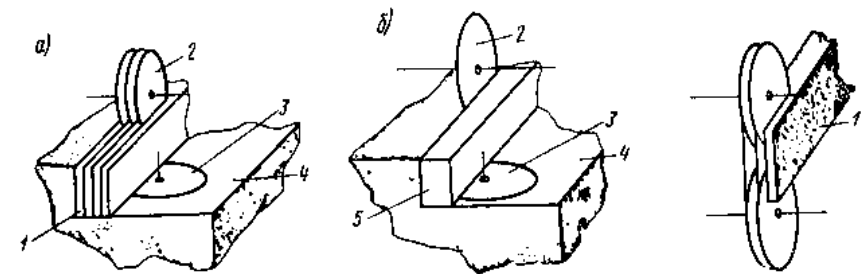


Рис. 1.2. Схема изготовления плит непосредственно из блока:  
а — одностадийная; б — двухстадийная; 1 — плита; 2 — вертикальный диск; 3 — горизонтальный диск; 4 — блок камня; 5 — брусок заготовка

поверхности блеска ее полируют специальными порошками (оксид хрома, оксид железа, порошок пемзы) с помощью дисков, покрытых мягкими тканями — фетром, сукном и т. п. В зависимости от степени обработки камня абразивами получают следующие фактуры: шлифованную, имеющую мелкошероховатую поверхность, лощеную гладкую, бархатисто-матовую с выявленным рисунком камня, зеркальную гладкую с зеркальным блеском. Затраты на фактурную обработку облицовочных изделий составляют 40...45% себестоимости.

● **Обработка природного камня скалыванием** более трудоемка, так как в большинстве случаев требует постоянного участия оператора. Этот способ до последнего времени не удается полностью механизировать, особенно эффективен он для обработки слоистых плохо распиливаемых пород. Колотые плиты в несколько раз толще пиленых. Раскалыванием блоков с последующей дополнительной обработкой поверхности изготавливают облицовочные камни, бортовой камень, брусчатку и др.

Приближенная обработка камня скалыванием производится с помощью клиньев по предварительно ослабленной шпурами ло-



верхности раскола. Точная обработка изделий скалыванием целесообразна только при изготовлении изделий из твердого камня, обработка которого алмазными кругами экономически не оправдана. Обработку осуществляют по шаблону вручную пневмоинструментом или термогазоструйными аппаратами. Гермическое воздействие особенно эффективно при обработке твердых пород. Разрушение камня происходит под действием факела раскаленных газов, которые, соприкасаясь с поверхностью камня, создают тепловой ударный импульс.

Для улучшения декоративных свойств изделий на их поверхности получают соответствующую фактуру специальными пневматическими инструментами (рис. 1.3). Фактуры, получаемые с помощью скалывающих инструментов, характеризуются наличием рельефа; они более выразительны, чем шлифованные.

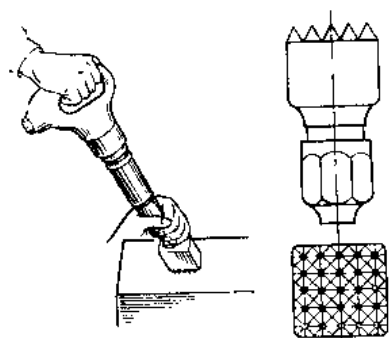


Рис. 1.3 Пневматический инструмент для обработки камня (бухарда)

Готовые изделия при перевозке следует предохранять от загрязнения и повреждений. Блоки для распиливания, крупные стеновые блоки, бортовые камни перевозят на открытых платформах без тары с укладкой правильными рядами на прокладках, предохраняя от повреждений. Облицовочные плиты перевозят закрепленными клиньями в прочной таре в вертикальном положении попарно, лицевыми поверхностями друг к другу, с прокладкой бумаги между ними. Плиты из изверженных пород можно перевозить без тары, установленными на ребро и разделенными деревянными прокладками.

Изготовление штучных камней и изделий, отделка их поверхности сопровождаются образованием большого количества мелких отходов, что удорожает себестоимость выпускаемых изделий. Рекомендуется организовывать их выпуск по комплексной безотходной технологии с переработкой мелких отходов на щебень и песок. Важнейшими направлениями развития камнеобрабатывающей промышленности являются также комплексная механизация работ по добыче, обработке и транспортировке блоков и плит, широкое внедрение высокопроизводительного оборудования с алмазным и твердосплавным инструментом. Крупные высокомеханизированные предприятия, оснащенные новейшим оборудованием с широким использованием алмазных инструментов, позволяют наиболее полно удовлетворять потребность строительства в облицовочных материалах.

#### § 1.4. Номенклатура материалов и изделий из горных пород.

##### Свойства и области их применения

Свойства природных каменных материалов определяют области их применения. Только при правильной оценке качества и свойств материалов могут быть получены долговечные строительные конструкции высокой технико-экономической эффективности. Основными показателями качества природных каменных материалов вне зависимости от способа их получения и вида горной породы являются их прочность при сжатии и морозостойкость.

● Каменные материалы классифицируют: по средней плотности\* — обыкновенные (тяжелые) с плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup> и более, легкие — менее 1800 кг/м<sup>3</sup>; по пределу прочности при сжатии — для обыкновенных М100...1000, а для мелких — М4...200; по морозостойкости — обыкновенные тяжелые F15...500; легкие — 10...25. Для каждого вида природных каменных материалов и изделий конкретные технические требования устанавливаются ГОСТами, СНиПами или ТУ в зависимости от их назначения и условий работы.

● По способу изготовления изделия и материалы из природного камня делят на *пиленные из массива блоки-полуфабрикаты, крупные камни; пиленные из блоков-полуфабрикатов с последующей обработкой* — облицовочные плиты, цельные ступени, подоконные доски и т. п.; *колотые из блоков с последующей обработкой* — плиты и камни тесаные, бортовой камень, брусчатка и т. п.; *грубоколотые*, с направленным раскалыванием блоков без последующей обработки — постелистый камень; *рваные со взрыванием горной породы и отделением мелких фракций* — бутовый камень; *дробленые* — щебень, песок; *молотые* — минеральный порошок, каменная мука.

Изделия из природных каменных материалов, обладающих высокой атмосферостойкостью, прочностью и красивой окраской, широко применяют в строительстве в виде блоков, облицовочных плит и камней для наружных и внутренних стен зданий и сооружений, при строительстве дорог, тротуаров, набережных, стен и других сооружений, к материалам которых предъявляются повышенные требования по прочности, долговечности и декоративности (табл. 1.2). Однако наиболее массовыми видами продукции остаются грубообработанные каменные материалы, называемые также нерудными, в виде бутового камня, гравия, щебня, песка.

● Стеновые камни и блоки из горных пород — довольно распространенный стеновой материал, особенно в районах добычи этих

\* В дальнейшем вместо термина «средняя плотность» используется термин «плотность».

пород. Известняки, доломиты, песчаники и туфы, применяемые для изготовления стеновых камней, должны иметь плотность 900...2200 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 0,4...50 МПа, морозостойкость не ниже F15. Стеновые камни выпускают размерами: 390×190×188 и 490×240×188 мм.

Крупные стеновые блоки изготавливают из горных пород плотностью до 2200 кг/м<sup>3</sup> и с пределом прочности при сжатии 2,5 МПа и выше. Крупные стеновые блоки, предназначенные для механизированной укладки, имеют размеры от 300×800×900 до 3000×1000×500 мм, а массу 0,5...1,5 т.

Таблица 12. Применение природных каменных материалов в строительстве

Назначение	Вид материала и изделия	Рекомендуемые горные породы
Фундаменты	Бутовый камень, камни пиленные и колотые	Все виды
Стены	Стеновые камни, тесаный камень	Известняки, доломит, песчаники, туф вулканический
Облицовка наружная	Облицовочные плиты и камни, профильные элементы	Гранит, габбро, базальт, вулканический туф, кварцит, мрамор
Облицовка внутренняя	Облицовочные плиты, профильные элементы	Мрамор, мраморо-видный известняк, туф, гипсовый камень
Внутренние лестницы и площадки, полы	Ступени, плиты для площадок и полов	Мрамор, гранит
Дорожные покрытия автомобильных дорог	Камни бортовые, брусчатка, камень колотый, щебень, песок, молотый минеральный порошок	Гранит, габбро, базальт, песчаник, известняк плотный
Гидротехнические сооружения	Камни рваные, колотые, тесаные, валуны, щебень	Известняк плотный, доломит, песчаник, гранит, габбро, базальт, диабаз

Развитие производства стеновых камней из природных легких пород — важный резерв покрытия дефицита и экономии искусственных стеновых материалов. Себестоимость 1 м<sup>3</sup> природного стенового камня намного ниже, чем керамического кирпича. В 1,5...2 раза ниже и удельные капитальные вложения на его добычу. Однако эти показатели достигаются только непосредственно в районе добычи природного камня, с повышением радиуса перевозок эффективность его применения резко падает.

● **Облицовочные и архитектурные изделия** (плиты и камни, элементы лестниц и площадок, парапетов и ограждений) изготавливают из горных пород с пределом прочности при сжатии не менее 5 МПа, морозостойкостью не менее F15. Исходные породы не

должны содержать глинистых примесей, а после обработки должны иметь красивый внешний вид и высокую атмосферостойкость. Размеры блоков зависят от вида горной породы. Блоки из туфа имеют объем 0,2...1,0 м<sup>3</sup>, из гранита — 0,5...3 м<sup>3</sup>.

Плиты для наружной облицовки частей зданий, устройства набережных настилов полов изготавливают из высокопрочных пород (гранита, базальта, кварцита и др.), а также из пород средней твердости (известняки, доломиты, песчаники). Для внутренней облицовки стен применяют плиты из мрамора и гипсового камня. Пиленые плиты имеют прямоугольную форму, длину 300...1000 мм, ширину 200...400 и толщину 12...80 мм. Переход на камнеобработку алмазным инструментом позволяет снизить толщину плит до 10 мм. К профильным элементам облицовки стен относятся цокольные плиты и камни для обрамления порталов, пояски карнизов, угловые и подоконные плиты. Их изготавливают из тех же материалов, что и облицовочные плиты, и придают лицевой поверхности самую разнообразную фактуру. Элементы лестниц и площадок, парапеты и ограждения делают из мрамора, известняка, туфа, гранита и других горных пород также с дополнительной обработкой фактуры.

Высокая долговечность облицовок из природного камня обеспечивает незначительный уровень затрат на эксплуатацию — в 5...8 раз меньший, чем при отделке зданий цветными растворами и бетонами, а также силикатными и известковыми красками.

Каменные изделия для дорожного строительства (бортовые камни, брусчатка, колотый камень) получают из изверженных и осадочных горных пород. Используемые изверженные горные породы должны иметь предел прочности при сжатии для глубинных пород не менее 100 МПа, излившихся — не менее 60 МПа, коэффициент размягчения — не менее 0,9, водопоглощение — не более 1,0%, морозостойкость — не менее F25, сопротивление удару — не менее 15 МПа·м и плотность 2300 кг/см<sup>3</sup> и более, а для осадочных горных пород: коэффициент размягчения — не менее 0,75, водопоглощение — не более 4%, морозостойкость — не менее F25, сопротивление удару — 15 кПа·м, плотность — не менее 2100 кг/м<sup>3</sup>.

Бортовые камни, служащие для отделения проезжей части автомобильных дорог от тротуаров, представляют собой брусья (рис. 1.4, а) длиной 70...200 см с наклонной или вертикальной лицевой гранью в поперечном сечении. Верхняя часть бортового камня, выступающая над дорожным покрытием, обтесана чисто, а нижняя часть — грубо. По размерам бортовой камень бывает низкий — 30 см и высокий — 40 см с шириной по верху 10, 15 и 20 см.

Брусчатка — колотые или тесаные бруски (рис. 1.4, б) высотой 10...16 мм, шириной 12...15 и длиной 150...250 мм, близкие по форме к параллелепипеду, с лицевой поверхностью в виде прямоугольника. Предел прочности при сжатии исходной породы дол-

жен составлять не ниже 100 МПа, а водопоглощение — не более 0,6%. Применяют брусчатку при устройстве мостовых, трамвайного полотна и пр.

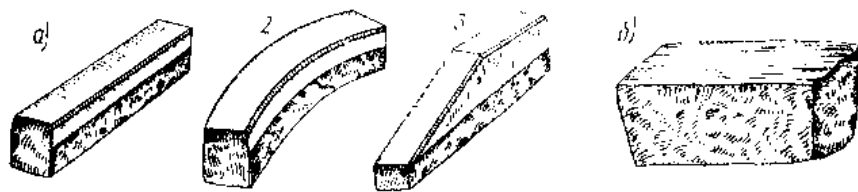


Рис. 1.4. Изделия для дорожного строительства:  
а — бортовой камень. 1 — прямой; 2 — для съездов; 3 — для съездов; б — брусчатка

● **Каменные плиты для подземных сооружений и мостов** изготовляют из изверженных и осадочных горных пород. Для облицовки туннелей и надводных частей мостов используют гранит, диорит, габбро, диабаз, базальт с пределом прочности при сжатии не ниже 100 МПа и морозостойкостью не менее F100. При изготовлении облицовочных плит из плотного известняка или песчаника их прочность должна быть не ниже 60 МПа. Для облицовки подводных частей мостов применяют изделия из гранита, базальта и диабаза с пределом прочности при сжатии не менее 100 МПа и морозостойкостью не менее F100. Размеры и формы плит устанавливают проектом.

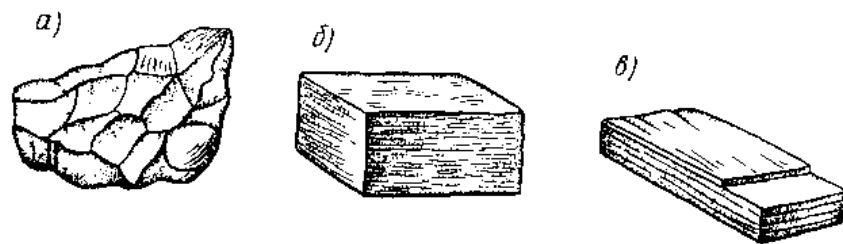


Рис. 1.5. Бутовый камень:  
а — равный; б — постельный, в — лежачий

● **Бутовый камень** (рис. 1.5) имеет неправильную форму с размерами в поперечнике не менее 150 мм и не более 500 мм. В зависимости от вида горной породы марка бутового камня 25...1000 и выше, морозостойкость не ниже F15. Применяют бутовый камень для фундаментов и стен подземных частей зданий, а также стен нежилых и производственных зданий.

● **Щебень** — материал, получаемый в результате дробления твердых горных пород на куски размером 5...70 мм. По дробимости при сжатии (раздавливании в цилиндре) различают семь марок

щебня: 1200, 1000, 800, 600, 400, 300 и 200. Его применяют как заполнитель для бетонов, устройства дорожных покрытий и т. д.  
● **Гравий** — природная смесь зерен размером 5...70 мм, образовавшихся в результате естественного разрушения горных пород. В отличие от щебня зерна гравия имеют окатанную форму и гладкую поверхность. По происхождению различают горный (овражный), речной и морской гравий. Применяют гравий там же, где и щебень.

● **Песок** — рыхлая смесь зерен крупностью 0,14...5 мм и плотностью более 1200 кг/м<sup>3</sup>. При отсутствии природного песка надлежащего качества применяют искусственный песок, получаемый дроблением твердых горных пород. В зависимости от условий образования и способа получения зерна песка могут иметь округлую или остроугольную форму. По минералогическому составу различают кварцевые, полевошпатовые и карбонатные пески. Применяют их для приготовления растворов и бетонов, устройства оснований дорожных покрытий, дренажных сооружений.

### § 1.5. Защита изделий из природного камня

В процессе службы в конструкциях и сооружениях природные каменные материалы подвергаются медленному разрушению. По аналогии с разрушением горных пород земной коры этот процесс называют выветриванием.

Разрушение каменных материалов может быть вызвано растворяющим действием воды. Особенно активно действует на карбонатные породы вода, содержащая углекислоту, сернистые и другие кислотные соединения. Каменные материалы разрушаются также при переменном действии воды и мороза. Замерзание воды в трещинах и порах камня сопровождается появлением больших внутренних напряжений. Если горная порода состоит из нескольких минералов, то разрушение ее при температурных колебаниях происходит вследствие разницы температурных коэффициентов линейного расширения разных минералов.

Горные породы разрушаются также от воздействия органических кислот. Частицы пыли неорганического и органического происхождения, являющиеся бытовыми или промышленными отходами города, оседают на поверхности и в порах камня. При смачивании их водой протекают бактериологические процессы с зарождением микроорганизмов, разрушающих камень за счет образования органических кислот.

Скорость разрушения каменных материалов зависит от их плотности, растворимости и особенностей структуры, выражающихся в наличии микротрещин, микрослонности и присутствия в их составе размокающих и растворимых веществ.

Защита природных каменных материалов от выветривания основывается на изоляции их от действия влаги и может осуще-

ствляться как конструктивными, так и химическими методами. Такие конструктивные меры, как образование хорошего стока воды с поверхности камня, придание камню гладкой поверхности и т. д., достаточно эффективно препятствуют проникновению агрессивных вод в глубь камня.

Из химических мер защиты хорошо себя зарекомендовало так называемое флюатирование. При обработке известняка флюатами (например, кремнефтористым магнием) образуются нерастворимые в воде соли, которые закрывают поры в камне и повышают тем самым его водонепроницаемость и атмосферостойкость.

Стойкость каменных материалов против выветривания повышается при их гидрофобизации, т. е. пропитке гидрофобными (водоотталкивающими) составами. С этой целью используют, в частности, кремнийорганические соединения (метилсиликонат натрия, этилсиликонат натрия), водный раствор мочевиноформальдегидной смолы и др. Хорошие результаты дает покрытие каменных материалов полимерами, их водными растворами и эмульсиями.

## § 1.6. Добыча нерудных строительных материалов

Добыча и транспортировка нерудных строительных материалов — важнейшие технологические переделы производства. В каждом отдельном случае способ добычи сырья должен быть тщательно обоснован, так как от правильного его выбора зависят затраты и на последующие технологические операции.

Выбору способа добычи предшествует анализ химического состава сырья и его физических свойств: влагоемкости породы, водонепроницаемости, плотности, предела прочности при сжатии и ударе и др. Изучая условия залегания сырья, определяют мощность вскрытия, чередование и размер пластов, угол наклона пластов, уровень грунтовых вод и т. п.

Добыча сырья для производства нерудных материалов производится открытым способом, непосредственно с земной поверхности. В зависимости от свойств разрабатываемых пород, объема вскрыши и других факторов принимают систему разработки месторождения, под которой понимают определенный порядок выполнения комплекса подготовительных, вскрышных, добычных, транспортирующих и других работ, обеспечивающих заданные производительность, экономичность, рациональное использование сырья при безопасных условиях работы.

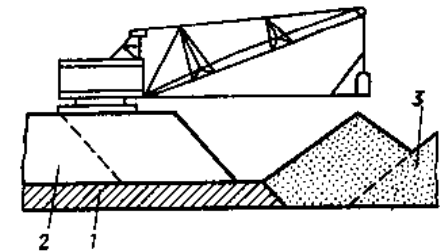
● **Вскрышные работы** входят в комплекс горнодобывающих работ. Обычно это удаление пустой породы, закрывающей горную породу. Вскрышные работы проводят с опережением по отношению к работам по добыче сырья. Выбор системы вскрышных работ определяется рядом факторов, к которым относятся мощность

залежи, характер ее залегания, мощность вскрышных пород, рельеф местности и т. д.

По объему перемещаемых масс вскрышные работы составляют одну из крупных расходных статей карьерного хозяйства. Конечная стоимость сырья в значительной мере обуславливается затратами на вскрышные работы. Их осуществляют бульдозерами, экскаваторами, скреперами или гидромеханическим способом — путем размывания породы струей воды, подаваемой под давлением.

Бульдозеры используют на небольших карьерах, где вскрыша представлена мягкими породами мощностью до 0,5 м при дальности перемещения не более 80...100 м.

Рис. 16. Бестранспортная схема вскрышных работ драглайном:  
1 — разрабатываемая горная порода; 2 — пустая порода (вскрыша); 3 — отвал



Строительные экскаваторы с емкостью ковша 0,5...2 м<sup>3</sup> применяют для вскрышных работ на бутощебеночных карьерах. Добываемые породы транспортируют во внутренние или внешние отвалы самосвалами грузоподъемностью 5...25 т. Такая схема позволяет использовать для вскрышных работ то же оборудование, что и для добычи сырья.

Скреперы рекомендуются для разработки вскрыши на песчаных и песчано-гравийных карьерах, что позволяет по сравнению с транспортной схемой (экскаватор — автотранспорт) снизить их стоимость и повысить производительность труда.

При разработке вскрыши большой мощности (15...20 м и более) наиболее эффективны бестранспортная и отвально-транспортная системы, когда выемку и перемещение вскрышных пород в отвал производят роторными и шагающими экскаваторами, драглайнами, работающими самостоятельно либо в комплексе с консольными отвалообразователями, транспортно-отвальными мостами.

Схема вскрышных работ драглайном с перевалкой вскрыши в выработанное пространство карьера представлена на рис. 1.6. Если один экскаватор не может перемещать вскрышу непосредственно в отвал, возможна кратная перевалка, при которой один экскаватор перемещает породу в промежуточный, а другой — в постоянный отвал. На значительные расстояния (до 1 км) возможно перемещение вскрышных пород при использовании передвижных конвейеров.



В определенных условиях заслуживает серьезного внимания гидромеханизированная разработка вскрышных пород, обеспечивающая благоприятные условия для комплексной механизации и автоматизации.

● Добычу нерудных материалов производят одним или несколькими уступами (рис. 1.7). Высоту уступа задают исходя из физико-механических свойств разрабатываемых пород, применяемого оборудования, горно-технических и климатических условий. Она составляет для твердых пород 10...15 м, а для мягких 8...10 м. Для скальных пород, разрабатываемых с помощью взрывов, высота уступа не должна превышать 20 м.

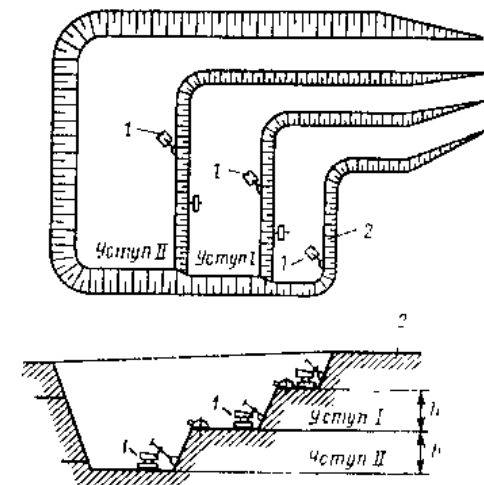


Рис. 1.7. Карьер:  
1 — экскаваторы, 2 — вскрыша

Рыхлые породы (песок, гравийно-песчаные смеси) разрабатывают прямой экскавацией. На каждом уступе карьера имеется один или несколько забоев. Забой — это рабочая площадка добывающего механизма, часть поверхности уступа, на которой разрабатывают породу.

Расположение забоев на уступе может быть различным в зависимости от применяемого оборудования и условий разработки. Чаще используют торцовый забой с боковой погрузкой. При этом угол поворота ковша экскаватора не превышает 90°. В таком забое удобно подавать транспорт под погрузку. Ширина торцового уступа при работе экскаватора с прямой механической лопатой составляет 1...1,5 максимального радиуса резания экскаватора, высота равна максимальному вылету ковша.

В карьерах нерудных материалов обычно используют строительные гусеничные экскаваторы с ковшом 0,5...2,5 м<sup>3</sup>, на крупных карьерах — экскаваторы с ковшами до 4...6 м<sup>3</sup>. Хорошие перспективы для повышения производительности и комплексной механизации выемочно-погрузочных работ создаются при использовании машин непрерывного действия, например роторных экскаваторов производительностью до 1000 м<sup>3</sup>/ч. Однако они рассчитаны в основном для разработки мягких пород.

Песчаные и песчано-гравийные месторождения, особенно обводненные, разрабатывают драглайнами, позволяющими более полно извлекать нерудные материалы и производить подводную добычу.

Для разработки скальных и в особенности полускальных пород (известняков, песчаников, сланцев) возможно применение тракторных рыхлителей с тяговым усилием до 100 т и с давлением на каждый зуб рыхлителя 30...40 т. При рыхлении трещиноватые породы разрушаются в первую очередь по трещинам. Глубина рыхления в зависимости от вида породы составляет 0,3...0,7 м. Работа экскаватора при такой высоте разрыхленного слоя неэффективна и поэтому желательнее предварительно сгребать разрыхленную породу бульдозерами в навалы. Эффективность работы рыхлителей зависит от структуры, прочности и трещиноватости породы. Применение рыхлителей снижает стоимость добычных работ на 15...20%. Особенно они эффективны при работе на мало-мощных пластах. В этом случае механическое рыхление в 2...5 раз дешевле рыхления взрывом.

Разработку твердых и плотных горных пород производят, как правило, с применением буровзрывных работ, которые обеспечивают отделение породы от горного массива, так и дробление негабаритных кусков. Необходимо при этом подчеркнуть, что буровзрывной метод рыхления применим в тех случаях, когда показана недостаточная эффективность рыхления механического и гидравлического. Чем ближе размер добываемых кусков к заданной степени измельчения, тем лучше используется добывающее оборудование. Взрывчатые вещества (аммонит, аммиачную селитру, аммонал и др.) размещают в шпурах (диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м) или скважинах (диаметром до 300 мм и глубиной более 5 м), располагаемых в определенном порядке вдоль фронта уступа. Бурение шпуров и скважин осуществляют буровыми машинами ударно-канатного или вращательного бурения.

В последние годы внедряются новые способы бурения скважин, в частности огневой, при котором скважину прожигают газовой струей (смесь керосина с кислородом) с температурой порядка 3000 °С, выбрасываемой из горелки со скоростью до 2000 м/с.

Диаметр и расстояние скважин друг от друга устанавливают в зависимости от свойств разрабатываемой породы, заданных размеров кусков и др. Для легкодробящихся трещиноватых пород рекомендуется повышенный диаметр скважин и соответственно большая масса зарядов, размещаемых на значительных расстояниях друг от друга. В трудновзрываемых монолитных породах делают скважины меньшего диаметра, но размещают их ближе друг к другу. Глубина скважин, как правило, на 10...15% должна превышать высоту уступа.

После взрыва часть кусков взорванной породы может превосходить размеры кондиционных фракций. Для дробления негабаритных кусков применяют метод накладных зарядов, который заключается в том, что заряд помещается на поверхность взрываемой породы, покрывается забойкой и взрывается. Иногда для

дробления негабарита используют и механические способы, например с помощью перфораторов. Взорванная порода грузится на транспортные средства экскаваторами.

● **Карьерный транспорт** необходим как для перемещения вскрышных пород в отвалы, так и для доставки добытой породы с карьера на завод. Наибольшее распространение в карьерах получил *автомобильный транспорт*, который перевозит около 90% добываемых нерудных материалов. Эффективность использования его зависит от правильности выбора соотношения емкости ковша экскаватора и грузоподъемности самосвалов. Для экскаваторов типа «прямая лопата» рекомендуется соотношение емкости ковша и кузова автомашины 1:3. Необходимо ориентироваться на использование автомобилей большой грузоподъемности, а также прицепов и полуприцепов, повышающих экономичность эксплуатации автотранспорта.

*Конвейерный транспорт* хотя и связан с большими капитальными затратами, но более дешев в эксплуатации, более производителен, обеспечивает поточность процесса транспортировки, что создает благоприятные предпосылки для его автоматизации. Распространение этого способа транспорта сдерживается некоторыми его недостатками: необходимостью предварительного дробления материалов, высоким износом ленты, зависимостью качества доставляемого продукта от климатических и метеоусловий. В зависимости от расположения поддерживающих роликов транспортерные ленты бывают плоские и лотковые. Последние обеспечивают большую загрузку материала на 1 м ленты и повышение производительности транспортера в 2 раза. Ширина транспортерных лент 300...2000 мм, скорость движения 2...3 м/с. При перемещении материалов на большое расстояние применяют транспортерные установки из отдельных секций длиной 50...200 м. Ленточные конвейеры позволяют перемещать материал под углом 18° к горизонту. При большем подъеме ленты должны иметь поперечные выступы.

Ленточные конвейеры могут быть стационарными или периодически передвижными за добывающим механизмом. Последним должно быть отдано предпочтение, поскольку они дают возможность подавать породу в приемный бункер непосредственно экскаватором. При стационарных транспортерах породу из забоя к приемным бункерам конвейерной линии приходится доставлять автосамосвалами.

*Железнодорожный транспорт* используют в основном для транспортировки потребителю готового продукта, а также при расстоянии карьера от завода более 8 км, значительных объемах добываемого сырья и надлежащем рельефе местности.

На большинстве действующих карьеров действуют технологические схемы с использованием *горно-транспортного оборудования циклического действия: экскаваторов, скреперов, автосамосва-*

*лов.* При работе такого оборудования значительная часть рабочего времени расходуется на вспомогательные операции. Процессы выемочно-погрузочных работ и доставки трудно автоматизировать. Основой их автоматизации является применение конвейерного транспорта. Технологические схемы, сочетающие применение циклического горно-транспортного оборудования с конвейерами, относятся к циклично-поточным. По мере организации на действующих карьерах узлов первичной переработки горной массы такие схемы все шире внедряются в практику. Их применение тем эффективнее, чем больше доля конвейеров в общей протяженности транспортировки горной массы и чем шире объем работ. Еще более эффективными являются поточно-циклические схемы с полной конвейеризацией транспорта от забоя до завода и организацией дробления непосредственно в забое (рис. 1.8). И наконец, поточность всего цикла выемочно-погрузочных и транспортных работ достигается при поточных технологических схемах. В настоящее время они применяются только при разработке рыхлых пород с использованием выпускаемых промышленностью механизмов и комплексов непрерывного действия (ротаторный экскаватор, самоходный бункер-питатель, комплекс конвейеров, отвалообразователь).

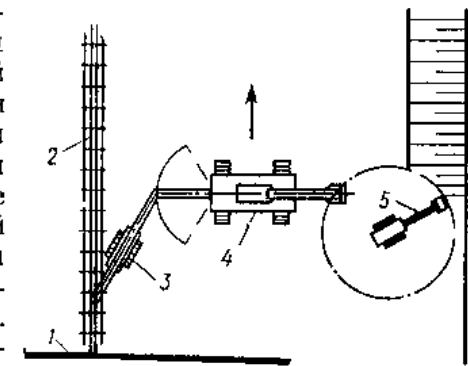


Рис. 1.8. Поточно-циклическая технологическая схема горно-транспортных работ:

1 — стационарный конвейер; 2 — передвижной конвейер; 3 — передвижной отвальный конвейер с ленточными весми; 4 — передвижная дробилка; 5 — экскаватор

Сравнительная эффективность технологических схем с разной степенью поточности представлена в табл. 1.3.

● **Гидромеханизованная добыча** обеспечивает комплексное и непрерывное выполнение операций по разработке и транспортированию материалов. Она используется как для вскрышных работ, так и при добыче рыхлых нерудных материалов. Сущность способа состоит в том, что разрабатываемая порода отделяется от массива, рыхлится и транспортируется динамическим действием воды, подаваемой к забоя гидромониторами со скоростью до 90 м/с под напором до 1,1 МПа. Вода размывает породу и образует пульпу, которая самотеком по канавам, лоткам или под напором по трубопроводам перемещается в отвал (вскрышные породы) или к перерабатывающей установке (нерудные материалы). Песчано-гравийную пульпу можно подавать и непосредственно на эстакадный склад. Песок и гравий остаются на складе, а вода через отстойные пруды поступает в водонсточник.

Суженный конец гидромонитора снабжен насадкой диаметром 100...150 мм. Насадка делает струю воды сильной и сжатой. Гидромонитор может поворачиваться вокруг вертикальной оси на 360° и на некоторый угол отклоняется от горизонтальной плоско-

Таблица 1.3 Экономическая эффективность внедрения циклично-поточных и поточных технологических схем разработки скальных пород

Расчетные показатели	Технологическая схема		
	Себестоимость горной массы, %	Производительность труда, %	Уровень точности, %
Цикличная	100	100	0
Циклично-поточная с узлом первичного дробления в карьере	91	108	25..30
Поточно-цикличная с самоходным дробильным агрегатом в забое	85	146	40..45
Поточная	58	238	100

сти. Это дает возможность регулировать направление струи. Фронт работ на один монитор в рыхлых породах в среднем 25...30 м. По мере разработки забоя мониторы перемещаются.

Возможны два варианта размещения мониторов в забое — на его подошве (*встречный забой*) и наверху (*попутный забой*).

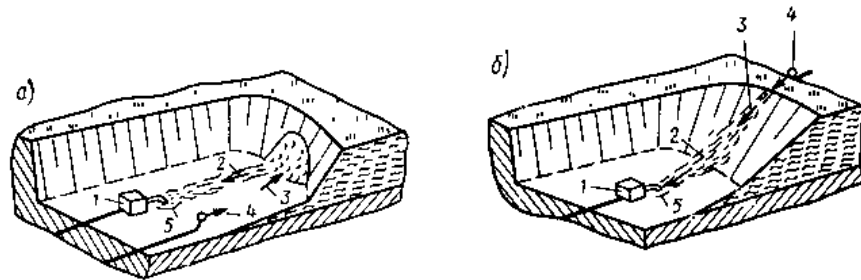


Рис. 1.9. Добыча нерудных материалов гидромониторами: а — встречным забоем, б — попутным забоем; 1 — землесосная станция, 2 — пульповодная канавка, 3 — забой; 4 — гидромонитор; 5 — приемное устройство насосной станции

Первый вариант более производителен, так как позволяет создать вруб по подошве и вызвать тем самым обвал породы (рис. 1.9, а). Это особенно важно, так как высота уступа достигает 20...25 м. Чем больше рыхлость добываемых пород, тем она выше.

Полученную пульпу транспортируют передвижными и самоходными землесосными установками, основой которых являются

центробежные насосы с усиленными конструкциями корпуса и рабочего класса. Во избежание попадания крупных камней землесосы оборудуют камнеуловителями.

По сравнению с сухим способом добычи нерудных материалов гидромеханизация позволяет снизить удельные капитальные вложения примерно на 20...25%, себестоимость — не менее чем на 30...40% и сократить сроки строительства на 20...30%. Значительное снижение себестоимости продукции на гидромеханизированных предприятиях объясняется непрерывностью технологического процесса, сокращением численности обслуживающего персонала, попутной, без затрат промывкой песка и сниженным амортизационных отчислений вследствие меньших удельных капитальных вложений.

Одним из вариантов гидромеханизации является разработка обводненных месторождений *плавающими снарядами* (землесосными, черпаковыми, грейферными), когда использование сухих способов добычи пород невозможно. Обычные землесосные снаряды, выпускаемые серийно для гидротехнического строительства, позволяют разрабатывать песчано-гравийные месторождения на глубине 15...18 м. При 10%-ной концентрации пульпы их производительность достигает 1000 м³/ч.

Если разрабатываемая порода содержит крупные куски, валуны, то землесосы использоваться не могут во избежание их поломки или засорения. Разработка таких месторождений должна производиться черпаковыми и грейферными снарядами.

### § 1.7. Переработка нерудных строительных материалов

Основная масса нерудных материалов употребляется в качестве заполнителя для бетона и железобетона в виде гравия, щебня и песка. В связи с интенсивным развитием промышленности сборного железобетона производство нерудных материалов также развивалось быстрыми темпами и ныне организовано во всех экономических районах страны. Качественные показатели на различные виды нерудных материалов регламентируются действующими государственными стандартами.

Поскольку нерудные материалы, поступающие с карьеров, по крупности, зерновому составу, количеству примесей обычно непригодны для непосредственного использования, необходима их переработка, включающая операции по дроблению, фракционированию, выработке мелких фракций, мойке и обогащению. Хотя капитальные затраты на дополнительную обработку щебня и гравия весьма значительны, экономически они оправданы. Только каждый процент запыленности заполнителей вызывает рост расхода цемента на 1...1,5%. Дополнительный перерасход цемента обусловлен также недостатками гранулометрического состава заполнителей. В то же время выпуск фракционированных заполни-

телей позволяет снизить расход цемента в бетоне примерно на 13...15% и повысить качество изделий. Выбор наиболее экономичных вариантов переработки нерудных материалов особенно важен, потому что вследствие недостаточного уровня механизации производственных процессов и низкого коэффициента извлечения полезного продукта из горной массы затраты на производство заполнителей очень высоки и составляют около 20% себестоимости железобетонных изделий.

Необходимо учитывать, что переработка нерудных материалов лишь одно из звеньев единого технологического процесса, включающего добычу, транспортировку и переработку. Так, в структуре себестоимости щебня 44% составляют затраты горного цеха (вскрыша, буровзрывные работы и экскавация), 21% — транспортного и только 35% приходится непосредственно на само изготовление щебня (дробление и сортировку).

Степень необходимой дополнительной переработки нерудных материалов зависит от качества проведения горно-транспортных работ в карьерах. Неполное удаление вскрыши влечет за собой загрязнение поступающего с карьера сырья. Неточный расчет буровых зарядов приводит к образованию крупных кусков и осложняет процессы дробления. Напротив, применение гидромеханизации повышает чистоту сырья и облегчает условия его переработки.

В зависимости от требований к выпускаемой продукции, а также вида и качества исходного сырья производят следующие виды его переработки: 1) дробление горных пород; 2) грохочение (просеивание) и классификацию для разделения продукта дробления на заданные фракции; 3) промывку от глинистых и илистых загрязнений; 4) обезвоживание для снижения избыточной влажности материала после промывки и предотвращения его смерзаемости в зимнее время; 5) обогащение для повышения качества и однородности материалов; 6) складирование готовой продукции без ухудшения ее качества.

● **Дробление** — измельчение горных пород до получения требуемых по крупности и гранулометрии фракций щебня и песка. При использовании в карьерах мощного горно-транспортного оборудования поступающие на переработку нерудные материалы могут иметь размеры до 1200...1500 мм. Крупность щебня для заводов сборного железобетона должна быть 5...40 мм. Причем в производстве сборных железобетонных конструкций опережающими темпами растет выпуск спецжелезобетона, для изготовления которого требуются заполнители мелких фракций.

Большие объемы сырья, перерабатываемого в промышленно-сти нерудных материалов, обуславливают необходимость установки мощного дробильного оборудования. Эффективность его работы характеризуется степенью измельчения материалов, т. е. отношением диаметра крупных кусков, поступающих на дробление, к

диаметру наиболее крупных кусков, прошедших дробление. С увеличением степени измельчения возрастают работа и расход энергии на измельчение. Существующие конструкции дробилок не могут обеспечить высокой степени измельчения твердого кускового материала при однократном прохождении через нее, поэтому применяют двух- или трехступенчатые схемы дробления.

Используемое для дробления нерудных материалов оборудование различают по способу измельчения материалов: на раздавливающее с периодическим нажатием дробящих поверхностей — *дробилки щековые и конусные*; раздавливающее с непрерывным нажатием дробящих поверхностей — *дробилки валковые*; ударного действия — *дробилки молотковые и роторные* (рис. 1.10).

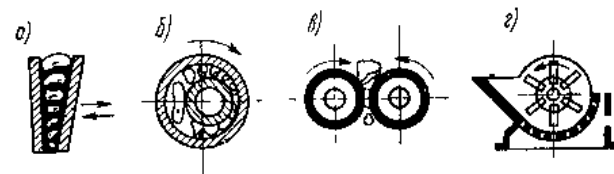


Рис 1.10. Кинематические схемы дробилок:  
а — щековой; б — конусной; в — валковой; г — молотковой

Гранулометрический состав получаемого продукта зависит от вида перерабатываемой породы, соотношения размеров кусков в исходном материале, установленной ширины разгрузочного отверстия. Выбор конкретной схемы дробления и типа дробильного оборудования производят с учетом свойств исходного сырья, условий обеспечения максимального выхода качественного по гранулометрическому составу и форме заполнителя. Наибольший размер кусков, поступающих в дробилку, не должен превышать 0,8...0,85 ширины приемного отверстия.

*Щековые дробилки* со степенью измельчения 5...6 используют для крупного и реже среднего дробления пород высокой и средней прочности. Щековые дробилки перерабатывают куски размером до 700—1200 мм. Они отличаются простотой, надежностью, возможностью переработки влажных материалов.

*Конусные дробилки* со степенью измельчения 5...10 получили наибольшее распространение для крупного, среднего и мелкого дробления. Они сложнее, требуют больших капитальных затрат, но благодаря кольцевой форме дробящего пространства по сравнению со щековыми тех же размеров отличаются большей производительностью (до 2400 т/ч). При крупном дроблении, принимая куски размером до 1500 мм, они заменяют 2...3 щековые дробилки.

*Дробилки ударного действия* (молотковые и роторные) нашли преимущественное применение на второй и третьей стадиях измельчения. Эти дробилки отличаются высокой степенью измельчения (до 20), небольшой массой и габаритами, простотой кон-



струкции и обслуживания. Их недостаток — быстрый износ рабочих поверхностей при измельчении прочных абразивных пород (гранит, базальт и др.).

*Ударно-отражательные дробилки* характеризуются большой мощностью и очень перспективны. Они имеют минимальное количество изнашивающихся частей и меньший расход энергии. Дробилки принимают камень размером до 1000 мм и измельчают его до 20 мм (степень измельчения 40...50). Это позволяет перейти от трехступенчатого дробления к двухступенчатому.

Наиболее типичной при переработке прочных пород является трехстадийная схема дробления, позволяющая выпускать как крупные, так и мелкие фракции щебня. При двухстадийном дроблении выход мелких фракций обычно недостаточен.

Эффективность работы дробильных агрегатов повышается при многоступенчатом дроблении с применением классификаторов, например виброгрохотов (рис. 1.11). Предварительное дробление позволяет отделить материал, который может быть направлен сразу на следующую стадию. В результате на каждой последующей стадии дробления используются агрегаты меньшей производительности, снижается расход энергии и повышается однородность дробленого продукта. Чем меньше размеры зерен материала и больше его однородность, тем лучше показатели работы дробильных агрегатов.

Однако установка виброгрохотов усложняет схему, снижает коэффициент использования, так как сетка на грохоте требует частой замены.

Дробление нерудных материалов, как правило, производят в стационарных установках на заводе. Однако в последнее время все шире стали применять передвижные дробильные установки. Улучшение конструкции шасси и ходовой части позволило исполь-

зовать в передвижных дробильных установках крупное технологическое оборудование с широким диапазоном размеров приемных отверстий, позволяющее перерабатывать породу, добываемую в карьере взрывным способом.

Агрегаты с крупной дробилкой первичного дробления устанавливают непосредственно в забое карьера, благодаря чему устраняется необходимость в транспортных средствах для перевозки породы. При проведении в карьере взрывов агрегат первичного дробления из забоя удаляют. Для переработки прочных пород на первичном агрегате устанавливают щековые дробилки. Материал подают на агрегат конвейером, пластинчатым или вибрационным питателем. Длинный пластинчатый питатель сам является передвижным агрегатом и позволяет проводить загрузку самосвалом или погрузчиком на уровне земли. Короткий пластинчатый или вибрационный питатели устанавливают на агрегате первичного дробления. Для их загрузки используют экскаватор.

● **Классификация** — важнейшая технологическая операция, обеспечивающая разделение материала до заданных размеров. Грохочение — простейший вариант классификации. На современных гравий-сортировочных заводах затраты на грохочение составляют до 30% общих затрат. Предварительным грохочением из материала выделяют мелкие фракции, не нуждающиеся в измельчении на данной стадии. Его применяют для повышения пропускной способности дробилок, разделения природных песчано-гравийных смесей, отделения горной породы от посторонних примесей. Контрольное грохочение — отделение негабаритных кусков для возврата их на дробление. Это способствует выпуску продукта заданной granulометрии и улучшению формы щебня. Окончательное грохочение — получение фракционированного заполнителя, т. е. сортировка дробленого материала или гравийной смеси на заданные фракции.

Наиболее широкое применение на предприятиях нерудных строительных материалов нашли плоские *виброгрохоты*. Качество грохочения оценивают его эффективностью и производительностью грохота. Эффективность грохочения — отношение массы нижнего класса продукта, прошедшего через сито, к массе того же по крупности класса в исходном материале. Производительность грохота характеризуется количеством продукта (т/ч), снимаемого с 1 м<sup>2</sup> поверхности сита. Оба показателя зависят от granulометрии просеиваемого материала, содержания в нем нижнего отделяемого класса, влажности, способа грохочения и т. д. Легко отделяются только зерна, размер которых в 1,5...2 раза меньше отверстия сита. Грохочение осложняется при наличии в материале зерен лещадной и игольчатой форм с повышением влажности и содержания глинистых примесей. Для влажных материалов эффективнее мокрое грохочение, при котором мате-

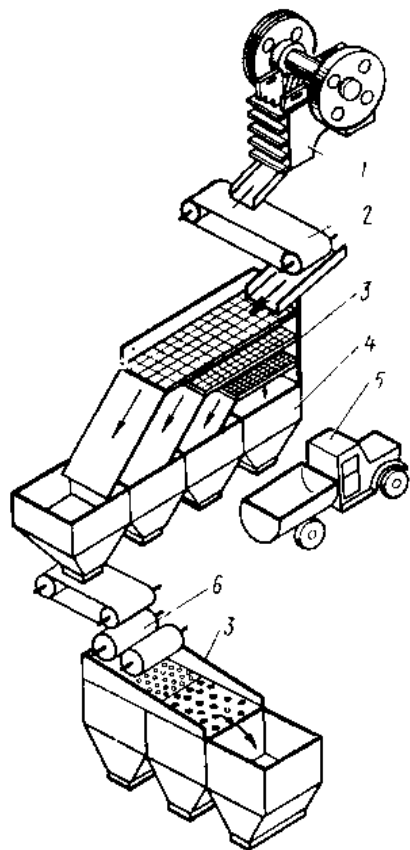


Рис. 1.11 Схема двухступенчатого дробления:

- 1 — щековая дробилка, 2 — транспортер,
- 3 — грохот, 4 — бункер, 5 — автосамосвал,
- 6 — валковая дробилка

риал промывают водой. Оно протекает в 1,5...2 раза быстрее сухого и дает продукт более высокого качества.

Эффективность работы виброгрохотов достигает 95...98% и зависит от их конструкции и свойств просеиваемого материала. Как правило, на грохотах устанавливают 1...2 проволочных сита с квадратными или прямоугольными отверстиями. Для предварительного грохочения исходной горной породы используют наклонные колосниковые грохоты — неподвижные или подвижные (инерционные). Их эффективность сравнительно невысока (50...85%), но они надежны в тяжелых условиях эксплуатации.

В зависимости от цели грохочения возможны различные схемы сортировки: от крупного к мелкому, от мелкого к крупному и смешанная. В первом случае сита расположены в порядке уменьшения размеров отверстий. В этом случае меньше износ сит, выше эффективность грохочения, но установка очень громоздка. Схема грохочения от мелкого к крупному компактна, но производительность снижается и быстрее изнашиваются сита. Рекомендуются к использованию комбинированные схемы сортировки, когда сита расположены частично от крупного к мелкому и наоборот.

Для получения продукта повышенной чистоты желательно окончательное грохочение совмещать с промывкой, проводя его в барабанных грохотах. Они позволяют получать одновременно 2...5 фракций при эффективности грохочения 50...80%.

После дробления и грохочения в материале остаются загрязняющие примеси — глина, ил и др., ухудшающие качество заполнителей.

● **Промывка** заполнителей бетона — важнейшее условие получения высококачественной продукции. Из года в год в стране растет доля выпуска промытых заполнителей бетона. При промывке глинистые породы под воздействием воды и соответствующих устройств разрушаются и образующийся шлам отделяется от полезного продукта.

Эффективность промывки зависит от физических свойств глины, крупности комков, расхода и температуры воды, времени промывки и содержания в исходном продукте пылевидных и глинистых частиц. С повышением температуры с 7 до 20°C эффективность размываемости комков возрастает почти в 2 раза. Эффективность промывки также повышается при увеличении расхода воды и времени промывки и снижается при росте размеров комков глины.

Промывка нерудных строительных материалов осуществляется с помощью оборудования трех видов: 1) машин, в которых материал механически перемешивается в водной среде, в результате чего глина диспергируется и переходит в водную суспензию; 2) аппаратов и устройств, в которых разрушение глины происходит высоконапорной струей воды; 3) аппаратов и машин, в кото-

рых диспергация глины осуществляется за счет ультразвуковых и звуковых колебаний, электрогидравлического эффекта, электрофореза, самодиспергации. Промышленное применение нашли первые две группы машин. Третья находится пока в стадии научных и конструктивных разработок.

Наибольшее распространение для промывки нерудных строительных материалов получили *наклонные лопастные двухвальные корытные мойки*. Крупность промываемого материала в этих машинах обычно составляет для среднепромывистых материалов не более 40 мм, для труднопромывистых — не более 20 мм. При более крупных материалах, как правило, требуется двукратная последовательность промывки.

Широко используются также *барабанные промывочные машины*, промывка в которых ведется путем перетирания глины кусками промываемого материала при вращении барабана, ударов кусков о стенки, а также за счет перерезания крупнокусковых включений глины лопастями, расположенными на внутренней поверхности барабана. В зависимости от направления движения отработанной воды со шламами различают противоточные и прямоточные барабанные промывочные машины (рис. 112). С технологической точки зрения противоточные более эффективны, так как выдают освобожденный от шламов материал, не требующий дополнительного ополаскивания. В таких машинах может промываться материал различной степени промывистости крупностью до 350 мм.

В последнее время получили распространение *вибрационные промывочные машины*, в которых эффект промывки определяется комбинированным воздействием взаимного трения кусков обрабатываемого материала, находящегося в непрерывном циркуляционном движении в вибрирующем коробе мойки, и взаимных соударений кусков между собой и о стенки короба. Вибрацион-

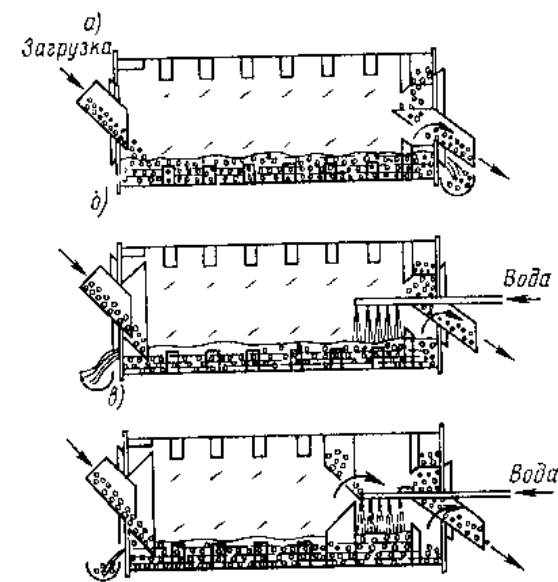


Рис. 112. Принципиальные схемы работы промывочных барабанов.  
а — прямоточного барабана; б — противоточного барабана. а — противоточного барабана с внутренней лопастью

ные мойки потребляют относительно мало энергии и воды и имеют наилучшие удельные показатели по сравнению с другими видами промывочных машин. Виброкаскадный промывочный грохот (рис. 1.13) предназначен для промывки нерудных материалов крупностью до 100 мм при содержании глины до 10%. Интенсивное встряхивание материала и падение его со ступени на ступень при воздействии струи воды способствуют более интенсивному разрушению глины, чем в плоских вибрационных грохотах.

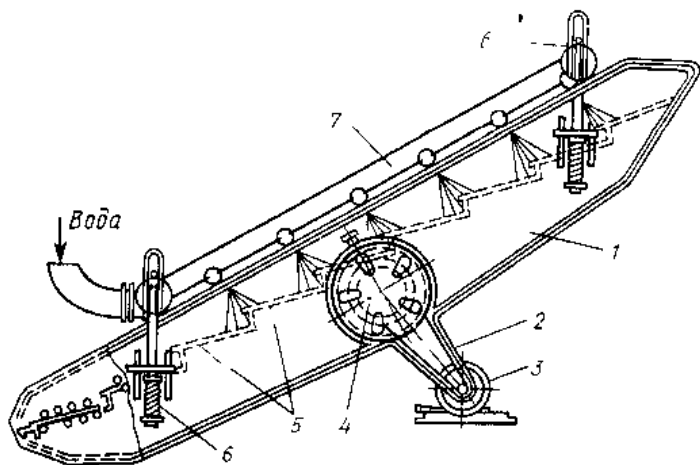


Рис. 1.13 Виброкаскадный промывочный грохот:  
1 — корпус грохота; 2 — клиноременная передача; 3 — электродвигатель; 4 — вибратор; 5 — сита; 6 — подвесное устройство; 7 — труба для подвода воды

По сравнению со всеми другими известными конструкциями вибрационные промывочные машины менее металлоемки и энергоемки, требуют меньших производственных площадей, обладают высокой эффективностью промывки.

● **Гидравлическая классификация** основана на использовании разницы оседания разновеликих частиц в воде. Это более точный классификационный способ. Он используется для отделения песка из гравийно-песчаной смеси, разделения песка на фракции и очистки его от загрязняющих примесей. По принципу действия различают гидравлические классификаторы *гравитационные* и *центробежные*, в которых классификация осуществляется соответственно за счет сил тяжести или центробежных.

Из гравитационных наиболее совершенны *вертикальные классификаторы с восходящей струей*. Классификация осуществляется в две стадии. Сначала пульпа разделяется в обогатительной камере (рис. 1.14) и основная часть мелких частиц выносятся в слив. Оседающие крупные зерна песка поступают в классификационную камеру, где происходит окончательное разделение гид-

росмеси. Частицы крупнее заданного размера оседают к разгрузочному устройству, а мелкие восходящим потоком выносятся в слив. Классификатор прост по конструкции, малочувствителен к составу гидросмеси и стабильности ее подачи, обеспечивает эффективность разделения песка на 60...90%. Недостаток этого типа классификаторов — ограниченное число фракций (2) и необходимость дальнейшего обогащения мелкой фракции, так как в ней остаются глинистые и другие примеси.

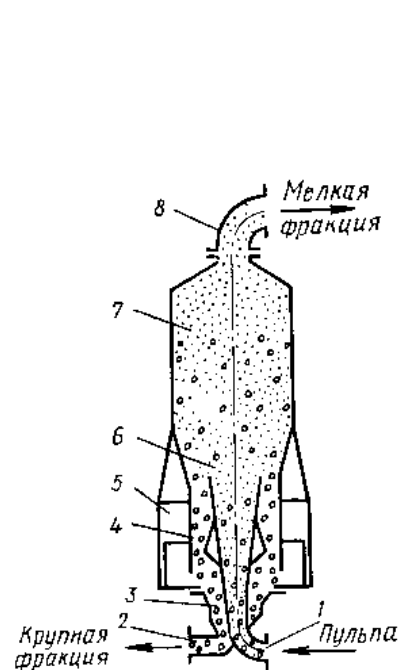


Рис. 1.14. Гидравлический классификатор с восходящей струей воды.  
1 — питающий патрубок; 2 — разгрузочный патрубок; 3 — сборник крупной фракции; 4 — классификационная камера; 5 — водный коллектор; 6 — диффузор; 7 — обогатительная камера; 8 — сливная труба

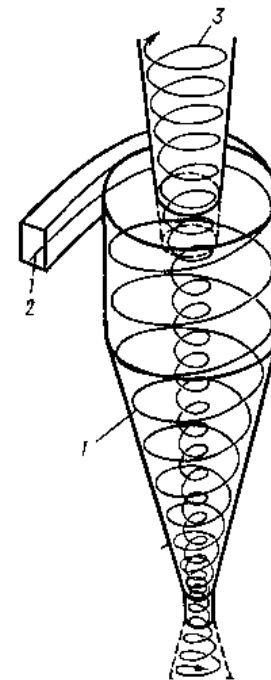


Рис. 1.15. Схема движения гидросмеси в гидроциклоне:  
1 — выходящий поток из крупных частиц, движущийся вниз; 2 — входной патрубок; 3 — выходящий поток из мелких частиц, движущийся вверх

Разделение песка на несколько фракций ведут в *многокамерных* (ящичных) классификаторах, представляющих собой желоб, расширяющийся в направлении слива. Желоб разделен перегородками на несколько камер, в которых из горизонтального потока пульпы оседают зерна породы: крупные — в ближних камерах, мелкие — в дальних.

Центробежные классификаторы (гидроциклоны, центрифуги) используют для выделения из песка и разделения мелких зерен

крупностью до 0,15...0,3 мм, поскольку силы гравитации недостаточны для быстрого их осаждения.

**Гидроциклон** (рис. 115) состоит из круглого питающего короба с патрубком для подачи шлама, установленным тангенциально поверхности короба. Под коробом размещается конус, а сверху — переливной круглый короб с патрубком, также тангенциальным к поверхности короба, через который удаляется готовый шлам. Благодаря тангенциальному поступлению шлама в гидроциклон его струя образует завихряющийся вихрь, из которого под влиянием центробежной силы отбрасываются крупные частицы материала. Эти частицы по внутренней поверхности скатываются вниз в кожух. Мелкие частицы остаются в центре вращающегося потока, поднимаются вверх и выносятся в сливной патрубок. Гидроциклоны просты по конструкции, высокопроизводительны, легко автоматизируются.

В **центрифугах** в отличие от гидроциклонов вращение гидросмеси осуществляется специальными рабочими органами. Более высокая интенсивность вращения позволяет отделять из гидросмеси особо мелкие частицы (0,05...0,001 мм).

● **Обезвоживание** необходимо после мокрой переработки нерудных материалов для уменьшения их влажности и избежания смерзания в зимнее время. Особенно важно обезвоживание для материалов, добываемых гидромеханическими способами. Используют различные способы обезвоживания нерудных материалов. Чаще применяют **дренирование** — стекание воды из крупно- и среднезернистых материалов. Дренирование гравия, щебня и режеска производят на складах, обезвоживающих бункерах и элеваторах, иногда на виброгрохотах. В летнее время на дренированных складских площадках за 2...3 сут можно снизить влажность щебня и гравия до 5...7%, а песка — до 7...10%. Выдерживание в обезвоживающих бункерах, выполненных с перфорированными стенками и дренажными трубами, снижает до 10% влажность крупных фракций щебня за 6...8 ч и мелких фракций — за 16...24 ч. Вибрация на грохотах позволяет интенсифицировать обезвоживание и получить материал с влажностью 3...8%.

**Сгущение** гидропульпы производят в отстойниках, в которых оседают твердые частицы. Этот способ позволяет уменьшить объем транспортируемой пульпы. Можно использовать для сгущения пульпы также гидроциклоны с тангенциальным выпуском сгущенной пульпы. Они позволяют сбросить часть воды и вместе с ней удалить пылевидные и глинистые частицы, а сгущенную пульпу влажностью 20...25% направить на дальнейшую переработку. Однако более полное обезвоживание песка (до 8...10%) может быть достигнуто только в различных конструкциях вакуум-фильтров.

Широко применяют для обезвоживания нерудных материалов также **сушку** — естественную (в штабелях) или искусственную в сушильных барабанах.

## § 1.8. Обогащение нерудных строительных материалов

Рассмотренные выше операции по технологической переработке нерудных материалов одновременно способствуют их обогащению и повышению качества. Однако существуют и специальные способы обогащения, рассчитанные на переработку особых видов сырья, например с высоким содержанием слабых пород, а также на получение специальных видов заполнителя.

● **Избирательное дробление** основывается на более интенсивном разрушении при дроблении слабых кусков. Отсев мелких фракций позволяет собрать в надрешетный продукт куски щебня повышенной прочности. Избирательное дробление эффективно осуществляется в дробилках ударного действия, чаще всего роторных. Оно позволяет перерабатывать в кондиционный щебень низкокачественное сырье с содержанием слабых пород до 20%.

● **Грануляция** обеспечивает обогащение высокопрочного щебня по форме. Она производится в специальных дробилках — грануляторах, отличающихся от обычных дробилок тем, что они работают с постоянно переполненной рабочей камерой. Это сокращает образование зерен плоской формы.

● **Обогащение в тяжелых средах** основывается на классификации зерен в среде, плотность которой имеет промежуточное значение между плотностями разделяемых фракций. Тяжелые фракции оседают, а легкие всплывают, что позволяет легко их разделить. Обогащение осуществляют с применением специальных водоминеральных суспензий, включающих воду и твердые частицы повышенной плотности (утяжелители). Технологический цикл состоит из приготовления водоминеральной суспензии, подготовки материала к обогащению, разделения материала на фракции и регенерации суспензии.

Суспензию готовят смешением с водой тонкоизмельченного в шаровых мельницах утяжелителя (магнетита или ферросилиция). Исходный материал до обогащения сортируют на фракции, удаляют мелкие зерна и тщательно промывают. Обогащаемые материалы и суспензию подают в специальные сепараторы, где и происходит разделение. Выделенные тяжелая и легкие фракции поступают на грохоты, где тщательно отмываются от частиц утяжелителя. Регенерация суспензии состоит в выделении оставшихся кусков породы, сгущении суспензии, доведении ее до заданной плотности.

● **Отсадка** — разделение неоднородных по плотности зерен материала в попеременно восходящих и нисходящих струях воды в специальных отсадочных машинах — поршневых, пневматических и др., например в рабочей камере поршневой машины движением



поршня создают попеременно восходящий и нисходящий потоки воды. Слой материала, находящийся на решетке, в первом случае поднимается и разрыхляется, а во втором — уплотняется. При многократном перемещении материала вверх — вниз происходит постепенное его расслоение на тяжелый (нижний) и легкий (верхний) слои. Отсадка позволяет совместить целый комплекс операций: разделение по прочности, классификацию по крупности и интенсивную промывку.

### § 1.9. Складирование нерудных строительных материалов

● **Правильные условия складирования** нерудных строительных материалов обеспечивают сохранность их высокого качества и уменьшают потери. Различают склады: *готовой продукции, резервные и отходов производства*. Емкость складов готовой продукции принимают из расчета 7...15-суточного запаса. Резервные склады позволяют избежать срывов работы при кратковременных остановках карьерных механизмов. Они рассчитаны на хранение 1...3-суточного запаса.

В зависимости от вида транспорта доставки нерудных материалов различают склады: *прирельсовые* — с доставкой материалов железнодорожным транспортом; *безрельсовые* — с доставкой материалов автосамосвалами, с помощью подвесных канатных дорог или ленточными транспортерами; *береговые* — с доставкой материалов баржами.

По способу хранения различают склады: *открытые* — штабельные, штабельно-траншейные, штабельно-эстакадные; *закрытые* — полубункерные, бункерные, силосные. Открытые склады проще, дешевле, но они не обеспечивают хорошей сохранности материалов, поэтому при строительстве новых заводов ориентируются главным образом на склады закрытого типа.

К хранению нерудных материалов на складах предъявляются определенные требования. Тип склада, запас материалов, применяемое оборудование должны гарантировать бесперебойную круглогодичную работу заводов. Необходимо обеспечить раздельное хранение заполнителей по видам, фракциям и сортам в отдельных емкостях (штабелях, бункерах, силосах) или путем устройства на общем складе разделительных стенок.

На штабельных складах материалы укладывают в виде штабеля специальными штабелеукладчиками. Штабельно-траншейные склады дополнительно оборудуют траншеями для отгрузки, штабельно-эстакадные — галереями для подачи материалов ленточными транспортерами. Полубункерные, бункерные и силосные склады загружают ленточными конвейерами со сбрасывающими тележками. Эти склады обеспечивают высокое качество хранимых материалов и наиболее экономичны. Здесь значительно выше показате-

тели использования строительного объема (для полубункерных — до 75%, для силосных — 90%), меньше удельные капиталовложения и численность обслуживающего персонала.

### § 1.10. Технологические схемы заводов нерудных строительных материалов

В зависимости от вида перерабатываемого сырья и выпускаемой продукции различают следующие типы заводов нерудных строительных материалов: 1) дробильно-сортировочные — для переработки каменных пород в щебень; 2) гравийно-сортировочные — для переработки валунно-гравийно-песчаных смесей в гравий, щебень из гравия и песок; 3) заводы обогащения песка — для переработки песка природного в песок классифицированный; 4) заводы для получения искусственного песка.

Как правило, заводы нерудных материалов строят в виде предприятий районного значения, рассчитанных на выпуск широкой номенклатуры продукции. Выбор конкретной технологической схемы определяется характером перерабатываемой горной массы, заданной номенклатурой продукции и типом оборудования. Схемы должны быть гибкими и обеспечивать возможность варьирования объема и номенклатуры продукции при высоком ее качестве и при минимально возможных капитальных и эксплуатационных затратах.

● **Дробильно-сортировочные заводы** используют для переработки каменных пород в щебень. Разнообразие свойств перерабатываемого на щебень сырья обуславливает необходимость использования различных технологических схем. Известно три основных разновидности горных пород, поступающих на переработку: 1) твердые абразивные породы (граниты, базальт и др.) с пределом прочности при сжатии более 80...100 МПа, незагрязненные; 2) прочные малоабразивные породы (известняки, доломиты и др.) с пределом прочности при сжатии до 100...150 МПа, малозагрязненные глинистыми и другими примесями; 3) малоабразивные породы средней прочности с пределом прочности при сжатии 30...100 МПа, загрязненные глиной и слабыми породами. В соответствии с этим различают и три варианта технологических схем дробильно-сортировочных заводов.

*Первый вариант* технологической схемы дробильно-сортировочного завода для переработки пород первого типа представлен на рис. 1.16. Исходное сырье подвергают трехстадийному дроблению: на первой стадии — дробилка щековая, на второй — конусная, на третьей — короткоконусная. Такая последовательность дробления позволяет получить щебень крупностью до 40 мм из кусков размером 800...1000 мм. Перед каждой стадией дробления предусматривают предварительное грохочение материала, что предотвращает забивание дробилок мелочью и повышает экономичность процесса. Для улучшения качества щебня по форме зерен и регулирования

выхода и крупности готового продукта рекомендуется дробление на второй и третьей стадиях по замкнутому циклу с возвратом надре- щетного продукта на дробление.

Из подрешетного продукта предварительного грохочения перед первичным дроблением удаляют в отход карьерную мелочь — куски размером до 10 мм. Их можно в дальнейшем использовать для по-

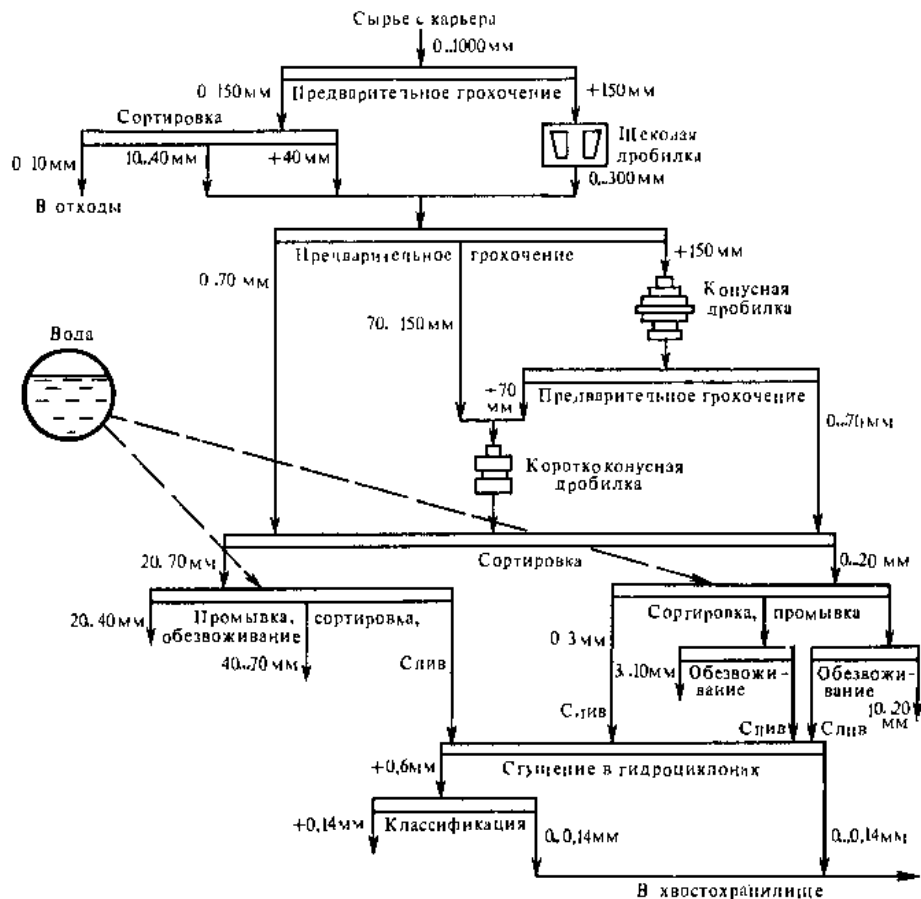


Рис. 1.16. Технологическая схема дробильно-сортировочного завода для переработки твердых абразивных пород

лучения дробленого песка. После третьей стадии дробления производят первичную сортировку щебня на фракции: крупные (20...70 мм) и мелкие (0...20 мм), перерабатываемые в дальнейшем раздельно. Это способствует повышению качества продукции. Дальнейшую сортировку щебня на более узкие фракции (0...3; 3...10; 10...20; 20...40; 40...70 мм) совмещают с его промывкой на вибрационных грохотах. Промытый щебень обезвоживают на грохотах и

подают на склад для хранения по фракциям. Промывочная вода, содержащая значительное количество мелких фракций материала, сгущается в гидроциклонах и из нее выделяют фракции крупнее 0,14 мм для получения песка. Более мелкие частицы вместе с водой попадают в хвостохранилище.

Второй вариант технологической схемы переработки пород второго типа отличается от рассмотренной выше схемы только использованием дробилок ударного действия.

Третий вариант технологической схемы, предназначенный для переработки горных пород с большим содержанием глины, слабых пород и других примесей, отличается тем, что при предварительном грохочении перед первой стадией вся порода делится на два потока: «грязный» («слабый») и «чистый» («прочный»), перерабатываемые в дальнейшем раздельно. «Грязный» поток — подрешетный продукт крупностью до 200 мм направляется в глиноотбойник и лишь «прочный» продукт поступает в щековую дробилку на первичное дробление.

Для удаления глины и слабых включений перед вторичным дроблением обоих потоков отбирают мелкие фракции: из «слабого» — крупностью 0...40 мм, из «прочного» — 0...20 мм. Вторичное дробление происходит также раздельно с выделением перед третьей стадией отходов из «слабого» продукта — крупностью 0...20 мм, из «прочного» — 0...10 мм. Дробление на третьей стадии может осуществляться для обоих потоков как совместно, так и раздельно, и дальнейшая технология переработки не имеет существенных отличий от технологии переработки прочных пород. Такая технологическая схема позволяет получить кондиционный по прочности и чистоте щебень при содержании в исходном сырье слабых пород до 20%. При более высоком их содержании в технологическую схему должны быть включены специальные операции по обогащению — отсадке, разделению в тяжелых средах и т. д.

● Гравийно-сортировочные заводы работают по двум технологическим схемам — с раздельным и совместным выпуском гравия и щебня. Первую используют для гравийно-песчаных масс, загрязненных глиной (рис. 1.17). Предварительным грохочением сырье разделяют на два продукта: гравийно-песчаную смесь (крупностью 0...150 мм) и валуны (крупнее 150 мм), перерабатываемые в дальнейшем раздельно. Валуны дробят в 1...3 стадии в зависимости от их крупности и ассортимента выпускаемой продукции. Дробление ведут по открытому или замкнутому циклу с предварительным грохочением.

Гравийно-песчаную смесь грохочением разделяют на фракции 70...150, 20...70 и 0...20 мм. Фракцию 70...150 мм направляют на вторичное дробление или используют для гидротехнического строительства. Выделение из гравийно-песчаной смеси фракции 0...20 мм сокращает расход воды и количество сортировочного оборудования. Из этой фракции мокрым способом отделяют песок (0...5 мм).

Полученные фракции гравия (5...20 и 20...70 мм) и щебня раздельно промывают и сортируют на товарные фракции на грохотах с дополнительным ополаскиванием. Затем их обезвоживают на грохотах и подают на склад. Из песчаной фракции при промывке выделяют отходы крупностью до 0,14 мм.

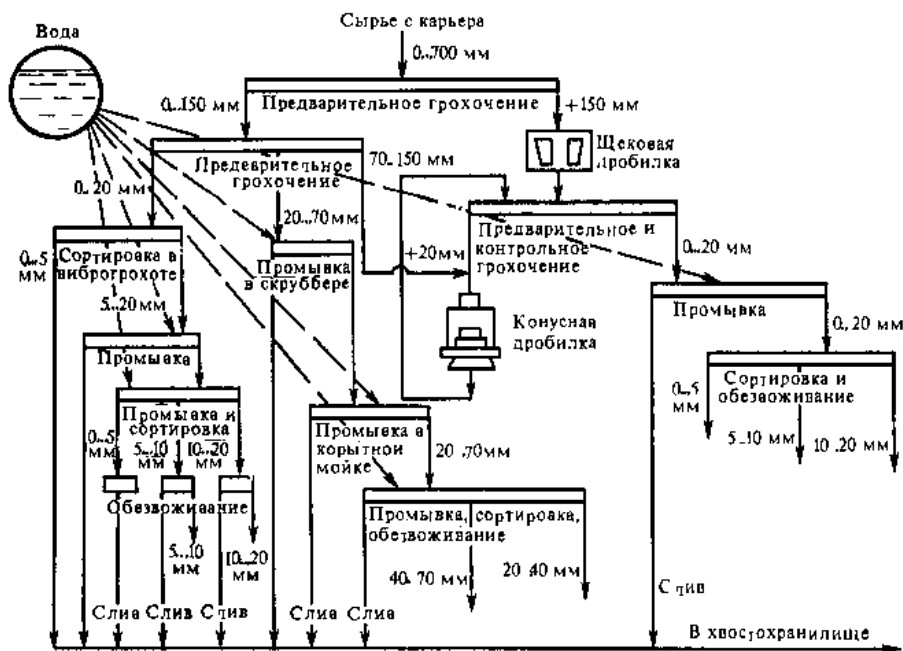


Рис. 1.17. Технологическая схема гравийно-сортировочного завода с раздельным выпуском щебня и гравия

В технологической схеме с совместным выпуском гравия и щебня исходное сырье также разделяют грохочением на подрешетный продукт — гравий и надрешетный — валуны, направляемые на дробление. Однако после дробления валунов оба потока — гравийный и щебенчатый — смешивают и перерабатывают совместно.

● **Заводы по обогащению песка** должны обеспечить надлежащий зерновой состав песка путем предварительного разделения его на узкие фракции и смешения их в заданном соотношении. Как правило, корректировать состав песка приходится, удаляя из него часть избыточных фракций. В этом случае технология обогащения состоит в отделении негабаритных кусков, предварительной промывке смеси, выделении гравия и классификации песка (рис. 1.18). Негабаритные включения отбирают на решетке приемного бункера. Смесь крупностью 0...70 мм промывают для разрушения и удаления глины и сортируют мокрым способом с выделением гравия. При не-

обходимости гравий разделяют на товарные фракции. Классификацию песка производят в гидравлических классификаторах с выделением отходов крупностью до 0,14 мм. Предварительно песчаную пульпу сгущают в гидрониклонах. После классификатора устанавливают шихтующее устройство, обеспечивающее перемешивание выделенных фракций в заданной пропорции. Классифицированный песок перед выдачей на склад обезвоживают, а в зимнее время во избежание смерзания дополнительно сушат.

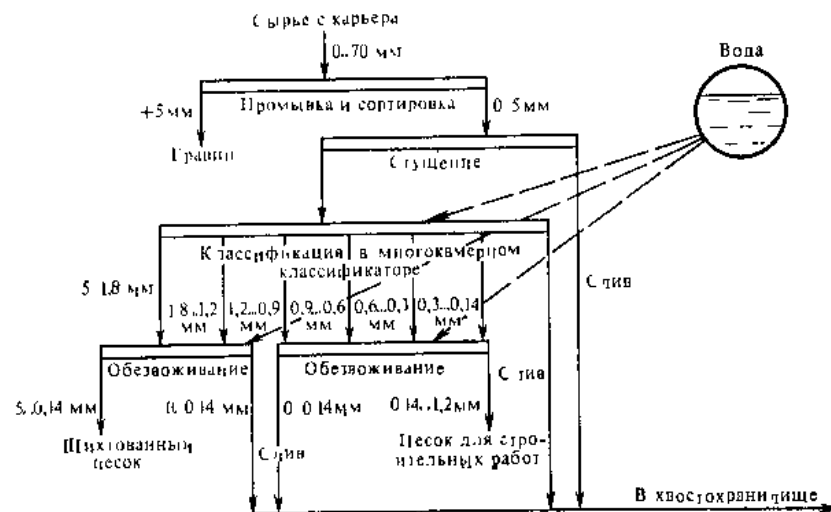


Рис. 1.18. Технологическая схема завода по обогащению песка

● **Заводы искусственного песка** созданы для получения дроблением мелких фракций щебня или гравия (крупностью 5...20 мм); измельчение чаще осуществляют мокрым способом в стержневых мельницах, работающих по замкнутому циклу с грохотом. Измельченный материал, так же как и при обогащении естественных песков, классифицируют, при необходимости подшихтовывают и после обезвоживания складуют.

В последнее время особую актуальность приобрело получение искусственных песков из отходов горно-обогатительных комбинатов при мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов и ряда других пород, что обеспечивает не только снижение себестоимости продукции, но и улучшение экологической обстановки в соответствующих регионах.

Основными путями повышения рентабельности в промышленности нерудных материалов являются: снижение себестоимости продукции; увеличение выпуска за счет улучшения использования оборудования, научной организации труда, изыскания внутрипроизводственных резервов; повышение качества продукции в первую оче-

редь за счет выпуска мелких фракций щебня и гравия, а также классифицированного песка.

Себестоимость выпускаемой продукции наряду с горно-геологическими факторами определяется мощностью и технической оснащенностью предприятия. Так, повышение мощности предприятия от 250 000 до 1 млн. м<sup>3</sup> в год обеспечивает снижение себестоимости щебня и гравия на 23...25%.

С другой стороны значительные возможности снижения себестоимости нерудных материалов предоставляет получение их на передвижных механизированных предприятиях. Пока они используются недостаточно, обеспечивая лишь 5...6% потребности в нерудных материалах. Расчет показывает, что при использовании передвижных механизированных предприятий на каждый кубометр производственной мощности можно снизить на 2 руб. удельные капитальные затраты.

1. Выделите основные типы горных пород и назовите наиболее типичных их представителей 2. Какие преимущества дает обработка природного камня по форме и размеру в две стадии: приближенную и точную? 3. Оцените экономически влияние степени точности технологических схем разработки горных пород на эффективность процесса. 4. Какова роль грохочения в повышении качества нерудных материалов? 5. Чем определяется выбор варианта технологической схемы дробильно-сортировочного завода и в чем их разница?

## Глава 2

### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДУШНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

#### § 2.1. Общие сведения

● Неорганическими вяжущими веществами называют порошкообразные материалы, образующие при смешивании с водой пластичную удобообрабатываемую массу, затвердевающую со временем в камневидное прочное тело.

По областям применения различают вяжущие материалы: гидравлические, воздушные, кислотоупорные и автоклавного твердения. Каждая из этих групп в свою очередь делится на несколько разновидностей в соответствии с составом и основными свойствами.

● Гидравлические вяжущие вещества (цементы) способны при затворении водой после предварительного затвердевания на воздухе продолжать твердеть в воде, сохраняя и наращивая свою прочность. Среди них по составу различают: цементы на основе портландцементного клинкера (портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент) и цементы на основе глиноземистого клинкера (глиноземистый, высокоглиноземистый и гипсоглиноземистый).

● Воздушные вяжущие вещества при затворении водой схватываются, твердеют и превращаются в камень только на воздухе. Образовавшийся камень длительно сохраняет прочность также только в воздушной среде. Такие материалы применяют лишь в надземных сооружениях, не подвергающихся действию воды. К этой группе относятся строительная воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие материалы.

● Кислотоупорные вяжущие вещества после затвердевания на воздухе могут длительное время сохранять прочность при действии на них минеральных кислот. Их применяют в тех случаях, когда затвердевший материал работает в кислой среде. К этой группе вяжущих принадлежит кислотоупорный цемент, кварцевый кремнефтористый цемент и др.

● Вяжущие вещества автоклавного твердения превращаются в камень лишь при автоклавной (гидротермальной) обработке при давлении насыщенного пара 0,9...1,3 МПа и температуре 170...210 °С, например известково-кремнеземистые вяжущие.

Вяжущие материалы классифицируют также по основным свойствам: срокам схватывания, скорости твердения и прочности.

● Сроки схватывания определяют период, в течение которого смесь вяжущего вещества с водой сохраняет свою пластичность.

Особенно быстро схватываются гипсовые вяжущие: начало схватывания 4...5 мин, конец через 10...15 мин после затворения водой. Очень медленно схватывается гидратная известь — через 3...5 сут. Гидравлические вяжущие (цементы) классифицируют на *медленносхватывающиеся* (с началом схватывания более 1 ч 30 мин); *нормальносхватывающиеся* (с началом схватывания от 45 мин до 1 ч 30 мин) и *быстрохватывающиеся* (с началом схватывания менее 45 мин).

● **Скорость твердения** определяется интенсивностью реакций взаимодействия вяжущего вещества с водой. У гипсовых вяжущих она составляет 1...2 ч. Твердение гашеной извести протекает годами и десятилетиями. Цементы по скорости твердения различают: *обычные* (с нормированием прочности в возрасте 28 сут), *быстротвердеющие* (с нормированием прочности в возрасте 1 и 28 сут), *особо быстротвердеющие* (с нормированием прочности в возрасте 1 сут и менее).

● **Прочность** характеризует способность вяжущего вещества после затвердевания воспринимать без разрушения сжимающие, растягивающие и другие внешние нагрузки. Чем выше прочность камня и чем быстрее она достигается, тем выше качество вяжущего. Прочность искусственного камня зависит от многих факторов: вида вяжущего, степени его измельчения, водопотребности, условий и длительности твердения. Прочность цементов оценивают маркой, числовое значение которой определяется прочностью при сжатии ( $\text{кгс/см}^2$ ) стандартных образцов в возрасте 28 сут. Различают цементы: *высокопрочные* (М550, 600 и выше), *повышенной прочности* (М500), *рядовые* (М300 и 400), *низкомарочные* (ниже М300). Высокой прочностью характеризуются также вяжущие автоклавного твердения. Прочность воздушных вяжущих значительно ниже (5...20 МПа).

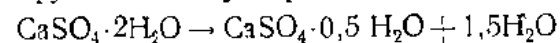
## § 2.2. Основы технологии гипсовых вяжущих веществ

● Гипсовыми вяжущими называют тонкоизмельченные продукты тепловой обработки естественных или искусственных разновидностей сульфата кальция, способные после затворения водой схватываться, твердеть и превращаться в камень на воздухе. Различают гипсовые вяжущие вещества низкообжиговые и высокообжиговые. Низкообжиговые получают при температуре 140...180 °С. Они состоят в основном из полуводного гипса и быстро твердеют. К ним относятся гипсовые вяжущие марок Г-2...Г-25. Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают при температурах 600...1000 °С. Они состоят преимущественно из безводного кальция — ангидрита и медленно твердеют. К ним принадлежат *ангидритовый цемент* и *высокообжиговый гипс*. К гипсовым вяжущим веществам относят также смешанные композиции, основной составляющей которых

является *полуводный гипс*, а дополнительными — известь, цемент, молотые гранулированные доменные шлаки. В зависимости от вида дополнительной составляющей различают *гипсоизвестковые*, *гипсоцементные*, *гипсошлаковые* и другие вещества.

● **Дегидратация двуводного гипса.** Двуводный гипс по мере повышения температуры постепенно дегидратируется, превращаясь в итоге в нерастворимое, «намертво» обожженное соединение. Регулируя температуру и условия обжига, получают различные гипсовые вяжущие, отличающиеся строительно-техническими свойствами.

Степень дегидратации двуводного гипса зависит от температуры и длительности тепловой обработки, а также от давления водяных паров. При 100...140 °С двуводный гипс сравнительно быстро дегидратируется до полугидрата:



С повышением температуры до 200 °С гипс постепенно переходит в безводную модификацию — обезвоженный полугидрат, который в свою очередь при дальнейшем повышении температуры превращается в растворимый ангидрит. Полуводный гипс, так же как и две безводные его разновидности, может существовать в виде  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификаций, отличающихся своей структурой.

$\alpha$ -Полугидрат образуется при тепловой обработке гипсового камня при температуре выше 100 °С в среде насыщенного пара, а также при кипячении его в растворах солей. Отщепляемая вода удаляется из гипса в жидком состоянии и не вызывает разрыхления зерен, что обеспечивает плотную упаковку и гладкий рельеф поверхности кристаллов  $\alpha$ -полугидрата.  $\beta$ -Полугидрат получают, если вода при дегидратации выходит в виде пара, что приводит к сильному механическому диспергированию зерен, образованию шероховатого, «изъеденного» рельефа поверхности. Его кристаллы тем мельче, чем ниже давление водяного пара и выше температура среды. Структурные отличия заметно отражаются на свойствах  $\alpha$ - и  $\beta$ -модификаций полуводного гипса.  $\beta$ -Полугидрат характеризуется повышенной растворимостью в воде, большей скоростью гидратации, для получения подвижного гипсового теста он требует большего количества воды (50...70% от массы гипса). Для  $\alpha$ -полугидрата достаточно 30...45% воды.

Начиная с 400...500 °С растворимый ангидрит переходит в нерастворимый, «намертво» обожженный, который почти совсем не схватывается. При температуре 800...1000 °С безводный гипс снова приобретает способность схватываться и твердеть вследствие частичной диссоциации сернистого кальция и появления в составе продукта обжига свободной извести.

● **Сырьем** для производства гипсовых вяжущих является природный двуводный гипс (гипсовый камень) —  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и природный ангидрит —  $\text{CaSO}_4$ , а также различные отходы химической



промышленности, состоящие в основном из сернокислого кальция (фосфогипс и борогипс). Двухводный гипс обычно содержит примеси других минералов: известняка, доломита, глинистых веществ. Во многих месторождениях он залегает вместе с ангидритом.

Фосфогипс получают при переработке природных фосфатов в фосфорную кислоту и фосфорные удобрения. На каждую тонну фосфорной кислоты получается 4 т фосфогипса. Фосфогипс состоит на 80...98% из  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , но содержит до 25% влаги и загрязнен примесями фосфатов (0,5...1,2%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) и фтора. Утилизация фосфогипса для производства гипсовых вяжущих лимитируется главным образом содержанием в нем  $\text{P}_2\text{O}_5$ : при высоком содержании  $\text{P}_2\text{O}_5$  фосфогипс после тепловой обработки либо имеет низкую прочность, либо совсем не твердеет.

Борогипс — отход производства борной кислоты — представляет собой шлам влажностью 40...50%. Основная его составляющая — сульфат кальция. Содержание  $\text{SiO}_2$  достигает 20...25%,  $\text{V}_2\text{O}_5$  — 0,5...1,5%.

Советский Союз располагает крупной сырьевой базой гипсовой промышленности. Разведано около 200 месторождений с суммарным запасом около 6 млрд. т.

Добывают гипсовое сырье открытым способом. Гипсодобывающие предприятия в основном представляют собой крупные высоко-механизированные производства с объемом добычи до 1...2 млн. т камня в год. Один Новомосковский гипсовый комбинат, мощность которого 2 млн. т гипсового камня в год, обеспечивает гипсовым сырьем Москву и центральные районы европейской части СССР.

● **Технология производства гипсовых вяжущих** характеризуется простотой, коротким циклом, позволяющим механизировать и автоматизировать технологические процессы, сравнительно небольшими тепло- и энергозатратами. Годовой выпуск гипсовых вяжущих в СССР составляет 4,5...5 млн. т. Их производство осуществляется более чем на 100 предприятиях, а номенклатура выпускаемой продукции насчитывает до 25 наименований.

Технологический процесс производства гипсовых вяжущих состоит в измельчении гипсового камня и последующей тепловой обработки (дегидратации). Степень измельчения гипсового камня определяется выбором аппарата для тепловой обработки. В шахтные печи материал подают в виде кусков размером 70...300 мм, во вращающиеся печи — 10...35 мм, а в варочные котлы — в виде порошка.

Последовательность технологических операций при производстве гипса зависит от вида агрегата, в котором протекает дегидратация. Наибольшее распространение в настоящее время получили два варианта технологической схемы. По первому из них дегидратация тонкоизмельченного гипса осуществляется в варочных котлах непрерывного или периодического действия, в которых материал непосредственно не соприкасается с топочными газами. По второму

варианту дегидратация кускового гипса происходит в сушильных барабанах, а обожженный продукт подвергается последующему помолу.

Наиболее широкое распространение получило производство высокообжиговых гипсовых вяжущих в *варочных котлах периодического действия* (рис. 2.1). Гипсовый камень, измельченный в щековой

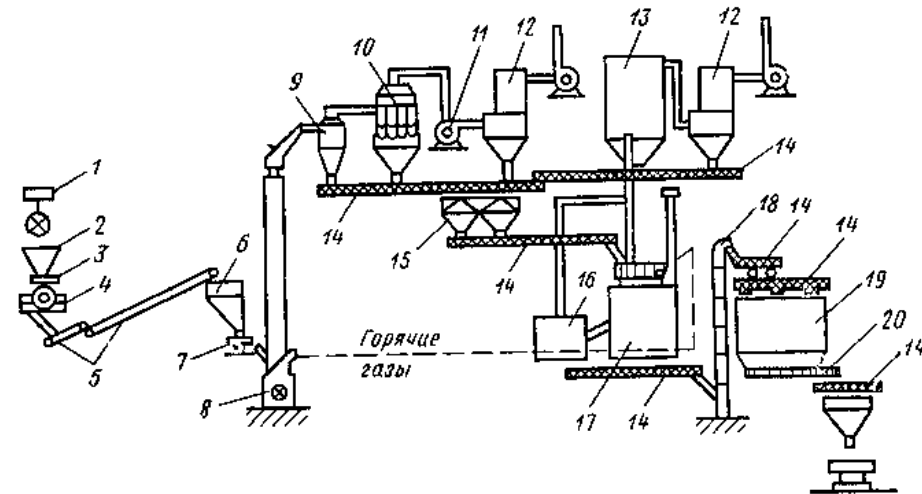


Рис. 2.1. Технологическая схема производства полуводного гипса с применением варочных котлов:

1 — мостовой грейферный кран, 2 — бункер гипсового камня, 3 — лотковый питатель; 4 — щековая дробилка 5 — ленточные транспортеры; 6 — бункер гипсового щебня; 7 — твердочастный питатель, 8 — шахтная мельница, 9 — циклон, 10 — батарея циклонов, 11 — вентилятор, 12 — рукавные фильтры, 13 — пылесадительная камера, 14 — шнеки, 15 — бункер сырого молотого гипса, 16 — бункер выдерживания, 17 — гипсоварочный котел; 18 — элеватор, 19 — бункер готового гипса; 20 — скребковый транспортер

дробилке, подают на помол в шахтную мельницу. В мельнице совмещается тонкое измельчение гипсового камня и его сушка за счет теплоты газов, отводимых из варочного котла с температурой 300...400 °С. Тонкодисперсные частицы улавливаются системой пылеулавливающих устройств и поступают в гипсоварочный котел. По окончании тепловой обработки материал с целью повышения качества дополнительно выдерживают в специальном бункере.

Часть котлов периодического действия переоборудована для непрерывной варки. Производительность последних на 25...40% выше производительности котлов периодического действия равной вместимости, а расход топлива меньше.

Производство гипсовых вяжущих в *сушильных барабанах* позволяет выпускать более дешевый гипс при меньших капитальных затратах. Полученный продукт имеет более высокие прочностные показатели, чем при использовании варочных котлов. Он отличается пониженной водопотребностью (48...57%), что позволяет на

20...25% снизить его расход при приготовлении растворов и бетонов. Непрерывно действующие сушильные барабаны обеспечивают компактность технологической схемы, позволяют автоматизировать процесс.

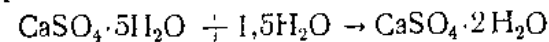
В последние годы получают распространение установки совмещенного помола и обжига — *мельницы*, в которых тепловая обработка происходит в размольной камере в результате интенсивного теплообмена между горячими газами и измельчаемым материалом. У мельницы сооружается предтопок, и направляемые в мельницу газы имеют температуру 700...800 °С. Измельченный и дегидратированный продукт поступает в пылеуловители. Очищенные газы выбрасываются в атмосферу. Достоинство установок совмещенного помола и обжига — их компактность и высокая производительность. Однако несмотря на высокую температуру газа, наиболее крупные частицы вследствие кратковременности воздействия газов не успевают полностью дегидратироваться, а часть мелких частиц пережигается, что обуславливает быстроту схватывания и пониженную прочность вяжущего.

Тепловая обработка гипсового камня в варочных котлах, сушильных барабанах и мельницах производится при атмосферном давлении; кристаллизационная вода удаляется из гипсового камня в виде пара; продукт тепловой обработки состоит в основном из  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

Для получения гипсовых вяжущих повышенной прочности, состоящих в основном из  $\alpha$ -полуhydrата, необходимо создать такие условия, чтобы кристаллизационная вода удалялась из двуводного гипса в капельно-жидком состоянии. Известны два способа получения таких вяжущих: 1) автоклавный, основанный на обезвоживании гипса в среде насыщенного пара под давлением выше атмосферного в герметических аппаратах; 2) тепловая обработка в жидких средах, когда гипс обезвоживается в процессе кипячения в водных растворах некоторых солей при атмосферном давлении.

Автоклавный способ может быть реализован в различных аппаратах. В СССР получило распространение производство высокопрочных гипсовых вяжущих способом «самозапаривания», предусматривающим создание избыточного давления в результате испарения из гипсового камня части гидратной воды. Дробленый гипсовый камень загружают в герметически закрываемый вращающийся «самозапарник», куда подают топочные газы с температурой около 600 °С. Проходя по находящимся внутри аппарата трубам, газы прогревают материал. Давление в аппарате поднимают до 0,24 МПа, и гипсовый камень обрабатывают в течение 5,0...5,5 ч, сбрасывая при этом излишки пара. После запаривания в этом же аппарате сушат материал, снижая для этого давление до 0,13 МПа в течение 1,5 ч, а затем до атмосферного. Общая продолжительность цикла 12...14 ч. Полученный материал тонко измельчают в мельницах.

● **Твердение** низкообжиговых гипсовых вяжущих происходит в результате превращения пластичного теста из гипсовых вяжущих и воды в камневидное тело. С химической точки зрения твердение низкообжиговых гипсовых вяжущих происходит в результате растворения полуводного сернокислого кальция (полуhydrата), появления насыщенного по отношению к полуhydrату раствора, в котором протекают реакции гидратации с образованием двуводного сернокислого кальция:



Согласно современным воззрениям формирование структуры затвердевшего гипса протекает в три стадии. В течение индукционного периода, который продолжается до начала твердения, образуются не связанные друг с другом зародыши дигидрата. Консистенция гипсовой смеси при этом остается жидкой. После накопления достаточно большого количества зародышей дигидрата начинается рост кристаллов. Так как отдельные кристаллы сростаются друг с другом не идеально (с зазорами), внешний объем смеси при этом увеличивается. Между продуктами реакции формируются межкристаллические контакты. В результате образуется трехмерная решетка кристаллов дигидрата, обуславливающая твердение и повышение прочности массы. По мере срастания и переплетения кристаллов, возникновения межмолекулярных связей гипсовая смесь постепенно превращается в камневидное тело. На третьей стадии в затвердевшем, но еще влажном гипсе протекают процессы перекристаллизации. Часть дигидрата термодинамически неустойчива из-за своих размеров и формы и обладает повышенной растворимостью. Растворяясь в жидкой фазе, она способствует росту наиболее крупных кристаллов.

● **Свойства** гипсовых вяжущих веществ, получаемых путем тепловой обработки гипсового сырья до полуhydrата сульфата кальция, регламентированы ГОСТ 125—79. Этот ГОСТ распространяется как на продукты тепловой обработки гипсового сырья при нормальном давлении, состоящие в основном из  $\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , так и на продукты тепловлажностной обработки гипсового камня под давлением, состоящие в основном из  $\alpha\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ . Последние отличаются большей мономинеральностью структуры, большими размерами и плотностью кристаллов и в результате требуют для получения теста меньшего количества воды, что способствует уменьшению объема пор, остающихся в гипсовом камне, и повышению его прочности.

Основными характеристиками гипсовых вяжущих служат сроки схватывания, тонкость помола, прочность при сжатии и растяжении, водопотребность и др.

По срокам схватывания ГОСТ 125—79 предусматривает выпуск вяжущего: *быстротвердеющего* — с началом схватывания не ранее 2 мин, концом — не позднее 15 мин; *нормально твердеющего* — с

началом схватывания не ранее 6 мин, концом — не позднее 30 мин; *медленнотвердеющего* — с началом схватывания не ранее 20 мин (конец схватывания не нормируется). В зависимости от степени измельчения различают вяжущие грубого, среднего и тонкого помола с максимальным остатком на сите с размером ячеек в свету 0,2 мм не более соответственно 23; 14 и 2%, обозначаемые индексами I, II и III. Марку гипсовых вяжущих (от Г-2 до Г-25) характеризуют по прочности при сжатии образцов-балочек 40×40×160 мм в возрасте 2 ч после затворения водой. Минимальный предел прочности при сжатии соответствующих марок меняется в пределах 2... 25 МПа, а при изгибе — 1,2... 8,0 МПа.

● **Высокообжиговые гипсовые вяжущие** получают обжигом дробленого гипсового камня или ангидрита в сушильных барабанах с последующим размолом продукта обжига.

● **Ангидритовый цемент** — продукт обжига природного гипса при температуре 600... 700°С с последующим измельчением совместно с добавками-катализаторами. Он состоит в основном из нерастворимого в воде ангидрита — безводного «мертвообожженного»  $\text{CaSO}_4$ . Его «оживляют» добавкой катализаторов, повышающих растворимость ангидрита и создающих условия для его гидратации (известь — 3... 5%, смесь сульфатов и бисульфатов натрия с железным или медным купоросом — 0,5... 1,0% и др.). Начало схватывания ангидритового элемента не ранее 30 мин, конец — не позднее 24 ч. Он требует тонкого помола — максимальный остаток на сите № 008 — 15%. Прочность при сжатии ангидритового цемента в возрасте 28 сут — 5... 20 МПа.

● **Высокообжиговый гипс** — продукт тонкого помола гипсового камня, обожженного при 800... 1000°С. Высокообжиговый гипс состоит из ангидрита  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{CaO}$  (3... 5%), образующегося при разложении  $\text{CaSO}_4$  и выполняющего роль катализатора твердения.

Высокообжиговый гипс относится к медленно схватывающимся вяжущим веществам. Начало схватывания должно наступать не ранее чем через 2 ч после начала затворения. При твердении высокообжигового гипса безводный гипс переходит в двуводный.

Количество воды, необходимое для получения удобоукладываемого теста высокообжигового гипса, меньше, чем у других гипсовых вяжущих (25... 35%). Поэтому изделия из него отличаются малой плотностью и высокой водостойкостью. Выпускаемый высокообжиговый гипс имеет марки 100, 150 и 200 с прочностью при сжатии через 28 сут образцов-кубов из теста пластичной консистенции 1:0 (без песка) не менее 10, 15 и 20 МПа. Затвердевший камень отличается высоким сопротивлением истиранию.

● **Применяют** гипсовые вяжущие главным образом при производстве гипсовой штукатурки, перегородочных стеновых плит и панелей, вентиляционных коробов, стеновых камней и других деталей в зданиях и сооружениях. Марки Г-5... Г-25 тонкого помола с нормальными сроками твердения служат для изготовления форм и

моделей в керамической, машиностроительной промышленности, а также в медицине.

Ангидритовый цемент идет для изготовления бесшовных полов, в качестве подстилающего слоя под линолеум, для получения легких бетонов и изделий из них, искусственного мрамора, производства декоративно-отделочных работ.

Высокообжиговый гипс применяют для застила бесшовных тепло- и звукоизолирующих полов, изготовления подстилающего слоя под линолеум.

Среди эффективных строительных материалов гипс занимает одно из ведущих мест. Экономика говорит в пользу гипса: на изготовление 1 т изделий из него удельных капитальных вложений требуется в 2 раза меньше, а электроэнергии расходуется в 4 раза меньше, чем на получение 1 т изделий из цемента.

Однако на различных заводах себестоимость гипса значительно колеблется. Особенно сильно она зависит от концентрации производства. На крупных современных предприятиях со среднегодовой мощностью более 100 тыс. т себестоимость гипса почти в 2 раза ниже, чем на мелких. Важнейшими резервами ее снижения являются: сокращение радиуса перевозок гипсового камня, совершенствование организации производства на карьерах, а также снижение трудоемкости производства путем механизации и автоматизации.

### § 2.3. Основы технологии гипсовых и гипсобетонных изделий

● **Изделия на основе гипсовых вяжущих** получают из гипсового теста, гипсовых растворов и бетонов.

● **Сырьем** для получения гипсового теста является текучая смесь гипса и воды. В гипсовый раствор дополнительно вводят песок и другие мелкие заполнители. Гипсобетонные смеси содержат крупные органические или минеральные заполнители. После формования и твердения гипсобетонную смесь называют гипсобетоном.

В качестве заполнителей в гипсобетоне используют естественные материалы — пемзу, туф, топливные и металлургические шлаки, а также легкие пористые заполнители промышленного изготовления — шлаковую пемзу, керамзит, аглопорит и др. Органическими заполнителями являются древесные опилки, стружка или шерсть, льняная костра и др. Введение заполнителей в гипсовое тесто улучшает его пластические свойства, снижает усадку, уменьшает удельный расход вяжущего, снижает водопотребность формируемой смеси.

Наряду с рядом положительных технических свойств гипс обладает значительной хрупкостью. Поэтому его искусственно упрочняют армирующим материалом (волоконистым), вводимым в состав формовочной массы или являющимся частями конструкции самого изделия. Так, в гипсовой сухой штукатурке роль арматуры выполняет внешняя картонная оболочка, в прокатных перегородочных

гипсобетонных панелях — деревянные рейки каркаса. Перспективно использование в гипсобетонах алюминиевой арматуры.

Специфические свойства гипсовых изделий — огнестойкость, гигиеничность, хорошая звукоизолирующая способность, низкая теплопроводность, небольшая плотность, декоративность и др. — позволяют использовать этот высокоиндустриальный материал для производства самых разных строительных элементов. Однако при изготовлении и при эксплуатации необходимо учитывать некоторые их особенности. Гипсобетонные изделия характеризуются повышенной водопотребностью при относительно малом количестве воды, химически связываемой при твердении. В затвердевшем гипсе остается до 40...50% свободной воды, что ведет к увеличению пористости камня и снижению его прочности. Водопоглощение гипсовых бетонов с минеральными заполнителями 15...26, а с органическими 50...60%. Они отличаются пониженной водостойкостью, поэтому их используют в помещениях с относительной влажностью не более 60%. Для повышения влаго- и водостойкости изделий их покрывают водонепроницаемыми защитными красками или пастами (масляными, казеиновыми), а также добавляют к гипсу молотый доменный гранулированный шлак и пуццолановый портландцемент.

К недостаткам гипсовых бетонов относят также пониженное сцепление с заполнителем и арматурой и недостаточную сохранность стальной арматуры в гипсобетоне. При твердении гипсобетон расширяется (на 0,2...0,8%), что снижает сцепление его с арматурой и интенсифицирует ее коррозию.

● **Технология производства** изделий из гипсовых или гипсобетонных смесей состоит из следующих операций: дозирования компонентов формовочной массы (вяжущего, заполнителей, воды), приготовления растворной и бетонной смеси; формования изделий и их твердения — сушки до воздушно-сухого состояния.

Приготовление гипсобетонных смесей требует особо строгого соблюдения технологического режима. Короткие сроки схватывания гипсовых вяжущих обуславливают налипание на стенках и лопастях смесителя гипса, что влечет за собой быстрое «зарастание» смесителя и снижение ее полезной емкости. Всякое механическое воздействие на гипсовую массу, в том числе перемешивание, допустимо только до начала схватывания. После этого перемешивание массы резко снижает прочность изделий.

На небольших гипсосмесительных установках применяют *смесители периодического действия* с введением в гипсовые смеси замедлителей схватывания. При этом объем замеса должен строго соответствовать объему формы.

При работе с быстротвердеющими гипсовыми массами используют *гипсобетоносмесители непрерывного действия*. Иногда применяют двухступенчатое смешивание материалов. Первое (сухое) смешивание осуществляют в приемном лотке, второе (с водой) — в гипсобетоносмесителе непрерывного действия.

Формируют гипсовые изделия путем *литья, вибрирования и прессования*. Выбор способа формования определяется видом изготавливаемых изделий. Чаще используют метод литья, который, однако, связан с повышенным расходом топлива при сушке изделий, может снижать их прочность, а также ограничивает возможность применения заполнителей, что увеличивает расход гипса.

● **Твердение** гипсобетонных изделий интенсифицируется сушкой. При этом растворенный двуводный гипс оседает в порах и упрочняет кристаллический сросток. Прочность гипсовых образцов, высушенных при температурах до 60°C, в 2...2,5 раза выше прочности влажных образцов после 2 ч твердения.

Сушку изделий производят обычно в туннельных сушилках с использованием в качестве теплоносителя дымовых газов, получаемых при сжигании топлива в специальных топках, или горячего воздуха. На сушку в гипсовой промышленности расходуется примерно 25% всей потребляемой предприятиями энергии. В настоящее время все шире внедряются скоростные методы сушки гипсовых изделий, отличающиеся повышенными температурами и влажностью содержащего используемого теплоносителя. Если продолжительность сушки листов гипсовой штукатурки на большинстве заводов составляет 70...80 мин, а плит и панелей — 20...24 ч, то при скоростных методах сушки эти сроки сокращаются соответственно для гипсовой штукатурки до 12...15 мин и перегородочных плит и панелей — до 8...9 ч. Экономическая эффективность высокотемпературной сушки при производстве гипсовых плит и гипсобетонных панелей достигается за счет уменьшения расхода теплоты вследствие изменения параметров теплоносителя и увеличения производительности труда и оборудования.

Из гипсовых изделий наиболее широкое применение получили гипсобетонные панели, гипсовые перегородочные плиты, вентиляционные блоки, гипсокартонные листы.

● **Гипсобетонные панели** служат для устройства несущих перегородок в зданиях с относительной влажностью воздуха не более 60%. Для жилищного строительства панели изготавливают как сплошными, так и с проемами для дверей размером «на комнату» высотой до 3 м и длиной 6 м, толщиной 80 и 100 мм. Прочность панелей при сжатии должна быть не менее 3,5 МПа, влажность в поверхностных слоях на глубине до 2 см при отпуске потребителю — не более 8%. Гипсобетонные перегородки значительно выгоднее кирпичных (на 25...35%), железобетонных (на 10...15%), фибролитовых и деревянных щитовых (на 40...50%).

Благодаря высоким технико-экономическим показателям особенно широкое распространение получило производство крупноразмерных гипсобетонных перегородочных панелей *методом непрерывного проката* (рис. 2.2). Поступающие сырьевые материалы — гипсовое вяжущее, песок, опилки — из расходных бункеров дозируют с помощью ленточных питателей. Перемешивание их производится

в две ступени: первое (сухое) — в приемном лотке, одновременно транспортирующем сухую смесь, второе (с водой) — в гипсобетоно-смесителе непрерывного действия. Основной агрегат установки по изготовлению гипсобетонных панелей — прокатный стан. Гипсобетонная масса, равномерно распределенная между резиновыми лентами двух движущихся в одном направлении с одинаковой скоростью транспортеров (нижнего, несущего реечный каркас, и верхнего, уплотняющего и заглаживающего массу), проходит через щель между прокатными валками, которые прессуют массу и придают панели окончательные размеры по толщине. Все операции по формовке панелей — укладка каркасов, заполнение их гипсобетонной массой, прокатка под валками и окончательное схватывание — происходят на ленте транспортера.

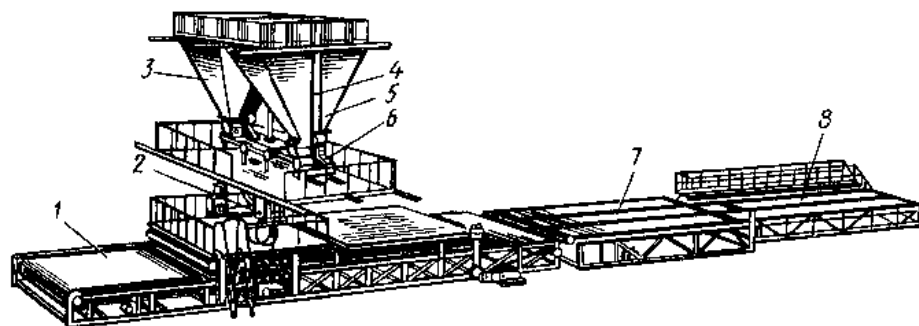


Рис 22. Технологическая схема производства гипсобетонных панелей методом проката:  
1 — прокатный агрегат; 2 — растворосмеситель; 3, 4, 5 — бункера гипса, песка и опилок; 6 — дозатор; 7 — обгонный ролик; 8 — калтователь.

На прокатном стане выделяют три секции: приемную, калибровочную и приводную. В приемной секции укладывают на ленту деревянные каркасы, и специальные барабаны плотно прижимают каркас к ленте. Гипсобетонная масса непрерывно поступает в гипсобетоносмесители и распределяется по всей ширине ленты. В калибровочной секции происходит процесс формования прокатом и калибровкой панелей между верхним и нижним блоками калибровочных валков машины.

При движении отформованной панели гипсобетонная смесь схватывается и приобретает прочность, равную 1,5...2,0 МПа. Скорость движения ленты обеспечивает прохождение панели через прокатный стан за 15...20 мин, затем она поступает на обгонный ролик, который разделяет панели и передает их на калтователь. Далее панели устанавливаются на кассетную вагонетку, направляемую в прямоточные туннельные сушилки с температурой теплоносителя при входе 105...130 °С и длительностью сушки 18...24 ч.

● **Гипсовые плиты** для перегородок выпускают сплошными и пустотелыми размером 800×400 мм, шириной 80...100 мм. На совре-

менных заводах изготовление плит ведут на высокопроизводительных карусельных формовочных машинах (рис. 2.3), работающих на быстротвердеющей массе. Чтобы конец схватывания гипса наступал не позднее 5...6 мин, в состав гипсовой массы вводят ускорители схватывания в виде двуводного гипса (2...3%) и подогревают воду до 30...35 °С. Составляющие материалы (гипс, древесные опилки, ускоритель схватывания) поступают через дозирующие устройства сначала в винтовую смеситель и далее в быстроходный горизонтальный гипсосмеситель, где перемешиваются на 1-й стадии в сухом состоянии, а на 2-й — с водой; 28 двояных форм карусели последовательно заполняются однородной гипсовой массой. За время полного поворота формовочного стола гипс схватывается, приобретая прочность, позволяющую выталкивать плиту из формы. После освобождения формы стенки ее закрываются, форма очищается, смазывается, и цикл повторяется. Отформованные плиты сушат в туннельных сушилках с рециркуляционной системой дымовыми газами или нагретым в калориферах воздухом. Высушенные плиты поступают на склад готовой продукции.

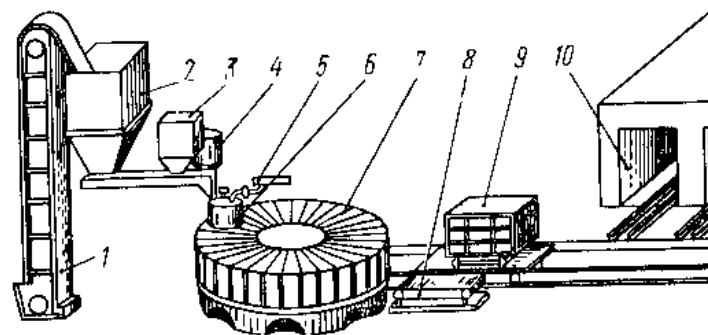


Рис. 23 Технологическая схема производства перегородочных плит на карусельной машине.

1 — элеватор; 2 — промежуточный бункер; 3 — дозатор гипса; 4 — дозатор опилок; 5 — подача воды; 6 — быстроходный горизонтальный гипсосмеситель; 7 — карусельная формовочная машина; 8 — приемный транспортер; 9 — сушильная вагонетка; 10 — туннельное сушило.

● **Гипсовые вентиляционные блоки** для жилищного строительства изготавливают на гипсоцементно-пуццоловом вяжущем размером «на этаж» со сквозными круглыми пустотами диаметром 140 мм и толщиной стенок 20 мм. Сухие компоненты, отмеренные объемными дозаторами, поступают в горизонтальный растворосмеситель непрерывного действия. Смесь тщательно перемешивают, а затем через форсунки подают воду. Приготовленную массу направляют в форму с пустотообразователями — пуансонами. Форма заполняется гипсобетоном в процессе ее перемещения и проходит под ленточным транспортером. Поверхность блока при этом выравнивается. Отформованные блоки устанавливают на кассетную сушильную



вагонетку и выдерживают в течение 3...4 ч в нормальных условиях (до полной гидратации вяжущего), а затем отправляют в туннельные сушилки на 12...13 ч с температурой поступающих газов до 120°C. Высушенные изделия подают на склад.

● **Гипсокартонные листы** — листовый отделочный материал, состоящий из отвердевшего гипсового сердечника, прочно соединенного с картонной оболочкой, покрывающей все плоскости листов и их грани. Технологический процесс производства гипсокартонных листов включает: приготовление формовочной массы, подготовку картона, формование непрерывной ленты штукатурки, разрезание ее на отдельные листы после твердения гипса, сушку листов в многоярусных туннельных сушилах.

Гипсовое вяжущее из бункера подают в шнековый смеситель вместе с замедлителем схватывания. Из смесителя порошкообразная смесь направляется в насыщающий конвейер — ленточный транспортер, проходящий через ванну, наполненную водным раствором сульфитно-дрожжевой бражки. Гипс при этом поглощает воду,

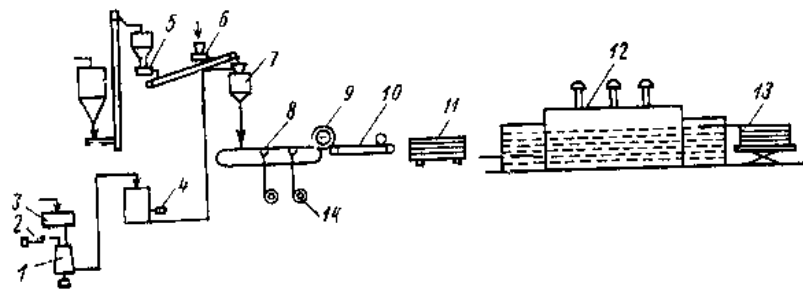


Рис. 24. Технологическая схема получения гипсоволокнистых листов мокрым способом.

1 — гидродушильщик, 2 — дозатор макулатуры, 3 — дозатор воды, 4 — дозирочный насос для бумажной пульпы; 5 — дозатор гипса; 6 — дозатор добавок; 7 — смеситель; 8 — сушко-плоскосетчатой машины; 9 — форматный барабан; 10 — транспортер; 11 — штабель предварительного твердения листов; 12 — сушило; 13 — штабелеукладчик; 14 — вакуум-насос

необходимую для образования гипсового теста. Гипсовая масса поступает в пропеллерно-скребковый смеситель, где окончательно перемешивается и подается на формующий стол. Туда же поступают две картонные ленты (нижняя и верхняя). По нижней картонной ленте равномерно распределяется гипсовая масса. Кромкозагибочные приспособления загибают края нижней картонной ленты вверх, а затем к ним под формующими валками приклеивается жидким стеклом верхняя картонная лента. Сформованная гипсокартонная лента по конвейеру схватывания передвигается к отрезному станку. За это время гипсовый сердечник схватывается с картоном, на отрезном станке разрезается на отдельные листы, которые поступают на ускоряющий рольганг и затем в туннельное сушило.

Недостатками гипсокартонных листов являются повышенная хрупкость, пониженная прочность на изгиб, невозможность механической обработки. Эти недостатки устраняются при переходе на производство гипсоволокнистых листов, в которых арматурой служит не внешняя картонная оболочка, а армирующие волокна (в основном бумажная макулатура) равномерно распределены в массе изделия. Технологическая схема производства гипсоволокнистых листов представлена на рис. 24. Бумажную макулатуру распушивают в гидродушителе. Пульпу перекачивают в смеситель, куда подают также гипс и клеящие добавки. Готовая гипсоволокнистая масса по наклонному желобу попадает в камеру плоскосетчатой машины на бесконечно движущееся сукно. При движении над камерами вакуум-отсоса гипсоволокнистый слой обезвоживается и в конце горизонтального участка наматывается на форматный барабан. Когда слой на барабане достигает заданной толщины, нож разрезает его и отделяет от барабана. Отформованные листы снимаются с ленты и укладываются в штабель, где происходит предварительное их твердение. Затем штабель разбирают, а листы поступают на сушку.

● **Гипсоволокнистые листы** обладают неоспоримыми преимуществами как в производстве, так и в применении: разрушающая их нагрузка в 1,2...3 раза выше; они имеют повышенные прочность на изгиб и звукоизоляционную способность, хорошо удерживают гвозди, шурупы; легко обрабатываются, ремонтируются и т. д. Сфера их применения благодаря этому значительно шире. Весьма ценно, что производство гипсоволокнистых листов базируется на использовании макулатуры, в то время как для изготовления гипсокартонных листов нужен специальный высококачественный картон.

## § 2.4. Основы технологии строительной воздушной извести

● **Строительной воздушной известью** называют продукт, полученный в результате обжига ниже температуры спекания кальциево-магниевого карбонатных горных пород (известняка, мела и т. д.), состоящих преимущественно из оксида кальция.

Различают несколько видов воздушной извести: *негашеную комовую, известь-кипелку*, состоящую главным образом из  $\text{CaO}$ ; *негашеную молотую известь* того же состава — порошкообразный продукт помола комовой извести; *гидратную известь-пушонку* в виде тонкого порошка, получаемого в результате гашения комовой извести определенным количеством воды и состоящего в основном из  $\text{Ca(OH)}_2$ , и *известковое тесто* — тестообразный продукт, получаемый при гашении комовой извести избытком воды и состоящий главным образом из  $\text{Ca(OH)}_2$  и механически примешанной воды. Разбавленное водой известковое тесто превращается в известковое молоко — суспензию, в которой гидроксид кальция находится как в растворенном, так и во взвешенном состоянии.

● **Сырьем** для производства строительной воздушной извести являются карбонатные породы — известняк, мел, известняк-ракушечник, мрамор, известковый туф и др., содержащие в основном углекислый кальций  $\text{CaCO}_3$ . Чаще применяют известняки и мел. Их качество зависит от структуры, количества примесей и равномерности распределения их в массе сырья. По химическому составу карбонатные породы разделяют на семь классов (табл. 2.1).

Из сырья классов А и Б получают *жирную* и *тощую маломagneзиальную известь*, отличающуюся пластичностью, из классов В и Г — *магнезиальную*, из классов Д и Е — *доломитовую*, а из класса Ж — *гидравлическую известь*.

● **Технология производства** известковых вяжущих включает следующие технологические операции: *добычу сырья, подготовку сырья и топлива к обжигу (дробление и классификация), обжиг, превращение продукта обжига в порошок путем гашения или помола, упаковку* (рис. 2.5). Добывают сырье открытым способом, взрывом или прямой экскавацией с погрузкой породы на транспортные средства. Требуемая величина кусков, поступающих на обжиг, определяется типом печи. Загружаемый в шахтную печь известняк имеет обычно размеры 60..200 мм. При обжиге во вращающихся

Таблица 2.1. Классификация карбонатных горных пород

Компонент	Содержание % по массе, в зависимости от класса						
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
$\text{CaCO}_3$ , не менее	92	86	77	72	52	47	72
$\text{MgCO}_3$ , не более	5	6	20	20	45	45	8
Глинистые примеси, не более	3	8	3	8	3	8	20

печах применяют фракции 5..20 мм, поэтому сырье, поступающее из карьера, подвергают дроблению. Выбор дробильного агрегата зависит от вида сырья. Прочные известняки дробят на щековых дробилках; мел — на зубчатых вальцах. В зависимости от размеров исходных кусков известняка и заданной фракции дробление может быть одно- и двухступенчатым по открытому и замкнутому циклам. Дробление, рассев и сортировку известняка лучше осуществлять на карьере, что удешевляет транспортирование и упрощает технологический процесс.

Обжиг сырья производится в шахтных или вращающихся печах. Полученный при обжиге полупродукт — комовую негашеную известь — транспортируют на склад для отгрузки или можно подвергать ее на заводе дальнейшей переработке с переводом в порошкообразное состояние.

В отличие от других вяжущих воздушная известь превращается в порошок не только при помоле, но и самопроизвольно рассыпается при затворении ее водой (при гашении). Поэтому из комовой негашеной извести можно получить два различных продукта: при помоле — молотую негашеную известь и при гашении — гашеную известь.

Помол чаще всего осуществляют в шаровых одно- и многокамерных мельницах. По, как правило, ведут по замкнутому циклу. Крупные фракции из сепаратора направляют на вторичное измельчение, а мелкие — на склад готовой продукции. Производство молотой негашеной извести связано со значительными затратами электроэнергии — 114..152 МДж/т и более, в то время как при производстве гашеной извести требуется лишь 13..15 МДж/т.

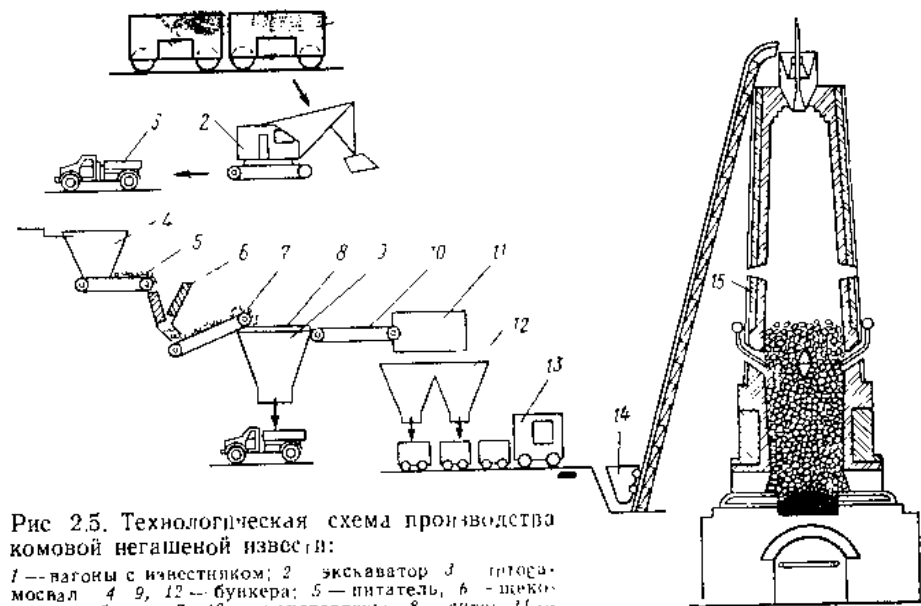


Рис 2.5. Технологическая схема производства комовой негашеной извести:

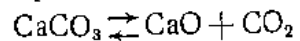
1 — вагоны с известняком; 2 — экскаватор; 3 — протомосал; 4, 9, 12 — бункера; 5 — питатель; 6 — щековая дробилка; 7, 10 — транспортеры; 8 — сито; 11 — цилиндрическое сито; 13 — вагонетки; 14 — скиповый подъемник; 15 — шахтная печь.

Технология производства гашеной извести (пушонки) складывается из: *дробления комовой извести, гашения ее, silosования продукта гашения, отсева неогасившихся частиц, помола их и смешивания с гашеной известью*. Эти операции более подробно разбираются ниже.

Комовую негашеную известь транспортируют в крытых вагонах навалом или в контейнерах. Молотую негашеную известь и гашеную известь транспортируют в бумажных битуминизированных мешках, в герметически закрытых контейнерах или автомашинах-цементовозах. При погрузке, перевозке, выгрузке и хранении известь нужно предохранять от увлажнения. Общий срок хранения молотой из-

вести после обжига до употребления не должен превышать 20 сут. Заводское производство пушонки по сравнению с производством комовой негашеной извести имеет ряд преимуществ: непогасившиеся частицы отделяются уже на заводе; удобнее транспортировка, увеличиваются сроки хранения. Вместе с тем себестоимость пушонки выше, так как выпуск ее требует организации гидратного цеха и упаковки продукта. Стоимость транспортировки пушонки также больше, так как она содержит 32...35% воды.

● **Обжиг карбонатсодержащих пород** — основная операция при производстве воздушной извести, при которой известняк или мел декарбонизируются и превращаются в известь:



Как правило, обжигу подвергают твердые карбонатные породы в виде кусков, но возможна тепловая обработка и меловых шламов. Температура разложения углекислого кальция зависит от парциального давления углекислоты в окружающем пространстве. Разложение  $\text{CaCO}_3$  пачищается уже при 600°C, и с повышением температуры реакция ускоряется. При 900°C парциальное давление углекислого газа достигает 0,1 МПа, поэтому эту температуру иногда называют температурой разложения известняка. Дальнейшее повышение температуры значительно увеличивает скорость разложения, но отрицательно сказывается на качестве извести — ухудшает ее реакционную способность вследствие роста размеров кристаллов  $\text{CaO}$ .

На каждом заводе температуру обжига устанавливают в зависимости от плотности сырья, наличия примесей, типа печи и ряда других факторов. При обжиге плотных известняков удаление углекислоты из кусков затруднено и требует повышения температуры. Наличие глинистых примесей облегчает выделение при обжиге углекислого газа, способствует снижению температуры обжига. Практически в заводских условиях температура обжига карбонатов составляет 1000...1200°C.

Диссоциация углекислого кальция — обратимая реакция. Установившееся при какой-либо температуре химическое равновесие в системе  $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$  можно сместить слева направо удалением некоторого количества  $\text{CO}_2$ , что вызывает диссоциацию новых частиц  $\text{CaCO}_3$ . Это дает возможность интенсифицировать процесс разложения известняка путем усиления тяги в печи.

Характер процессов, протекающих при обжиге мела или известняка, зависит от содержания в них примесей, влияющих и на свойства обожженного материала. При температуре 900...1200°C образующийся оксид кальция взаимодействует с кислотными оксидами примесей  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с образованием силикатов, ферритов и алюминатов кальция. Количество их зависит от химико-минералогического состава исходного сырья. Чем больше в нем глинистых и песчаных примесей, тем большее количество оксида кальция

связывается, медленнее гасится известь, но в большей степени проявляются ее гидравлические свойства.

Продолжительность обжига определяется также размером кусков обжигаемого продукта. Для увеличения производительности известеобжигательных печей и снижения пережога поверхностных слоев кусков желательна в допустимых пределах уменьшение их размеров. При обжиге кусков различной крупности режим процесса определяют исходя из времени, необходимого для обжига кусков средних размеров.

Основную массу извести получают в *шахтных печах*. Известняк в шахтную печь загружают сверху периодически или непрерывно. По мере выгрузки извести материал опускается вниз, навстречу потоку горячих газов. По характеру процессов, протекающих в шахтной печи, различают три зоны: подогрева, обжига и охлаждения. В *зоне подогрева* в верхней части печи с температурой печного пространства до 900°C известняк подсушивается, подогревается и в нем выгорают органические примеси. В средней части печи — в *зоне обжига* (900...1300°C) происходит разложение  $\text{CaCO}_3$ . В нижней части печи — *зоне охлаждения* — известь охлаждается поступающим снизу воздухом с 900 до 50...100°C.

Шахтные печи различают по видам и способам сжигания топлива. В *пересыпных печах* топливо подается вместе с сырьем и сгорает между кусками обжигаемого материала. Здесь применяют топливо с малым содержанием летучих — антрацит, кокс и каменный уголь, дающие при горении короткое пламя. В *печах с выносными топками* последние расположены по внешнему периметру печи. В них сжигается твердое длиннопламенное топливо с большим содержанием летучих: бурый уголь, торф, дрова и сланцы и образующиеся горячие газы поступают в зону обжига. В *газовых печах* топливом служит природный газ, который подается непосредственно в шахту и сжигается в среде материала.

Наибольшее распространение получили шахтные пересыпные печи, которые требуют минимального расхода топлива, просты по конструкции, удобны в эксплуатации, имеют меньшие потери теплоты. Но поскольку топливо сгорает в среде обжигаемого материала, известь загрязняется золой и качество ее снижается. Полученный материал неравномерно обожжен, в нем присутствуют пережженные медленно гидратирующиеся куски.

Преимущество *полугазовых печей* — использование местного длиннопламенного топлива. Обжиг на природном газе позволяет повысить качество извести, увеличить производительность печи, улучшить условия труда, облегчает автоматизацию как сжигания топлива, так и всего технологического процесса. Однако основной недостаток всех шахтных печей — неравномерность обжига, которая возрастает с увеличением диаметра печи. Это ограничивает возможность повышения их производительности и снижает качество получаемого продукта.

Вращающиеся печи обеспечивают компактность технологической схемы, позволяют автоматизировать процесс и снизить капитальные затраты на строительство. С их помощью может быть получена известь высокого качества обжигом при средних и высоких температурах. Производительность известьобжигательных вращающихся печей достигает 400...500 т/сут, т. е. в 2...4 раза выше, чем у шахтных печей. В то же время использование вращающихся печей связано с повышенным расходом топлива, обусловленным потерей теплоты с отходящими газами и значительным уносом пыли из печи и холодильника. Их рекомендуют, в первую очередь, для обжига мелочи размером 5...20 мм (которая при использовании шахтных печей идет в отход) и мягких карбонатных пород (мела и др.).

● **Гашение** — особый технологический процесс, используемый только в производстве извести. Он протекает по реакции:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_2$ . При гашении извести выделяется значительное количество теплоты: 1160 кДж на 1 кг оксида кальция. Выделяющаяся теплота вызывает кипение воды, поэтому негашеную известь называют кипелкой. Превращение комовой извести в порошок происходит под действием паров воды, выделяющихся при гашении извести.

Гашение протекает медленно, вследствие образования на поверхности известковых зерен тестообразного слоя, препятствующего доступу воды к внутренним слоям извести. Для ускорения гашения рекомендуется энергичное перемешивание массы и повышение температуры используемой воды. По времени гашения различают три вида извести: быстрогасящуюся, среднегасящуюся и медленногасящуюся — со временем гашения соответственно не более 8 мин, не более 25 мин и не менее 25 мин.

Теоретически для гашения извести в пушонку необходимо 32,13% воды от массы кипелки. Практически ее берут в 2...3 раза больше, так как значительная часть воды испаряется, т. е. около 70% от массы извести. Необходимое для гашения извести в тесто количество воды в среднем составляет около 2,5 л на 1 кг кипелки при содержании воды в конечном продукте — известковом тесте — порядка 50%.

подавляющая часть извести-пушонки производится механизированно на заводах в гидрататорах периодического или непрерывного действия. При энергичном перемешивании извести с водой происходит быстрая гидратация. Получаемое пластичное тесто в результате испарения влаги превращается в порошок. В дальнейшем идет гидратация непогасившихся частиц и сушка порошка за счет накопленной теплоты.

Для гашения извести в тесто в настоящее время широко применяют механизированный способ, осуществляемый по следующей схеме: складирование комовой извести → дробление → гашение с по-

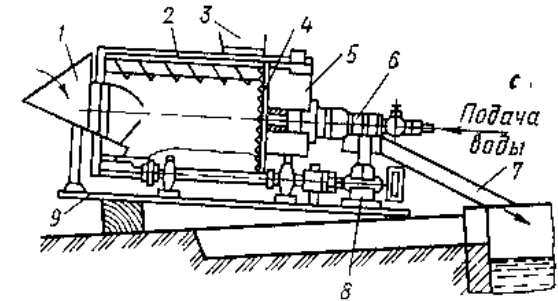
лучением известкового молока → отстаивание молока для получения теста.

Гашение извести в тесто осуществляется в барабанных гасителях, известегасителях типа «ЮЗ», термомеханических известегасилках.

На рис. 2.6 представлена современная термомеханическая известегасилка непрерывного действия, работающая с использованием теплоты, выделяющейся при гидратации. Барабан известегасилки состоит из двух цилиндров, вставленных друг в друга с зазором и образующих тем самым теплообменник, в который поступает вода. За счет теплоты, выделяющейся при гидратации, она подогревается до 40...45 °С и поступает для гашения внутрь барабана. Барабан разделен решетчатой диафрагмой на камеры гашения и измельчения. В последней шарами измельчаются непогасившиеся частицы.

Рис. 2.6. Термомеханическая известегасилка непрерывного действия:

1 — загрузочный бункер, 2 — барабан, 3 — люк разгрузки отходов; 4 — решетчатая диафрагма, 5 — камера измельчения, 6 — патрубок; 7 — сливной доток; 8 — электродвигатель, 9 — сварная рама



● **Твердение** известковых вяжущих происходит в результате испарения воды и кристаллизации гидроксида кальция. При потере влаги мельчайшие частицы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  сближаются между собой и срастаются, образуя известковый каркас. По мере испарения воды кристаллов становится все больше, они переплетаются, превращаясь в прочный кристаллический сросток. Одновременно происходит также карбонизация гидроксида кальция за счет поглощения им углекислоты из воздуха:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 + n\text{H}_2\text{O} = \text{CaCO}_3 + (n + 1)\text{H}_2\text{O}$ . Это приводит к уплотнению, упрочнению структуры, а также повышению водостойкости изделий, так как растворимость  $\text{CaCO}_3$  в 40 раз меньше растворимости  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Однако твердеет гашеная известь медленно, и прочность известковых растворов невысока.

При затворении водой молотой негашеной извести происходит гидратационное ее твердение, выражающееся в гидратации оксида кальция и последующей коллоидации и кристаллизации продукта реакции. В дальнейшем наблюдается рост кристаллов, сопровождающийся увеличением площади контактов их срастания и повышением прочности камня.

● **Свойства** извести следующие: истинная плотность негашеной извести колеблется в пределах 3,1...3,3 г/см<sup>3</sup> и увеличивается с повышением температуры обжига; средняя плотность молотой извести в рыхлонасыпанном состоянии равна 900...1100 кг/м<sup>3</sup>, в уплотненном — 1100...1300 кг/м<sup>3</sup>, гидратной извести (пушонки) — соответственно 400...500 и 600...700 кг/м<sup>3</sup>; известковое тесто представляет собой пластичную массу белого цвета плотностью 1300...1400 кг/м<sup>3</sup>.

Качество получаемой извести характеризуется ее активностью, которая определяется содержанием в ней оксидов кальция и магния. Активность извести, равная, например, 85%, означает, что в ней содержится 85% (по массе) СаО и MgO, способных к гидратации. Чем выше активность извести, тем лучше ее вяжущие свойства и меньше расход для приготовления строительных растворов. У выпускаемой промышленностью негашеной извести без добавок активность 70...90%, а с добавками — 55...65%. Активность гашеной извести 60...67% (без добавок) и 40...50% (с добавками).

В зависимости от пластичности получаемого продукта различают жирную и тощую известь. Первая быстро гасится, выделяет при гашении много теплоты и дает жирное на ощупь пластичное тесто. Вторая гасится медленно и дает менее пластичное тесто, в котором прощупываются мелкие зерна, не распавшиеся при гашении.

Важный показатель строительных свойств извести — выход теста при гашении 1 кг извести. У высококачественной жирной извести он составляет 2,5...3,5 л/кг, а у более тощей — 1,8...2,4 л/кг. Известковые растворы — вполне воздухостойкие материалы, однако во влажных условиях они размокают, теряя прочность. Строительная известь — типичное воздушное вяжущее вещество. Прочность воздушной извести стандартом не нормируется. У гидратной извести-пушонки и известкового теста она обычно невелика и через 28 сут составляет 0,5...1,0 МПа, а у молотой негашеной извести — 1,0...5,0 МПа.

Молотая негашеная известь заметно отличается от гашеной и другими свойствами. Она схватывается за 30...60 мин, а гашеная за несколько суток. Растворы на ней удобоукладываемы при значительно меньшем количестве воды, чем на гашеной извести-пушонке или известковом тесте. Молотая негашеная известь химически связывает воду значительно быстрее и в большем количестве, чем другие вяжущие. Изделия из нее отличаются большей плотностью и поэтому более водостойки.

● **Применяется** известь в различных отраслях народного хозяйства (табл. 2.2).

Производство воздушной извести требует сравнительно небольших затрат топлива и энергии. Однако себестоимость ее еще высока вследствие недостаточного технического уровня и слабой концентрации ее производства. На мелких заводах со среднегодовой мощностью до 10 тыс. т себестоимость извести почти в 2 раза выше, чем на крупных предприятиях.

Дальнейший рост производства извести будет базироваться на повышении степени концентрации и технической оснащенности производства за счет строительства специализированных высокопроизводительных известковых заводов мощностью 300 тыс. т в год и более. Мелкие и нерентабельные предприятия, оснащенные устаревшими печами, должны постепенно ликвидироваться. Большое значение имеет обеспечение известковых заводов фракционированным

Таблица 2.2. Распределение извести по областям применения

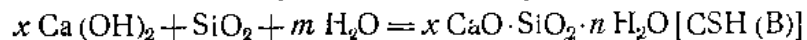
Область применения	Целевое назначение	Количество, % (к общему выпуску)
Строительство	Кладочные растворы, отделочные работы	25,6
Промышленность строительных материалов	Силикатный кирпич, силикатные бетоны	23
Черная металлургия	Выплавка стали, агломерация руд	23
Цветная металлургия	Флюсование руд	1
Химическая промышленность	Производство соды, карбида и гипохлорита кальция	12
Пищевая промышленность	Производство сахара	10,5
Целлюлозно-бумажная промышленность	Регенерация шлама	0,6
Сельское хозяйство, энергетика, коммунальное хозяйство	Водоочистка, дезинфекция и др.	4,3

известняком и концентрация карьерного хозяйства. Наиболее целесообразно строительство комплексных известковых заводов, которые наряду с производством комовой извести, негашеной молотой и гидратной извести-пушонки могут выпускать известково-смешанные цементы, известняковый заполнитель и известковую муку, применяемую в сельском хозяйстве.

### § 2.5. Основы технологии изделий на основе известковых вяжущих веществ

● **Теоретические основы твердения известково-кремнеземистых композиций.** В 1880 г. было установлено, что при автоклавной обработке известково-песчаных смесей при давлении пара 0,8 МПа и температуре выше 180°C могут быть получены прочные, водостойкие и долговечные изделия. Сущность превращения известково-песчаной смеси из легкоразмокающего слабого материала в прочный и водостойкий камень заключается в следующем. Если при обычных температурах взаимодействием извести и песка можно пренебречь, то при повышенном давлении водяного пара 0,9...1,3 МПа и соответственно температуре 175...190°C они взаимодействуют достаточно интенсивно, при этом прочность камня обеспечивается не физиче-

ским сцеплением гидратных новообразований вяжущего с зернами заполнителя, а химическим взаимодействием компонентов сырьевой смеси — извести и кварцевого песка по реакции



Содержание извести в силикатной смеси устанавливают в зависимости от ее активности и дисперсности, а также количества молотых кремнеземистых добавок (обычно 5...18%). С повышением содержания извести плотность и прочность силикатного бетона увеличиваются, но при избытке извести часть ее после гидротермальной обработки остается в несвязанном состоянии и качество бетона падает. Чем выше степень уплотнения силикатной смеси, тем меньше расход извести.

Песок обеспечивает получение высокой прочности только в том случае, если в нем содержится достаточное количество тонких фракций. Практикуется совместный помол в шаровых мельницах извести и частиц песка, что обеспечивает хорошее их перемешивание и измельчение извести абразивными зернами песка, повышая ее дисперсность до 4000...5000 см<sup>2</sup>/г, а дисперсность песка — до 2000...2500 см<sup>2</sup>/г. Кварц более прочен, чем гидросиликаты кальция, связывающие песчинки, поэтому увеличение количества новообразований за счет уменьшения доли кристаллического кварца снижает прочность и долговечность образующегося камня. Цементирующее вещество необходимо лишь в таком количестве, которое позволило бы покрыть все песчинки тонким слоем гидросиликатного «клея», заполнить углубления в поверхности песчинок и промежутки между зернами.

На гидротермальном твердении базируется технология силикатных бетонов, получаемых на основе известково-кремнеземистых вяжущих (известково-песчаных, известково-золиных и др.).

● **Принципиальная технологическая схема получения силикатных изделий.** Материалами для изготовления силикатных бетонов и изделий являются воздушная известь и кварцевый песок. Известь применяют в виде молотой негашеной, частично загашенной или гашеной гидратной. Она должна быстро гаситься и содержать не более 5% MgO. Заполнителем служат средние, мелкие и очень мелкие кварцевые пески. Наличие примесей в песке отрицательно влияет на качество изделий: слюда понижает прочность и ее содержание в песке не должно превышать 0,5%; органические примеси вызывают вспучивание и также понижают прочность; ограничивается содержание в песке сернистых примесей до 1% в пересчете на SO<sub>3</sub>. Не допускаются в песке крупные включения глины, так как они снижают качество изделий. Особенно строгие требования предъявляют к песку для производства силикатного кирпича. При этом различают песок как компонент вяжущего и песок как заполнитель. Содержание кварца в песке, подвергаемом измельчению в составе

вяжущего, должно быть не менее 75%, а в песке-заполнителе — не менее 50%.

Заполнителями для силикатных бетонов могут служить также доменные гранулированные шлаки и золы. Техническими условиями предусмотрено использование зол, содержащих по массе не менее 40% SiO<sub>2</sub>, не более 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 3% MgO. Тонкость помола золы должна быть не менее 260 м<sup>2</sup>/кг.

Характер технологического процесса изготовления силикатных изделий в значительной мере определяется видом используемой извести. В зависимости от него выбирается способ приготовления силикатобетонных смесей: *гидратный или кипелочный*. При гидратном способе известь предварительно гасят в пушонку. При кипелочном в смеси также может быть определенное количество гашеной извести, но часть ее вводят обязательно в виде извести-кипелки, сохраняющей способность к гидратационному твердению. Кипелочный способ позволяет получать бетоны с повышенными показателями плотности, прочности и атмосферостойкости, но он может быть использован только при изготовлении изделий из пластичной бетонной смеси.

При гидратном способе известь в смеси с песком гасят в гасильных барабанах (*барабанная схема*) или в силосах (*силосная схема*). При барабанной схеме песок и тонкомолотая негашеная известь поступают в гасильный барабан, который герметически закрывают. В течение 3...5 мин перемешивают сухие материалы, а затем под давлением 0,15...0,2 МПа подают острый пар. В непрерывно вращающемся барабане происходит гашение извести в течение 40 мин.

При силосной схеме предварительно подготовленный песок и тонкомолотую негашеную известь направляют в смеситель, куда подают и воду. Увлажненную известково-песочную массу загружают в силосы и выдерживают для гашения 6...9 ч. Затем известково-песчаную массу дополнительно перемешивают и догашивают в смесительных бегунах. Силосная схема значительно проще барабанной, на гашение извести не расходуется пар, но продолжительность гашения в силосах почти в 10 раз больше, чем в барабанах, что является существенным технико-экономическим недостатком силосной схемы.

Для улучшения качества бетона как при гидратном, так и при кипелочном способе подготовки смесей часть песка (15...20% общего количества) измельчают до удельной поверхности 2000...2500 см<sup>2</sup>/г. Для замедления схватывания вяжущего в силикатную смесь вводят двуводный гипс или водный раствор СДБ. Окончательно перемешивание всех компонентов силикатобетонных смесей производят в течение 3...5 мин главным образом в бетоносмесителях принудительного действия. Приготовленные смеси не рекомендуется выдерживать до уплотнения более 30 мин.



Силикатные бетоны изготовляют преимущественно мелкозернистыми (без крупного заполнителя), что обуславливает повышенную их жесткость. Методы уплотнения должны быть достаточно интенсивными: вибрация с пригрузом, трамбование, прессование. Тепло-вая обработка силикатных бетонов производится в автоклавах (рис. 2.7) с герметически закрывающимися крышками. В автоклав подают пар давлением до 0,8...1,0 МПа и это давление выдерживают 6...8 ч. Давление пара поднимают и снижают в течение 1,5 ч. Готовые изделия поступают на склад.

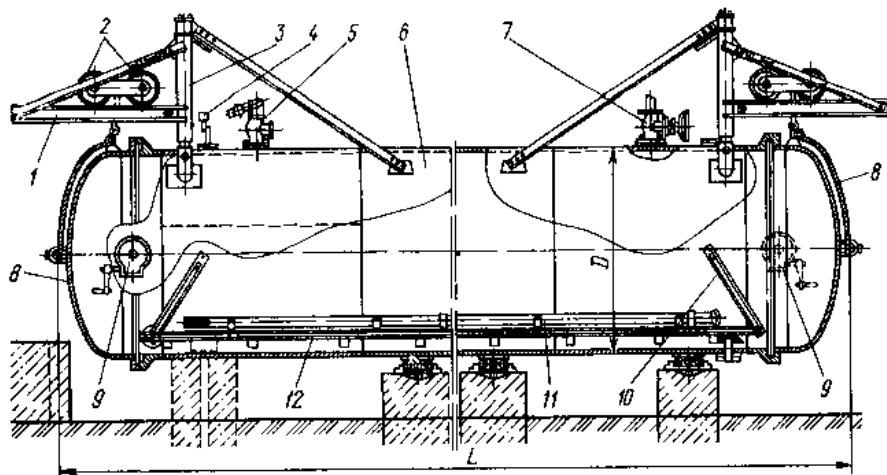


Рис. 2.7. Автоклав:

1 — крошчай; 2 — тележка, 3 — стойка, 4 — манометр, 5 — предохранительный клапан; 6 — металлический цилиндр, 7 — шпундер с краном, 8 — крышка, 9 — лебедка; 10 — рельсовый мостик, 11 — паропровод, 12 — рельсы

По объему производства силикатный бетон занимает третье место среди основных конструкционных материалов. На отечественных предприятиях освоен выпуск силикатных изделий практически той же номенклатуры, что и из цементного бетона: панелей и блоков внутренних стен, панелей перекрытий, ступеней, плит, колонн, балок и т. д. Эти детали в течение многих лет применяют в строительстве 9...12-этажных жилых зданий.

● Крупноразмерные изделия из силикатного бетона получают из затвердевшей в автоклаве уплотненной смеси, состоящей из кварцевого песка (70...80%), молотого песка (8...15%) и молотой негашеной извести (6...10%). Известь применяют с удельной поверхностью 4000...5000 см<sup>2</sup>/г, а песок — 2000...2500 см<sup>2</sup>/г. Для силикатных изделий с прочностью до 10...15 МПа песок можно применять в немолотом виде с добавкой извести (6...10%) в расчете на активную СаО.

Технология изготовления силикатобетонных изделий (рис. 2.8) включает следующие основные операции: отделение крупных фракций песка, дробление извести; приготовление известково-песчаного вяжущего путем помола извести, песка и гипса в шаровых мельни-

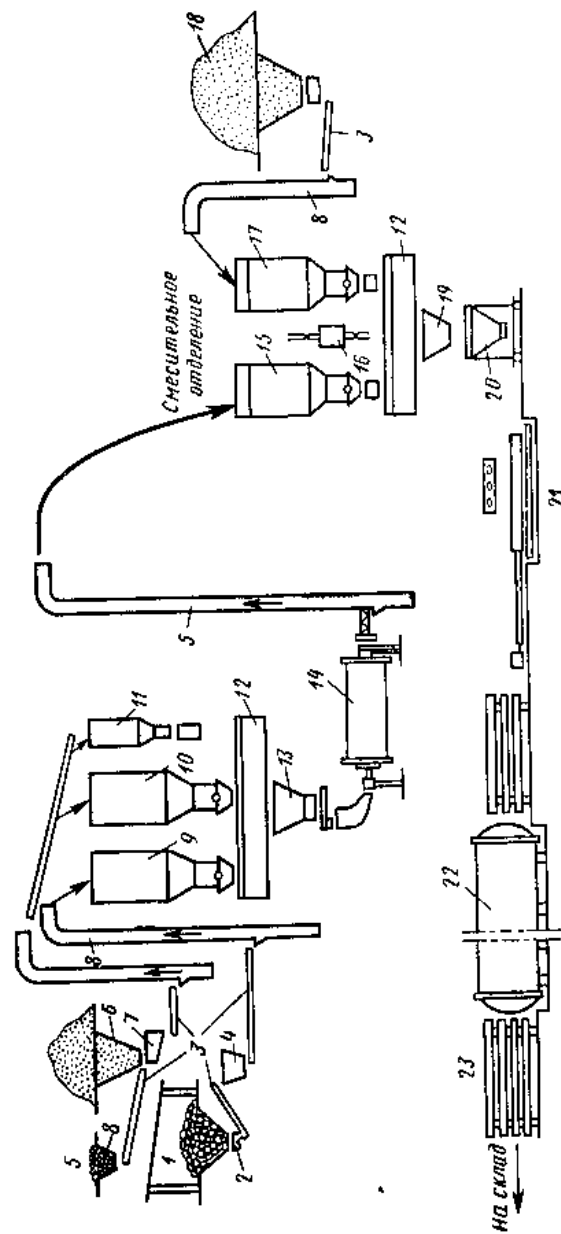


Рис. 2.8. Технологическая схема производства изделий из силикатного бетона:

1 — склад извести; 2 — питатель, 3 — ленточный конвейер; 4 — песковая дробилка; 5 — склад гипса; 6 — бункер пес-ка; 7 — вибротролот; 8 — элеватор; 9, 10, 11 — расходные бункера извести, песка, гипса; 12 — бетоносмеситель, 13 — сборный бункер; 14 — шаровая мельница; 15 — бункер вяжущего, 16 — дозатор воды, 17 — расходный бункер пес-ка; 18 — склад песка; 19 — расходный бункер силикатобетонной смеси, 20 — бетоноукладчик; 21 — пост формовки; 22 — автоклав; 23 — пост выдержки

цах; приготовление силикатно-бетонной смеси смешиванием немолотого песка с тонкомолотой известково-песчаной смесью и водой в бетоносмесителях принудительного перемешивания; формование изделий на виброплощадках и их выдерживание; твердение отформованных изделий в автоклавах по режиму: подъем давления пара до 0,8 МПа — 1,5..2 ч; выдерживание при этом давлении — 8..9 ч и спуск давления — 2..3 ч.

Крупноразмерные вибрированные силикатные изделия имеют прочность при сжатии 15..40 МПа, среднюю плотность — 1800..2100 кг/м<sup>3</sup>, морозостойкость — 50 циклов и более. При силовом вибропрокате силикатные изделия достигают прочности 60 МПа при плотности до 2300 кг/м<sup>3</sup>. Водопоглощение силикатных бетонов составляет 10..18%. Эти изделия имеют недостаток — повышенную деформативность и, как следствие, более низкий (в 1,5..2,5 раза) модуль упругости по сравнению с цементным бетоном на крупном заполнителе.

Применяют плотные силикатобетонные изделия для строительства жилых промышленных и общественных зданий, за исключением фундаментов и других конструкций, работающих в условиях высокой влажности. Не уступаая железобетонным по своим техническим и строительно-эксплуатационным качествам, силикатобетонные конструкции имеют существенные экономические преимущества: меньшую стоимость сырья, почти вдвое меньший расход извести, чем цемента, небольшой радиус перевозки сырьевых материалов, низкую заводскую себестоимость (на 20..30% ниже аналогичных железобетонных). Кроме того, удельные капитальные вложения в строительство предприятий по производству силикатобетонных изделий на 15..30% меньше по сравнению с предприятиями, изготавливающими изделия из цементных тяжелых бетонов.

Сопоставление технико-экономических показателей конструкций из различных материалов с конструкциями из силикатобетона показывает, что уже при современных технико-экономических показателях производства и монтажа рост применения силикатобетонных крупнопанельных конструкций в общем объеме конструкций для крупнопанельного домостроения позволяет значительно снизить стоимость строительства.

● **Силикатные облицовочные плиты** изготавливают из смеси молотой негашеной извести и кварцевого песка. Для повышения прочности и долговечности плит добавляют молотый песок двумя способами: в виде шлама, получаемого мокрым помолотом песка, и в виде сухой смеси с известью. Содержание воды в шламе составляет 30..35%, а шлама по отношению к немолотому песку — 10..15%. При сухом способе помол негашеной извести с добавкой 20..30% песка производят в шаровой мельнице. Приготовленную сухую смесь подают в расходный бункер извести, а оттуда через дозатор в растворосмеситель для получения тщательно перемешанной массы с влажностью 14..18%. Формуют силикатные облицовочные плиты на

виброплощадке. Отформованные изделия выдерживают при температуре 18..22°C в течение 4..8 ч до полного схватывания массы, затем в случае необходимости обрабатывают поверхность изделий и направляют в автоклав для твердения, где они за 12..14 ч достигают прочности при сжатии 20 МПа и более. Режим пропаривания облицовочных плит следующий: подъем давления пара до 0,8 МПа — 4 ч, выдержка при этом давлении — 6 ч, снижение давления — 2..3 ч. Весь процесс твердения изделий — 18..22 ч.

Полученные изделия отвечают двум основным требованиям, предъявляемым к облицовочным материалам: долговечность и высокие декоративные качества, не утрачиваемые со временем. Они имеют чистый белый цвет или могут легко окрашиваться в любые цвета минеральными щелочестойкими пигментами, легко формуруются. Плотность плит — 1900..1950 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии — 20..30 МПа, водопоглощение по массе — не более 16%, морозостойкость — не менее F25. Силикатные облицовочные плиты применяют для отделки кирпичных стен жилых, гражданских и промышленных зданий.

● **Силикатный кирпич** — наиболее распространенный вид силикатных изделий — изготавливают как *барабанным*, так и *силосным способом* из известково-песчаной смеси следующего состава: 92..95% чистого кварцевого песка, 5..8% воздушной извести и примерно 7% воды.

Технологическая схема производства силикатного кирпича по барабанному способу (рис. 2.9) включает шесть основных операций: добычу песка и известняка; обжиг извести; размол извести-кипелки в шаровой мельнице; приготовление известково-песчаной смеси; прессование кирпичей; запаривание кирпича-сырца в автоклаве. Важнейшая операция в технологической схеме — прессование кирпича-сырца, при котором происходит уплотнение сырьевой смеси. От степени уплотнения ее в значительной мере зависят физико-механические свойства продукта. При формировании силикатного кирпича удельное давление прессования составляет 15..20 МПа. Формование производят чаще всего на трехпозиционных полуавтоматических револьверных прессах. В одной из позиций производится наполнение двух форм известково-песчаной смесью, во второй — прессование двух кирпичей, в третьей — их выталкивание. Отпрессованные изделия снимают с пресса, укладывают на вагонетки автоматом-укладчиком и направляют в автоклав. Каждый автоклав вмещает 12..13 тыс. кирпичей. Процесс запаривания, состоящий из загрузки вагонеток, закрытия крышек, выпуска пара, подъема давления, запаривания при давлении 0,8..1,6 МПа, выпуска пара, открытия крышек и выпуска кирпича, продолжается 10..14 ч. После выгрузки из автоклава кирпичи укладывают в штабеля на складе или грузят в вагоны и автомашины.

Силикатный кирпич (ГОСТ 379—79) выпускают семи марок (в кгс/см<sup>2</sup>) по прочности при сжатии: М300, 250, 200, 150, 125, 100 и

75; по морозостойкости: F50, 35, 25, 15. Плотность силикатного кирпича несколько выше, чем керамического, — 1800...2100 кг/м<sup>3</sup>, но теплоизоляционные свойства их практически одинаковы.

Применяют силикатный кирпич там же, где и обыкновенный керамический, но с некоторыми ограничениями. Нельзя использовать его для кладки фундаментов и цоколей, так как он менее водостоек, чем керамический, а также для кладки печей и дымовых труб, так

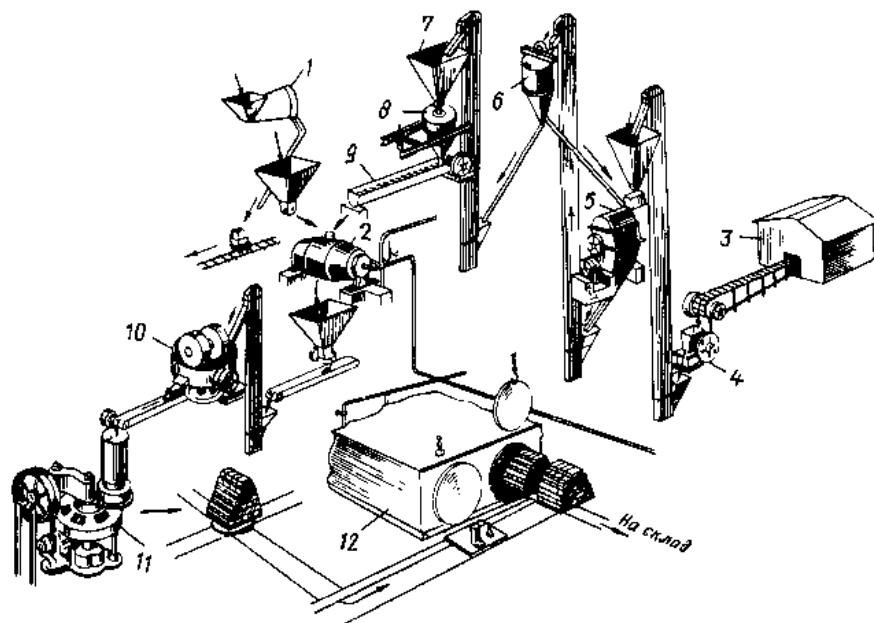


Рис. 2.9. Технологическая схема производства силикатного кирпича по барабанному способу:

1 — барабанный грохот для сортировки песка, 2 — гасильный барабан, 3 — склад извести; 4 — дробилка, 5 — мельница, 6 — сепаратор, 7 — бункер молотой извести, 8 — весы; 9 — шнек; 10 — перемешивание и измельчение массы на бегунах; 11 — прессование кирпича; 12 — твердение кирпича в автоклаве

как при длительном воздействии высокой температуры происходит его разрушение. По технико-экономическим показателям силикатный кирпич превосходит кирпич керамический. На его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза меньше электроэнергии, в 2,5 раза меньше трудоемкость производства; в конечном итоге себестоимость силикатного кирпича оказывается на 25...35% ниже, чем керамического.

Разновидностями силикатного кирпича являются кирпичи известково-шлаковый и известково-золенный, отличающиеся меньшей плотностью и лучшими теплоизоляционными свойствами, так как тяжелый кварцевый песок заменен пористым легким шлаком в известково-шлаковом кирпиче или золой — в известково-золенном кирпиче. Использование шлаков и зол экономически выгодно, так

как при этом расширяется сырьевая база строительных материалов и снижается их стоимость.

Технология производства известково-шлакового и известково-золенного кирпича аналогична производству силикатного кирпича. Применяют их для возведения кладки стен зданий малой этажности, а также для кладки стен верхних этажей многоэтажных зданий.

## § 2.6. Основы технологии магниезальных вяжущих веществ

● Магниезальные вяжущие вещества (каустический магнезит и каустический доломит) — воздушные вяжущие, получаемые из природных магнезита и доломита путем их обжига с последующим измельчением.

● Технология их производства сводится к трем основным операциям: дроблению сырья, его обжигу и помолу продукта обжига.

Дробление магнезита и доломита осуществляют в щековых или молотковых дробилках. Обжигают каустический магнезит в шахтных или вращающихся печах. При обжиге магнезит декарбонизируется и превращается в оксид магния по эндотермической реакции  $MgCO_3 \rightleftharpoons MgO + CO_2$ . Разложение  $MgCO_3$  заметной скорости достигает лишь при 600...650°C. Слишком высокая температура нежелательна, так как по мере ее повышения плотность продукта обжига увеличивается, а его вяжущие свойства ухудшаются. При температуре 1500...1600°C получается практически полностью спекшийся магнезит. В заводских условиях обжиг магнезита ведут при 800...1000°C, а доломита при 750...850°C, добиваясь по возможности полного разложения  $MgCO_3$  и не допуская разложения  $CaCO_3$ . После обжига каустический доломит и каустический магнезит размалывают в шаровых мельницах.

В отличие от других вяжущих магниезальные затворяют не водой, а растворами хлористых и сернокислых солей. Лучший и наиболее распространенный затворитель — раствор хлористого магния  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Средняя дозировка компонентов магниезального цемента: 62...67%  $MgO$ , 33...38%  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$  с плотностью 1,8...1,25 г/см<sup>3</sup>. Чем выше плотность затворителя, тем медленнее протекает схватывание и твердение и тем выше конечная прочность.

Затворение оксида магния раствором хлористого магния повышает растворимость  $MgO$  и ускоряет выделение из раствора гелеобразной  $Mg(OH)_2$ , которая в дальнейшем перекристаллизуется при одновременном затвердевании всей системы. Одновременно возможно протекание реакции взаимодействия между каустическим магнезитом и раствором хлористого магния:  $3Mg + MgCl_2 \cdot 6H_2O \rightarrow 3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ . Получаемый при этом оксихлорид магния вместе с гидроксидом магния  $Mg(OH)_2$  придает затвердевшему камню высокую прочность.

● Свойства и применение. По ГОСТ 1216—75 каустический магне-

зит делят на четыре марки: ПМК-88, ПМК-87, ПМК-83 и ПМК-75. Цифры в обозначении марки соответствуют содержанию MgO (в % мас.). В качестве вяжущего используют ПМК-75, более высокие марки предназначены для работы в химической промышленности, энергетике и т. д. Каустический магнезит твердеет сравнительно быстро. Схватывание его должно наступать не ранее 20 мин, а конец — не позднее 6 ч с момента затворения.

При испытании в образцах из пластичного теста каустический магнезит, затворенный  $MgCl_2$ , через сутки имеет прочность на растяжение не менее 1,5 МПа, а через 28 сут — 3,5...4,5 МПа. В трамбованных образцах из раствора с песком через 28 сут прочность на сжатие 40...60 МПа.

Каустический доломит — вяжущее вещество более низкого качества. Образцы из трамбованного раствора состава 1 : 3 на этом вяжущем имеют прочность при сжатии 10...30 МПа. Сроки схватывания каустического доломита растянуты. Обычно начало схватывания наступает через 3...10 ч, а конец — через 8...20 ч.

Магнезиальные вяжущие, являясь воздушными, слабо сопротивляются действию воды. Их можно использовать только при твердении на воздухе с относительной влажностью не более 60%.

Магнезиальные вяжущие вещества применяют для изготовления ксилолита, фибролита, теплоизоляционных материалов, штукатурных растворов, искусственного мрамора и т. д.

**Фибролит** — искусственный камень, изготовленный из древесной шерсти или стружки, связанной магнезиальным вяжущим. Изготавливают фибролитовые плиты, затворяя каустический магнезит раствором хлористого магния или другой соли и затем тщательно смешивая с древесной шерстью. Приготовленную фибролитовую массу загружают в металлические или деревянные формы, прессуют под давлением 0,04...0,05 МПа и направляют в камеры сушки. В зависимости от плотности различают фибролит теплоизоляционный, конструктивный и фибролитовую фанеру. Применяют теплоизоляционный фибролит для утепления стен, полов и перекрытий; конструктивный — для заполнения стен, перегородок и перекрытий каркасных зданий, а фибролитовую фанеру — в качестве штукатурки.

**Ксилолит** — затвердевшая смесь древесных опилок и магнезиального вяжущего, затворенного раствором хлористого магния. В ксилолит можно вводить также добавки асбеста, трепела, кварцевого песка и красителя.

1. Дайте классификацию вяжущих веществ. 2. Какие способы производства гипсовых вяжущих получили наибольшее распространение и почему? 3. Какими путями можно повысить прочность отвердевшего гипса, а какими водостойкость? 4. Перечислите разновидности строительной воздушной извести. 5. Обоснуйте выбор печного агрегата для получения гашеной извести из известняка и из мела. 6. Какие процессы происходят при гашении извести и как их интенсифицировать? 7. Охарактеризуйте различие процессов твердения известково-песчаных смесей при обычных и повышенных температурах.

## Глава 3

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ

### § 3.1. Портландцемент. Сырьевые материалы и химико-минералогический состав клинкера

● **Портландцементом** называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного тонкого измельчения клинкера и гипса, твердеющих в воде и на воздухе. Клинкер получают обжигом до спекания сырьевой смеси состава, обеспечивающего преобладание силикатов кальция. Внешне клинкер представляет собой спелые зерна размером 10...60 мм. Анализ под микроскопом показывает, что это сложная тонкозернистая смесь нескольких кристаллических фаз и небольшого количества стекла.

Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Для замедления сроков схватывания (до 3...5 ч) в состав портландцемента вводят гипс. Возможно использование природного гипсового камня, фосфогипса и борогипса. При этом содержание гипса в цементе нормируется по  $SO_3$ . В обычных цементах М300...500 содержание  $SO_3$  должно быть не менее 1,0 и не более 3,5%, а в цементах высокомарочных и быстротвердеющих — не менее 1,5 и не более 4,0%.

ГОСТ 10178—85 предусматривает выпуск трех разновидностей портландцемента: Д0 — без добавок, Д5 — с введением до 5% активных минеральных добавок всех видов и Д20, в которую разрешается вводить свыше 5%, но до 20% добавок, в том числе до 10% активных минеральных добавок осадочного происхождения (кроме глинежа) или до 20% доменных и электротермофосфорных гранулированных шлаков, глинежей и прочих активных минеральных добавок.

Цементная промышленность — одна из наиболее материалоемких отраслей народного хозяйства. При оптимальной мощности цементного завода около 2 млн. т/год он потребляет 3,5 млн. т сырья. Пригодность сырьевых материалов для производства клинкера устанавливается на основе всестороннего изучения и технико-экономического анализа организации производства. Качество сырьевой базы, правильный выбор состава сырьевой смеси определяют качество вяжущего, производительность печей, срок службы огнеупоров, удельный расход топлива и т. д.

● **Сырьем** для производства цемента является цементный клинкер, основными оксидами которого служат  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В зависимости от преобладания того или иного оксида используемое для производства портландцементного клинкера сырье можно разделить на три группы: 1) сырье, в котором преобладает  $\text{CaO}$  — карбонатный компонент; 2) сырье, в котором преобладают алюмосиликаты — глинистый компонент; 3) корректирующие добавки, восполняющие недостаток в сырьевой смеси того или иного оксида.

● **Карбонатный компонент**, используемый для портландцемента, — это карбонатные породы (известняк, мел, ракушечник, известковый туф, мрамор) с содержанием не менее 40...43,5%  $\text{CaO}$ , не более 3,2...3,7%  $\text{MgO}$ . Желательно, чтобы сумма  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  не превышала 1%, а содержание  $\text{SO}_3$  было не больше 1,5...1,7%. Более благоприятны породы с постоянным химическим составом и однородной мелкокристаллической структурой. Чаще всего на цементных заводах используют известняк.

Особым видом карбонатного сырья являются мергели, представляющие собой природную смесь глинисто-песчаных веществ (20...50%) и мельчайших частиц углекислого кальция (50...80%). В зависимости от содержания  $\text{CaCO}_3$  и глинисто-песчаного вещества мергели подразделяют на песчаные, глинистые и известковые. Наиболее ценное сырье — известковый мергель, содержащий примерно 75...80%  $\text{CaCO}_3$  и 20...25% глины. По химическому составу он близок к портландцементной сырьевой смеси, и его использование упрощает производство портландцемента.

● **Глинистым компонентом** являются тонкообломочные горные породы, состоящие в основном из глинистых минералов каолинитовой, монтмориллонитовой, аллофановой групп и группы гидрослюд (иллитов). Используют легкоплавкие глины, глинистый мергель, глинистый сланец, лёсс и др.

Минералогический состав глин представлен преимущественно водными алюмосиликатами и кварцем (в виде кварцевого песка). Химический состав легкоплавких глин характеризуется наличием трех оксидов: 60...80%  $\text{SiO}_2$ , 5...20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 3...15%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В небольших количествах в глинах могут содержаться  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в виде углекислых солей. Примеси растворимых солей, содержащих  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ , а также  $\text{MgO}$ , нежелательны, и их содержание в глинах должно быть по возможности минимальным.

● **Корректирующие добавки** применяют для улучшения состава сырьевой смеси при производстве портландцемента. При особо благоприятном химическом составе сырьевых материалов портландцементная сырьевая смесь требуемого химического состава может быть приготовлена из двух компонентов — карбонатного и глинистого. Однако в большинстве случаев это практически не удается, и для «исправления» состава сырьевой смеси вводят третий или даже четвертый компонент — корректирующие добавки, содержащие значительное количество одного из недостающих оксидов.

В качестве железосодержащей добавки обычно используют пиритные огарки с сернокислотных заводов, реже — колошниковую пыль доменных печей. В качестве глиноземистой добавки применяют богатые глиноземом маложелезистые глины, боксит. Кремнеземистой добавкой служат кварцевые пески, опока, трепел. Содержание оксидов в корректирующих добавках должно быть: для железистых — не менее 40%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; для кремнеземистых — не менее 70%  $\text{SiO}_2$ ; для глиноземистых — не менее 30%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Железосодержащие добавки используют на большинстве цементных заводов, кремнеземистые — значительно реже, а глиноземистые — только в единичных случаях при применении в качестве сырьевого компонента белитового шлама.

● **Побочные продукты и отходы других отраслей народного хозяйства** являются важным видом сырья цементной промышленности. Многие из них близки по составу к портландцементному клинкеру, что упрощает технологию и сокращает объем работ на карьерах. Наиболее широкое распространение нашли доменные и электротермофосфорные шлаки, а также нефелиновый белитовый шлам.

*Доменные шлаки* образуются при полном расплавлении в доменной исходных компонентов шихты: руды и флюса в восстановительной среде. Их выход составляет 40...60% от массы чугуна.

*Электротермофосфорные шлаки* получают при производстве фосфора из природных фосфоритов методом возгонки в электропечах при температуре 1450...1550°C. В состав доменных и электротермофосфорных шлаков входят оксиды  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и сернистые соединения  $\text{CaS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{FeS}$ .

В составе портландцементных сырьевых смесей шлаки заменяют глину и частично карбонатный компонент. Так как они не содержат  $\text{CaCO}_3$  и включают ряд минералов, близких по составу минералам цементного клинкера, то обжиг шлакосодержащей смеси позволяет снизить расход топлива и увеличить производительность печей.

*Нефелиновый белитовый шлам* — отход комплексной переработки апатито-нефелиновых пород в глинозем, соду, поташ. Поскольку этот шлам прошел частичную термическую обработку, он состоит в основном из двухкальциевого силиката — минерала, входящего в состав портландцементного клинкера и способного к гидравлическому твердению. Нефелиновый шлам может заменять в составе портландцементных сырьевых смесей глинистый и частично карбонатный компоненты.

Использование в цементной промышленности побочных продуктов и отходов других отраслей — крупный шаг в разработке безотходной технологии, способствующий охране окружающей среды. Это направление работ рассматривается перспективными планами народного хозяйства до 2000 г. как одно из важнейших.

Цементная промышленность СССР располагает запасами карбонатных и глинистых пород, в основном обеспечивающими выпуск

портландцемента. Однако некоторые районы страны не имеют запасов цементного сырья. Кроме того, в последние годы в отрасли были упущены вопросы развития сырьевой базы предприятий, в результате чего ряд заводов не обеспечен сырьем на амортизационный срок или испытывает перебои в сырьевом снабжении. Поэтому важными задачами отрасли являются: 1) приведение в соответствие мощности цементных заводов с мощностью их сырьевой базы за счет реконструкции действующих и строительства новых карьеров; 2) дополнительное изыскание надежных месторождений сырья с низкой влажностью, минимальным содержанием вредных включений и однородных по химическому составу; 3) расширение использования побочных продуктов других отраслей.

● **От химико-минералогического состава клинкера** зависит качество цемента. Химический состав характеризуется содержанием в клинкере различных оксидов, а минералогический — количественным соотношением минералов, образующихся в процессе обжига. Портландцементный клинкер состоит в основном (по массе) из: 64...67%  $\text{CaO}$ ; 21...25%  $\text{SiO}_2$ ; 4...8%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2...4%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Кроме того, в виде примесей могут присутствовать щелочи ( $\text{MgO}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$  и др.). Главнейшие оксиды  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  при обжиге взаимодействуют между собой, образуя клинкерные минералы, соотношение которых определяет свойства портландцемента. Основные минералы клинкера: трехкальциевый силикат (алит) —  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  (сокращенная запись  $\text{C}_3\text{S}$ ); двухкальциевый силикат (белит) —  $\beta$ -мофикация  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ( $\beta\text{-C}_2\text{S}$ ); трехкальциевый алюминат —  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ ) и алюмоферриты кальция переменного состава от  $8\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  до  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}_3\text{F} \dots \text{C}_2\text{F}$ ). Наиболее часто в состав клинкера входит  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Рациональный состав клинкера зависит от условий работы конкретного завода, состава обжигаемой смеси, вида топлива, типа печей и т. д. При подборе его руководствуются следующими положениями. Для получения в обжигаемом материале необходимого количества жидкой фазы сумму  $\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}$  надо поддерживать в пределах 18...22% при содержании 5...8%  $\text{C}_3\text{A}$ . Рациональный состав силикатов: 75...78% ( $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{S}$ ) при 52...62%  $\text{C}_3\text{S}$ .

● **Минералогический состав клинкера** определяет как характер протекания технологического процесса, так и основные физико-технические свойства цемента. Знание содержания в клинкере важнейших минералов позволяет достаточно точно прогнозировать важнейшие свойства портландцемента: скорость набора прочности при различных условиях твердения, стойкость в пресных и минерализованных водах, тепловыделение при твердении и др. Это позволяет в соответствии с видом сооружения и условиями его эксплуатации подбирать цемент соответствующего минералогического состава. Чем выше содержание алита, тем труднее идет обжиг и выше его температура. Повышение содержания  $\text{C}_3\text{A}$  и особенно  $\text{C}_4\text{AF}$  облегчает спекание клинкера, улучшает образование обмазки. Минерало-

гический состав клинкера влияет на производительность цементных мельниц. С увеличением содержания в клинкере  $\text{C}_3\text{S}$  размалываемость его улучшается. Труднее измельчаются клинкеры с повышенным содержанием алюмоферритов. Кроме того, размалываемость клинкера понижается при значительном содержании клинкерного стекла.

**Алит** — важнейший минерал портландцементного клинкера, основной носитель его вяжущих свойств. Он обуславливает возможность достижения высокой прочности в первые сутки твердения и определяет прочность в 28-суточном возрасте. С увеличением содержания алита в клинкере в интервале 40...70% прочностные показатели цемента возрастают в линейной зависимости.

При более длительном твердении — до одного года и выше важную роль в формировании прочности цементного камня играет белит  $\text{C}_2\text{S}$ . Он взаимодействует с водой значительно медленнее алита и в первые сроки твердения обладает низкой прочностью, но со временем догоняет алит по прочностным показателям.

**Трехкальциевый алюминат**  $\text{C}_3\text{A}$  активно участвует в процессе твердения, особенно в начальный период.

Увеличение в клинкере содержания  $\text{C}_3\text{A}$  за счет соответствующего уменьшения количества алюмоферритов кальция переводит цемент в разряд быстротвердеющих.

Зависят вяжущие свойства цемента и от характера кристаллической структуры. Наибольшую гидравлическую активность имеют клинкеры со средним размером кристаллов 20...40 мкм. За счет оптимизации структуры клинкера без изменения его фазового состава прочность цементного камня в 28-суточном возрасте может быть повышена на 9...10 МПа. Регулирование минералогического состава и кристаллической структуры клинкера — важнейший технологический прием, обеспечивающий получение цементов с заданными свойствами.

### § 3.2. Способы производства портландцемента

Производство портландцемента состоит в основном из двух стадий: первая включает операции по получению клинкера, вторая — измельчение клинкера совместно с гипсом, а в ряде случаев и с активными минеральными добавками, т. е. приготовление портландцемента. Получение клинкера — наиболее сложный и энергоемкий процесс, требующий больших капитальных и эксплуатационных затрат. Стоимость клинкера в стоимости портландцемента достигает 70...80%.

Производство клинкера складывается из ряда основных технологических операций: добычи сырьевых материалов, их дробления, приготовления сырьевой смеси заданного состава путем помола и смешивания сырьевых компонентов в определенном количественном



соотношении, обжига сырьевой смеси, получения из нее клинкера и его magazинирования.

Производство портландцемента из клинкера включает следующие процессы: дробление клинкера, подготовку минеральных добавок (дробление, сушку), дробление гипсового камня, помол клинкера с активными минеральными добавками и гипсом, складирование, упаковку и отправку цемента потребителю.

Перерабатываемое на цементных заводах сырье существенно отличается как составом (даже в пределах одного месторождения), так и физико-техническими свойствами (влажностью, прочностью и т. д.). Получение сырьевой смеси постоянного и однородного состава — сложная задача, поэтому для каждого вида сырья должен быть выбран такой способ подготовки, который обеспечивал бы тонкое измельчение и равномерное перемешивание компонентов сырьевой смеси с минимальными энергетическими затратами. Это послужило причиной появления в цементной промышленности трех способов производства клинкера, отличающихся технологическими приемами подготовки сырьевых смесей: мокрого, сухого и комбинированного.

При мокром способе производства тонкое измельчение сырьевой смеси производят в водной среде с получением шихты в виде водной суспензии — шлама влажностью 30...50%. При сухом способе сырьевую шихту готовят в виде тонкоизмельченного сухого порошка, поэтому перед помолом или в процессе его сырьевые материалы высушивают, и на обжиг поступает порошкообразная сухая сырьевая смесь. Комбинированный способ может базироваться как на мокром, так и на сухом способе приготовления шихты. В первом случае сырьевую смесь готовят по мокрому способу в виде шлама, а затем обезвоживают на фильтрах до влажности 16...18% и подают на обжиг в виде гранул диаметром 10...15 мм. Одним из вариантов такого комбинированного способа является такая технологическая схема с обезвоживанием сырьевого шлама в распылительной сушилке. Во втором случае сырьевую смесь готовят по сухому способу, а затем гранулируют с добавкой 10...14% воды и подают на обжиг в виде гранул диаметром 10...15 мм.

Каждый способ производства может быть реализован в виде нескольких технологических схем, отличающихся как последовательностью операций, так и видом используемого оборудования. Выбор конкретной технологической схемы определяется свойствами перерабатываемого сырья (твердостью, однородностью, влажностью).

● При мокром способе производства цемента в большинстве случаев используют твердый карбонатный (известняк) и мягкий глинистый (глина) компоненты (рис. 3.1). Начальной технологической операцией получения клинкера является измельчение сырьевых материалов с целью получения однородной тонкодисперсной смеси нескольких компонентов. Поступающий из карьера известняк с размерами кусков до 1 м подвергают двухстадийному дроблению (1-я

стадия — щековая, 2-я стадия — молотковая дробилка) с доведением размера кусков до 8...10 мм, а затем направляют в шаровую мельницу. Поступающую из карьера глину с размерами кусков до 500 мм измельчают в валковых дробилках, а затем переводят в присутствии воды в сметанообразное состояние, например, в болтушках. Получаемый глиняный шлам с влажностью 60...70% подают в сырьевую мельницу. Сюда же поступают дробленый известняк, корректирующие добавки и вода, необходимые для получения шлама заданной влажности.

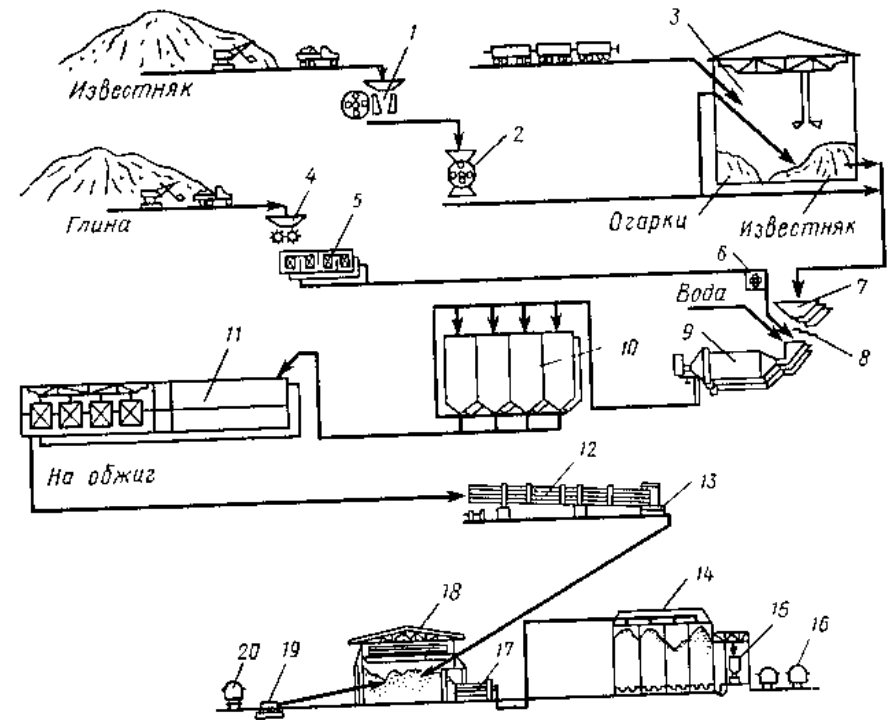


Рис. 3.1. Технологическая схема производства портландцемента по мокрому способу:

1 — щековая дробилка; 2 — молотковая дробилка; 3 — объединенный склад; 4 — валковая дробилка; 5 — болтушки; 6 — ковшовый питатель; 7 — бункера сырьевых мельниц; 8 — тарельчатые питатели; 9 — сырьевая мельница; 10 — корректирующие вертикальные шламбассейны; 11 — горизонтальные шламбассейны; 12 — вращающаяся печь; 13 — холодильник; 14 — цементные силосы; 15 — упаковочная машина; 16 — отгрузка цемента; 17 — цементная мельница; 18 — склад добавок и клинкера; 19 — дробилка; 20 — вагон с добавками

В сырьевой мельнице происходит окончательное тонкое измельчение компонентов и получение однородной смеси известняка, глиняного шлама и корректирующих добавок. Хотя компоненты дозируют в мельницы в заданном соотношении, из-за колебаний их химико-минералогических характеристик не удается получить в

мельнице шлам состава, отвечающего установленным параметрам. Поэтому необходима специальная технологическая операция по корректировке его состава. В представленной схеме она осуществляется в вертикальных шламбассейнах, где окончательно корректируется состав шлама путем добавления расчетного на основании химического анализа количества корректировочных шламов. Откорректированный шлам для обеспечения однородности состава тщательно перемешивается сжатым воздухом и перекачивается в горизонтальные шламбассейны большой емкости, в которых создается запас шлама на 3..4 сут для обеспечения бесперебойной работы печей. Из бассейнов шлам поступает в шламцитатели, откуда равномерно подается во вращающуюся печь, где в течение 1,5..2,5 ч завершаются химические реакции, приводящие к получению клинкера. Затем клинкер охлаждается в холодильнике и поступает на склад, где хранятся также гипс и активные минеральные добавки. Эти компоненты предварительно должны быть подготовлены к помолу. Активные минеральные добавки дробят до кусков 8..10 мм и высушивают до влажности не более 1%, гипс подвергают только дроблению.

Совместный тонкий размол клинкера, гипса и активных минеральных добавок в шаровых трубных мельницах обеспечивает получение цемента высокого качества. Из мельниц цемент поступает в склады силосного типа. Отгружают цемент либо навалом (в автомобильных и железнодорожных цементовозах), либо в таре — многослойных бумажных мешках.

При использовании на заводе двух мягких компонентов (мела и глины) последовательность выполнения основных технологических операций не меняется. Однако мягкость этих видов сырья и их способность самораспускаться в воде позволяют полностью отказаться от дробления и осуществлять предварительное измельчение сырьевой смеси совместно с водой в высокоэффективных аппаратах самоизмельчения типа «Гидрофол». Однако на стадии предварительного измельчения часть сырья остается недоизмельченной и поэтому получение шлама также должно завершаться в шаровой трубной мельнице.

В отечественной цементной промышленности мокрый способ получил наибольшее распространение. В настоящее время им выпускается около 85% клинкера. Это обусловлено сравнительной простотой способа изготовления, возможностью использования более неоднородного сырья, более высоким качеством продукции, меньшими затратами энергии на измельчение сырья в водной среде, лучшими санитарно-гигиеническими условиями труда. Указанные преимущества при условии сохранения в течение длительного времени достаточно низких цен на топливо в значительной мере нивелировали важнейший недостаток мокрого способа, который заключается в том, что введение в шлам значительного количества воды (30..50% от массы шлама) обуславливает резкое повышение рас-

хода теплоты на ее испарение — 5,8..6,7 МДж/кг, т. е. на 30..40% выше, чем при сухом способе. Кроме того, при мокром способе возрастают габариты и соответственно металлоемкость печей, поскольку значительная часть их выполняет функции испарителя лишней влаги.

В настоящее время, несмотря на существенные преимущества мокрого способа производства, в частности при получении быстротвердеющих и высокомарочных цементов, исходя из острой необходимости экономии топливно-энергетических ресурсов принято решение прекратить в СССР проектирование и дальнейшее наращивание мощностей по выпуску цемента мокрым способом и ориентировать цементную промышленность на сухой способ производства.

● При сухом способе производства последовательность и сущность технологических операций не меняются, однако осуществляются они иными приемами. При переработке по сухому способу сырьевых компонентов повышенной твердости и умеренной влажности высокая твердость измельчаемых материалов требует предварительно их дробления. Чем тоньше раздроблено сырье, тем меньше расход энергии на его размол.

Измельчение материалов может производиться в мельницах при влажности не более 1%. В природе такое сырье практически не встречается, поэтому обязательная операция сухого способа производства — сушка. Желательно совмещать ее с размолем сырьевых компонентов. Это эффективное решение нашло применение на большинстве заводов, работающих по сухому способу производства. В шаровой трубной мельнице совмещаются процессы сушки, тонкого измельчения и перемешивания всех компонентов сырьевой смеси. Из мельницы сырьевая смесь выходит в виде тонкодисперсного порошка — сырьевой муки. В железобетонных силосах производится корректировка ее состава до заданных параметров и гомогенизации путем перемешивания сжатым воздухом. Готовая сырьевая мука поступает на обжиг сначала в запечные теплообменники, где интенсивно нагревается во взвешенном состоянии, а затем во вращающуюся печь. Здесь завершаются химические процессы обжига и при участии расплава формируются шарообразные зерна клинкера. Дальнейшие технологические операции принципиально не отличаются от операций мокрого способа производства.

Возрастающие требования к экономии расхода топлива вынуждают перерабатывать по сухому способу материалы со все более высокой влажностью, которые не могут быть измельчены в шаровых трубных мельницах. Предварительное измельчение материалов повышенной влажности до 25% при сухом способе производства целесообразно осуществлять в мельницах самоизмельчения типа «Аэрофол». Однако полностью высушиваться сырье при этом не успевает и на второй стадии измельчения в шаровой мельнице одновременно с доизмельчением крупных частиц и получением однородной сырьевой смеси должна производиться ее досушка.

Основное преимущество сухого способа производства: снижение расхода теплоты на обжиг клинкера до 3,4...4,2 МДж/кг; уменьшение объема печных газов на 35...40%, что соответственно снижает стоимость обеспыливания и дает больше возможностей по использованию теплоты отходящих газов для сушки сырья; более высокий съём клинкера с 1 м<sup>3</sup> печного агрегата, что позволяет проектировать и строить печи в 2...3 раза более мощные, чем по мокрому способу. В целом по технико-экономическим показателям сухой способ превосходит мокрый. При использовании мощных печей он обеспечивает снижение удельного расхода топлива на обжиг клинкера примерно вдвое, рост годовой выработки на одного рабочего примерно на 40%, уменьшение себестоимости продукции на 10% и сокращение капиталовложений при строительстве заводов на 50%.

Однако необходимо учитывать, что приготовление сырьевой смеси в виде порошка усложняет технологическую схему и увеличивает количество оборудования, причем более сложного по конструкции и условиям эксплуатации. При сухом способе сложнее обеспечить санитарные условия и охрану окружающей среды, выше трудовые затраты.

Вместе с тем возможности применения сухого способа ограничиваются влажностью перерабатываемого сырья. Переработка сырья с влажностью более 20...25% по сухому способу связана с высокими расходами теплоты на сушку. Поэтому для заводов, работающих на сырье высокой влажности, реальным путем экономии расхода топлива является перевод их на комбинированный способ производства.

● **Комбинированный способ производства**, базирующийся на приготовлении сырьевой смеси мокрым способом, с последующим обезвоживанием шлама на пресс-фильтрах и подачей на обжиг в виде гранулированного коржа позволяет использовать преимущества подготовки сырьевой смеси по мокрому способу и одновременно снизить расход теплоты на обжиг. При этом способе почти на 30% уменьшается расход топлива и примерно на 10% капитальные затраты по сравнению с мокрым способом, но на 15...20% повышается расход электроэнергии. Хотя механическое удаление воды посредством фильтрации шламов значительно усложняет технологический процесс, этот способ имеет широкие перспективы, так как это единственный реальный путь экономии дефицитного топлива при использовании влажного сырья. В настоящее время в СССР ведутся работы по переводу заводов по производству цемента мокрым способом на комбинированный.

При базировании комбинированного способа производства на приготовлении сырьевой смеси сухим способом технологическая схема отличается появлением дополнительной технологической операции — грануляции сырьевой смеси, осуществляемой с добавкой 10...14% воды в специальных аппаратах — тарельчатых грануляторах. Гранулированную сырьевую смесь с размером зерен 10...15 мм

обжигают в шахтных печах или печах с конвейерными кальцинаторами.

Этот способ требует несколько большего, чем сухой, расхода теплоты, необходимой на испарение введенной при грануляции воды, не всякая сырьевая смесь способна давать прочные гранулы, не разрушающиеся в процессе обжига; сложна конструкция используемых печных агрегатов. В то же время обжиг предварительно гранулированного сырья способствует стабилизации режима работы печных агрегатов, улучшению теплообмена в печи, повышению качества клинкера.

Способ производства для каждого конкретного завода выбирается с учетом свойств перерабатываемых сырьевых материалов исходя из требований получения высококачественной продукции при минимальных затратах топлива, энергии, труда. Поскольку любая технологическая операция может быть выполнена в десятках вариантов, оптимальность всей технологической схемы зависит от правильности выбора способа и режима осуществления каждой операции производства портландцемента.

### § 3.3. Добыча и транспортировка сырьевых материалов

Производство портландцемента связано с переработкой больших количеств разнообразного сырья. Для сокращения транспортных затрат цементные заводы строят в непосредственной близости от месторождений сырья. Добыча последних является частью единого технологического процесса.

● **Операции по добыче и транспортировке сырья — важнейшие передельные производства.** Доля затрат на добычу сырья составляет около 10% общих расходов.

Разработку сырьевых месторождений ведут *открытым способом* теми же приемами, что и при добыче нерудных строительных материалов. Твердые породы (известняки) в основном разрабатывают путем предварительного рыхления взрывами и с погрузкой на транспортные средства экскаваторами.

В последнее время взамен буровзрывных работ начинают применять механическое рыхление. Это дает возможность ввести в эксплуатацию значительные запасы разведанного сырья, находящиеся во взрывоопасных зонах. Используют навесные тракторные рыхлители для разработки пород с пределом прочности при сжатии до 190 МПа. Применение рыхлителей снижает стоимость добычных работ на 15...20% и увеличивает безопасность их введения за счет ликвидации взрывов.

Добычу мягких пород (мел, глина и др.) производят прямой экскавацией одноковшовыми или роторными экскаваторами, которые выполняют сразу две операции: отделение породы от пласта и погрузку готового сырья. Возможно применение для добычи мела и глины специальных комбайнов, изготавливаемых на базе роторного

экскаватора и производящих одновременно добычу и размучивание сырья (перевод мела и глины в шлам с влажностью 50...60%).

Доставку сырья с карьера на завод осуществляют железнодорожным и автотранспортом, воздушно-канатными дорогами, ленточными транспортерами, гидротранспортом.

При расстоянии карьера от завода более 8 км и значительных объемах добываемого сырья используют *железнодорожный транспорт* широкой колеи. Это обеспечивает наименьший расход рабочей силы на 1 м<sup>3</sup> перевозимых материалов, а также наиболее низкий относительный расход электроэнергии при электровозной тяге. *Автомобильный транспорт* целесообразно применять при сложном рельефе поверхности, малых объемах перевозок, а также небольших расстояниях (до 8 км), когда удорожание стоимости перевозок незначительно. Мягкие, рыхлые и мелкокусковые породы можно доставлять на завод при расстоянии 1..6 км в благоприятных климатических условиях *ленточными транспортерами*. Их преимуществами являются непрерывность и равномерность потока перемещаемого материала. *Воздушно-канатные дороги* применяют для транспортирования сырья по сильно пересеченной местности. *Гидротранспорт* служит для перемещения материалов, добываемых и перерабатываемых мокрым способом. Его применение обеспечивает удобство эксплуатации и создает необходимые условия для осуществления комплексной автоматизации производства.

При выборе способа транспортирования сырья следует учитывать, что эксплуатационные расходы минимальны при применении воздушно-канатных дорог и ленточных транспортеров. Наиболее дорога доставка материала автотранспортом. Однако капитальные вложения минимальны при автотранспорте и наиболее велики для железнодорожного и воздушно-канатного транспорта.

Наиболее актуальное направление совершенствования технологии добычи и переработки твердого сырья — создание *непрерывной технологии горнотранспортных работ* с переработкой (дроблением) взорванной горной массы в передвижных дробильных агрегатах непосредственно на карьере и последующей транспортировкой системой ленточных конвейеров на завод. В перспективе приготовление сырьевых смесей будет организовываться в основном в карьерах с последующей доставкой на предприятия.

### § 3.4. Подготовка портландцементных сырьевых смесей

Портландцементный клинкер получают обжигом многокомпонентной однородной сырьевой смеси, получаемой совместным тонким измельчением разнородных составляющих. В соответствии с этим подготовка сырья на заводах вяжущих веществ включает дробление, тонкое измельчение (помол), корректировку состава смеси и тщательное ее перемешивание (гомогенизацию).

● **Дробление сырья** осуществляют на заводах вяжущих материалов. Из карьеров на дробление обычно поступают куски карбонатного компонента размером 100...1000 мм, глинистого — 50...500 мм. Поскольку стоимость добычи сырья снижается с увеличением крупности добываемого камня, стремятся работать с крупными кусками. В то же время процессы обжига ускоряются с уменьшением размеров кусков, а для обеспечения экономичной работы мельниц рекомендуется загружать их материалом крупностью 8...10 мм. Для каждой мельницы существует оптимальная тонкость дробления, при которой суммарная стоимость дробления и помола минимальна.

Выбор конкретной схемы дробления и типа дробильного оборудования производят с учетом свойств исходного сырья, исходя из условий обеспечения максимального выхода качественного дробленого материала. Мягкие породы (мел, глина) дробят *по одноступенчатой схеме* в валковых дробилках. Мощные ударно-отражательные молотковые дробилки позволяют измельчать в одну стадию и породы средней твердости (мергели). Для твердых пород (известняк) необходима *двухступенчатая схема* дробления, которая получила на цементных заводах наиболее широкое применение. *Трехступенчатые схемы* дробления используют как исключение только после специального исследования сырья и соответствующего технико-экономического обоснования.

Для повышения эффективности дробления возможно предварительное и промежуточное грохочение сырья. *Предварительное грохочение* снижает расход энергии за счет удаления 20...30% мелких фракций, не нуждающихся в дроблении. *Промежуточное грохочение* материала перед второй стадией дробления позволяет использовать агрегаты меньшей производительности и повысить однородность дробленого продукта. Экономически целесообразнее организовать дробление сырья непосредственно на карьерах с доставкой на заводы вяжущих материалов продукта, готового к подаче в мельницу.

● **Тонкое измельчение (помол)** создает благоприятные условия для протекания физико-химических процессов на границе раздела фаз. Чем дисперснее сырьевые материалы, тем скорее вступают они во взаимодействие друг с другом. Тонкое измельчение может осуществляться сухим и мокрым способами. Основным технологическим агрегатом для измельчения в цементной промышленности являются шаровые (грубые) мельницы с отношением диаметра к длине от 1 : 2 до 1 : 4, например 3,2×8,5; 4×13,5 и др. (рис. 3 2).

Большинство видов сырья для получения портландцементного клинкера имеют средние значения влажности (5...20%), в то же время сухому помолу могут подвергаться только материалы с влажностью до 1%. Поэтому в каждом случае должен решаться вопрос о целесообразности предварительной сушки сырья в отдельном аппарате либо о совмещении процессов помола и сушки. При совмещении процесса помола и сушки в одном агрегате значительно сни-

жается расход электроэнергии, упрощается технологическая схема производства и уменьшаются затраты на строительство сушильных и помольных отделений. В настоящее время технологические схемы с мельницами для одновременной сушки и помола вытесняют схемы с предварительной сушкой. Шаровые мельницы совмещенного помола и сушки могут использоваться, если влажность сырья не превышает 10%. При более высокой его влажности необходима предварительная сушка, что увеличивает объем строительных сооружений и численность обслуживающего персонала.

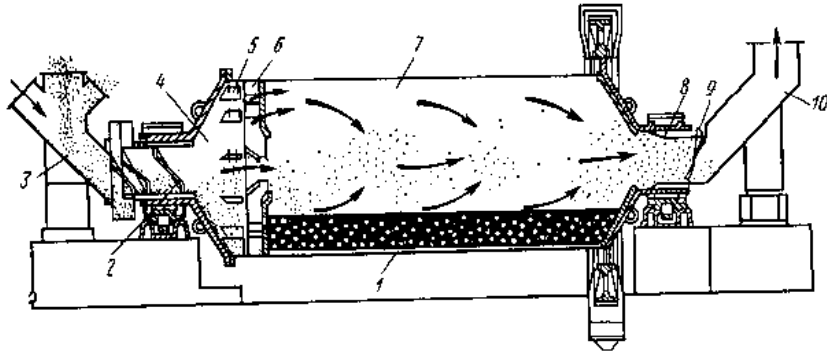


Рис. 3.2. Схема трубной мельницы:

1 — корпус мельницы, 2 — загрузочное устройство, 3 — загрузочная тещка, 4 — сушильная камера; 5 — разбрасывающие лопасти, 6 — элеваторное устройство; 7 — размольная камера; 8 — разгрузочное устройство, 9 — винтовой конвейер, 10 — вытяжная труба

*Сухой способ* измельчения материалов повышенной влажности получил большие возможности применения в связи с использованием мельниц самоизмельчения типа «Аэрофол» (рис. 3.3) с диаметром 7...10 м и отношением диаметра к длине от 3:1 до 4:1. Они могут перерабатывать по сухому способу сырье с влажностью 20...25%. Большой диаметр загрузочных цапф позволяет пропускать значительный объем горячих газов, а благодаря большой поверхности контакта газов и материала здесь можно применять газы относительно невысокой температуры (отходящие газы вращающихся печей).

Использование мельниц «Аэрофол» — одно из самых перспективных решений в технике тонкого измельчения сырья. Оно позволяет отказаться от строительства отделений вторичного дробления известняка; приблизить решение важнейшей проблемы измельчения — реализации этого процесса на основе агрегатов без мелющих тел; совместить процессы измельчения и сушки сырья и отказаться от строительства сушильных отделений; снизить расход электроэнергии и мелющих тел на измельчение, повысить единичную мощность помольного агрегата; использовать в максимальной степени теплоту отходящих газов печных агрегатов.

Различают две схемы помола: по открытому и замкнутому циклам. При *открытом цикле* (рис. 3.4, а) материал проходит через мельницу однократно; при *замкнутом* (рис. 3.4, б, в) часть материала — крупные фракции — вторично пропускают через мельницу

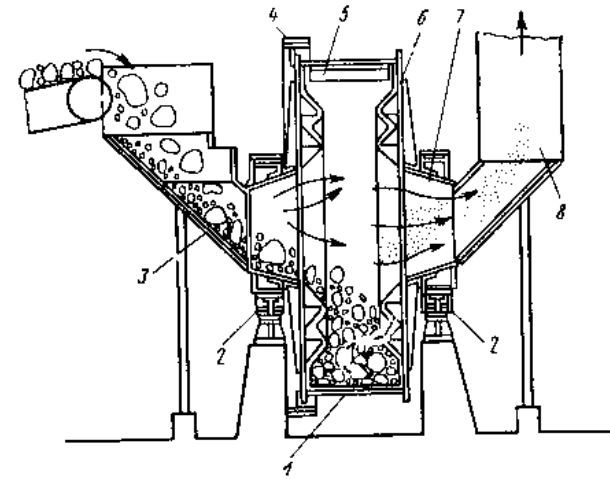


Рис. 3.3. Мельница самоизмельчения «Аэрофол»:

1 — барабан; 2 — подшипники, 3 — загрузочное устройство, 4 — шестерня; 5 — бруски (доласти), 6 — отбойные бронзовые плиты, 7 — цолевая цапфа, 8 — выходной патрубок

для окончательного измельчения. Разделение измельченного продукта на фракции (грубую и мелкую) называют сепарацией, а применяемые аппараты — сепараторами. Переход на замкнутый цикл связан со значительным повышением расхода энергии на вспо-

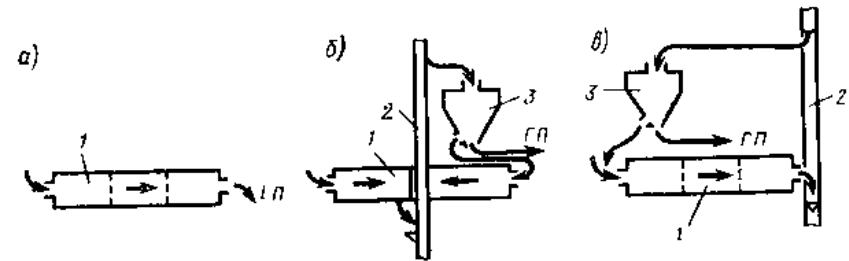


Рис. 3.4. Схемы помола:

а — по открытому циклу, б, в — по замкнутому циклу; 1 — трубная мельница; 2 — элеватор; 3 — сепаратор; ГП — готовый продукт

могательные операции, однако это единственно реальный путь получения высокой тонкости помола сырья. В замкнутом цикле облегчается работа мельницы, так как из нее удаляются мельчайшие частицы, которые, налипая на мелющие тела, уменьшают их размалывающую способность.

Технологические схемы помола по замкнутому циклу отличаются способами транспортирования измельченного продукта от мельницы к сепараторам: *пневматическим* — струей сушильного агента, просасываемого через мельницу, и *механическим* — с помощью элеваторов. Соответственно применяют и различные типы сепараторов: *воздушно-проходные* или *центробежные*. Схемы, включающие мельницы с воздушно-проходными сепараторами, чрезвычайно просты и работают при невысокой температуре газового потока, что дает возможность использовать отходящие газы вращающихся печей. Однако они отличаются повышенным расходом энергии вследствие применения пневмотранспорта. В настоящее время чаще используют схемы с центробежными сепараторами и механическим транспортом измельченного продукта. В них объем сушильного агента может быть существенно ниже, а температура повышена до 600...650°C.

*Мокрый способ* измельчения применяют при переработке сырьевых материалов с высокой влажностью. Мягкие породы (мел, глина) сравнительно легко диспергируются в воде при перемешивании, образуя водные суспензии — шламы. Это объясняется не только механическим разрушением конгломератов природных тонкодисперсных частиц, но и расклинивающим действием пленок воды, проникающих в поры породы. Поэтому для мягких влажных материалов возможно использование менее энергоемкого метода по сравнению с помолом в мельницах. Их размучивают в большом количестве воды в специальных аппаратах, называемых *болтушками*. Одновременно с механическим измельчением материал в болтушке диспергируется водой и из него выделяются тяжелые примеси (песок и др.), оседающие на дно, т. е. происходит обогащение сырья. Размучивание в болтушках не обеспечивает полного измельчения материала, поэтому, как правило, он требует помола в шаровой мельнице.

Более эффективными и менее громоздкими аппаратами для измельчения мягких материалов являются *роторные мельницы*, или *мельницы-мешалки*, в которых в горизонтальном металлическом барабане вращается со скоростью 34,5...42 рад/с (300...400 мин<sup>-1</sup>) быстроходный ротор с билами. Куски материалов подвергаются энергичному перемещиванию в воде, измельчаются при соударении, а также при ударе о металлическую поверхность корпуса и бил ротора, приводящего в движение диспергируемый материал.

Хорошо себя зарекомендовали для мокрого измельчения *мельницы самоизмельчения типа «Гидрофол»*. Их использование позволяет совместить среднее и тонкое дробление, а также предварительное измельчение в одном аппарате; снизить численность обслуживающего персонала и расход электроэнергии. Себестоимость измельчения материалов в мельницах самоизмельчения на 20...25% ниже, чем в шаровых. Однако необходимо учитывать, что мельни-

цы самоизмельчения не обеспечивают полного размола материала, который должен поступать на доизмельчение в шаровую мельницу. Она выполняет одновременно несколько функций. Здесь происходит доизмельчение нераспустившихся включений мягкого компонента, измельчение зерен твердого компонента и получение из нескольких разнородных компонентов однородной смеси постоянного состава.

Выходящий из сырьевых мельниц шлам должен иметь не только определенную дисперсность, но и такую влажность, которая соответствовала бы условиям его дальнейшей переработки. Чем больше вязкость шлама, тем труднее осуществлять его гомогенизацию и транспортирование. В то же время нецелесообразно и введение в шлам избыточной воды, так как повышение влажности шлама на 1% настолько же снижает производительность печи и увеличивает расход топлива. Для уменьшения влажности шлама при сохранении той же его текучести в мельницы вводят добавки-разжижители (сульфитно-дрожжевую бражку, триполифосфат натрия и др.). Их применение позволяет снизить влажность шламов на 3...4%.

● **Корректирование и гомогенизацию сырьевой смеси** производят для повышения эффективности печей и подачи на обжиг сырьевой смеси оптимального и постоянного химического состава. От этого зависят производительность печи, удельный расход теплоты на обжиг, срок службы футеровки. Рациональный состав сырьевой смеси обеспечивает наилучшие технологические ее свойства (минимальную влажность шлама, хорошую спекаемость и т. д.), получение цемента высокого качества, способствует наиболее полному использованию сырьевых ресурсов, а также снижению стоимости продукта.

В процессе приготовления шихты возникают неизбежные колебания ее химического состава из-за неоднородности сырьевых компонентов и погрешностей в их дозировании, поэтому перед обжигом сырьевой смеси состав ее необходимо тщательно откорректировать. Корректирование состава шлама до заданных характеристик осуществляют по результатам химического анализа.

Возможны два варианта корректирования: *порционное* и *поточное*. При порционном корректировании заранее готовят смесь (в виде шлама или сухую) с заведомо более низким или более высоким содержанием CaCO<sub>3</sub> по сравнению с основной сырьевой смесью. Основную и корректирующие смеси подают в специальные емкости, и после установления состава каждой в определенном соотношении их направляют в третью емкость и тщательно перемешивают. Такой вариант порционного корректирования представлен на рис. 3.1. На современных крупных заводах способ порционного корректирования связан с резким увеличением его длительности, объемов корректировочных емкостей, расхода электроэнергии. Это привело к переходу на поточную технологию приготовления сырьевых смесей, при которой их корректировку осуществляют непосредственно в процессе изготовления. При поточной технологии заранее готовят две рав-



ноценные смеси близкого состава, направляемые в отдельные емкости. После точного определения их характеристик сырьевые смеси подают в третью емкость в соотношении, обеспечивающем получение продукта заданного химического состава.

Поточное приготовление сырьевой смеси позволяет сократить длительность корректирования, снизить расход энергии и капитальные затраты, но возможно оно только при выполнении некоторых обязательных условий, а именно при подаче на помол сырьевых компонентов заданного и однородного химического состава; использовании автоматических дозаторов; оперативном контроле и регулировании состава сырьевой смеси на всех стадиях ее приготовления.

После корректировки должна производиться гомогенизация состава сырьевой смеси путем интенсивного его перемешивания. Это очень важная технологическая операция. Расходы на нее составляют при производстве цемента 10...15% всех расходов, занимая второе место после расходов на обжиг, а капитальные вложения, связанные с процессами переработки сырья, значительно превышают стоимость печного оборудования.

При мокром способе производства гомогенизацию шихты осуществляют более просто и надежно, что является одним из преимуществ этого способа. Для гомогенизации используют шламбассейны. По конструкции бывают вертикальные и горизонтальные. Вертикальные применяют в основном для корректирования и перемешивания шлама, а горизонтальные — для создания его запаса. При поточной технологии горизонтальные шламбассейны служат как для корректирования, так и гомогенизации шлама, а вертикальные исключаются из технологической схемы, что упрощает ее.

При переработке сухих портландцементных сырьевых смесей корректирование, гомогенизация и хранение порошкообразных сырьевых шихт происходят в железобетонных или металлических силосах с пневматическим перемешиванием емкостью до 2000 т. Воздух в силос подают снизу, через аэроплитки — керамические или из микропористых металлических сплавов. Сжатый воздух, проникая между зернами материала, переводит его в псевдоотечное состояние и облегчает перемешивание. Недостатками пневматического перемешивания порошкообразных сырьевых смесей являются: неполное использование объема силосов; потребность в значительных объемах сжатого воздуха; недостаточная степень гомогенизации при больших количествах перемешиваемой сырьевой муки. Последний недостаток особенно существен, поскольку рост производственной мощности цементных заводов неизбежно связан с увеличением вместимости силосов для хранения измельченного сырья.

На новых заводах поточное корректирование сырьевых смесей происходит в двухъярусных силосах. В верхний ярус силоса поступают исходные сырьевые смеси различного состава. После уточнения их характеристик они смешиваются в более крупных силосах

нижнего яруса в заданном соотношении. Двухъярусное расположение силосов позволяет не только сократить их площадь и расходы на строительство, но и использовать своеобразный эффект гравитационного перемешивания в процессе разгрузки. Он обусловлен тем, что когда материал вырывают из силоса верхнего яруса в силос нижнего яруса, скорость его опускания больше в центре силоса и постепенно уменьшается в направлении к периферии, что заставляет горизонтальные слои материала разного уровня перемещаться к центру, где они одновременно извлекаются.

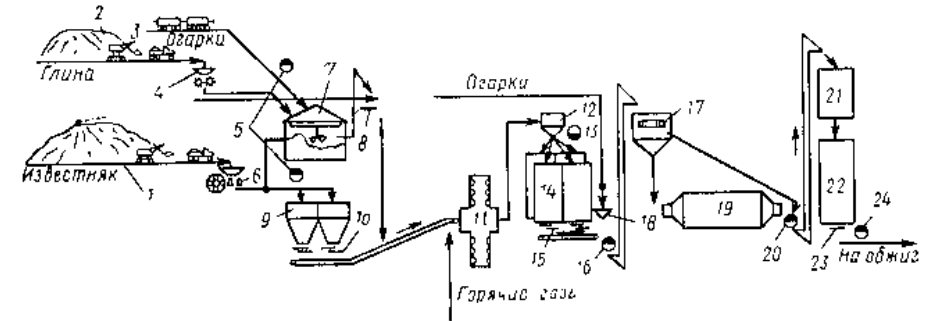


Рис 35. Технологическая схема поточного приготовления сырьевой смеси по сухому способу:

1 — карьер известняка 2 — карьер глины, 3 — вагоны с отгарами, 4 — валковая дробилка, 5, 13, 16, 20, 24 — контрольные станции определения химического состава, 6 — щековая дробилка, 7 — склад, 8, 10, 15, 23 — дозаторы по массе; 9 — бункера; 11 — мельница «Аэропол», 12 — циклон-разгрузитель, 14 — промежуточные силосы; 17 — центробежный сепаратор; 18 — бункер-весовизмеритель, 19 — шаровая мельница, 21 — гомогенизационный силос, 22 — запасной силос

Технологическая схема поточного приготовления сырьевой смеси на современном цементном заводе сухого способа производства представлена на рис. 3.5. Поступающие с карьеров на завод известняк и глина после первой стадии дробления проходят через контрольные пункты определения химического состава, состоящие из пробоотборников, измельчителей (до крупности 0...10 мм) и рентгенрадиометрических анализаторов. Результаты анализов, проводимых один раз в течение 1...2 ч, используются для первичного дозирования с точностью  $\pm 3...4\%$ , т. е. относительно невысокой.

Дозированные количества известняка и глины подаются в мельницу самоизмельчения. Сюда же поступают отходящие от печей горячие газы. Размолотая и высушенная смесь известняка с глиной поступает в циклон-разгрузитель, а затем в промежуточные силосы. После циклона-разгрузителя расположена контрольная станция, осуществляющая отбор проб смеси и анализ на быстродействующем рентгеноспектральном анализаторе уже с частотой один раз в 5...10 мин. Размер промежуточного силоса выбирается таким образом, чтобы продолжительность его заполнения составляла 8...10 ч, что обеспечивает получение представительной информации для

прогнозирования состава смеси, которая будет выходить из данного силоса при разгрузке. Из силосов сырьевая смесь поступает на дозаторы по массе, обеспечивающие точное заданное соотношение компонентов сырья перед домолом его в шаровой мельнице

Грубоземольную смесь готовят двух составов — «высокую» и «низкую». Это позволяет, с одной стороны, предъявлять менее жесткие требования к первичному дозированию, а с другой — осуществлять при вторичном дозировании оптимизацию химического

состава сырьевой смеси путем маневрирования «высокими» и «низкими» силосами. Ориентировочные значения соотношений известняка и глины в «высокой» и «низкой» смесях должны составлять соответственно 90 : 10 и 70 : 30%. Дозированная смесь «высокого», «низкого» материалов и огарков контролируется каждые 5...10 мин и подается элеватором в центробежный сепаратор. Здесь отделяются фракции тонкого помола, а крушка возвращается на домол в мельницу. В месте последующего объединения обоих потоков ставится снова контрольная станция. Объединенные потоки готовой сырьевой муки

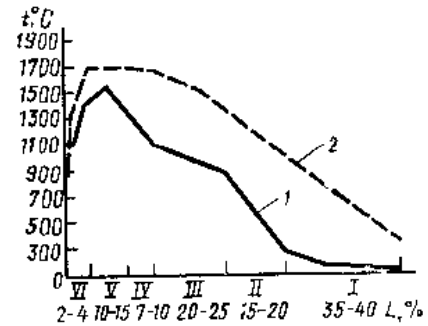


Рис. 3.6. Температура материала и газового потока в зонах вращающейся печи:

1 — материал; 2 — газовый поток, I...VI — зоны печи; L — длина зоны (% от длины барабана)

поступают в один двухъярусный гомогенизационный и запасный силосы, содержащие запас готовой муки на 1,5...2 сут. Выходящая из запасного силоса мука через дозаторы и контрольную станцию поступает на обжиг.

### § 3.5. Обжиг портландцементных сырьевых смесей

● **Физико-химические процессы при производстве портландцементного клинкера** предшествуют образованию портландцементного клинкера. Эти процессы протекают в определенных температурных границах — технологических зонах печного агрегата. При мокром способе производства цемента в обжигаемом материале условно выделяют зоны: I — испарения, II — подогрева и дегидратации, III — декарбонизации, IV — экзотермических реакций, V — спекания, VI — охлаждения. На рис. 3.6 показано распределение температур материала и газового потока по зонам вращающейся печи.

В *зоне испарения* материал долгое время сохраняет температуру около 100°C и лишь в конце ее нагревается до 900°C. Затраты теплоты на испарение влаги шлама составляют около 35% общего расхода. При нагревании шлам вначале разжижается, а затем за-

густевает и комкуется. В печах для обжига сухого сырья эта зона отсутствует.

В *зоне подогрева* при температуре 200...700°C выгорают органические примеси и начинаются процессы *дегидратации* и *разложения* глинистого компонента.

В *зоне декарбонизации* при температуре 900...1200°C происходит диссоциация карбонатов кальция и магния с образованием свободных CaO и MgO. Одновременно продолжается распад глинистых минералов. С повышением температуры происходит взаимный обмен между атомами и ионами вещества с образованием новых соединений: двухкальциевого силиката, алюминатов и алюмоферритов кальция.

В *зоне экзотермических реакций* при температуре 1200...1300°C процесс твердофазового спекания материала завершается. Содержание свободной извести резко уменьшается, однако в смеси остается некоторое ее количество, необходимое для насыщения двухкальциевого силиката до трехкальциевого.

В *зоне спекания* при температурах 1350...1450...1300°C происходит частичное плавление материала (20...30% обжигаемой смеси). В расплав переходят все клинкерные минералы (кроме 2CaO·SiO<sub>2</sub>) и все легкоплавкие примеси сырьевой смеси. В твердом состоянии остаются лишь 2CaO·SiO<sub>2</sub> и CaO. Алиг кристаллизуется из расплава в результате растворения в нем оксида кальция и двухкальциевого силиката. Это соединение плохо растворимо в расплаве, вследствие чего выделяется в виде мелких кристаллов, которые в дальнейшем растут.

В *зоне охлаждения* температура клинкера сравнительно медленно понижается с 1300 до 1000°C. Часть жидкой фазы при этом кристаллизуется, а часть затвердевает в виде стекла. Границы зон во вращающейся печи достаточно условны и не являются стабильными. Меняя режим работы печи, можно смещать зоны и регулировать тем самым процесс обжига.

● **Топливо.** Цементная промышленность — одна из наиболее топливо-энергоемких отраслей народного хозяйства. Ежегодно предприятия цементной промышленности потребляют около 23 млн. т усл. котельно-печного топлива и около 14 млрд. кВт·ч электроэнергии. Сокращение потребления этих ресурсов всего на 1% равнозначно экономии порядка 7,5 млн. руб. Стоимость топлива составляет до 40% стоимости клинкера и до 25% стоимости цемента. Поэтому сокращение расхода топлива — один из важнейших способов повышения эффективности производства и одна из главных задач работников отрасли.

В качестве топлива применяют измельченный каменный уголь, мазут и природный газ. В настоящее время отечественная цементная промышленность в значительной мере работает на наиболее дешевом газообразном топливе. Газ не требует устройств для хранения, не дает отходов при сгорании. Его применение позволяет проце-

осуществить автоматизацию процесса сжигания топлива и технологического процесса производства клинкера, что, в свою очередь, повышает качество продукции, снижает ее себестоимость. Вследствие этих преимуществ потребление газа цементной промышленностью с 1950 г. выросло в 60 раз при сокращении доли твердого топлива в 4 раза. В результате структура топливного баланса цементной промышленности стала существенно отличаться от структуры общего топливного баланса страны, и в последние годы выдвинута задача расширения использования угля в цементной промышленности.

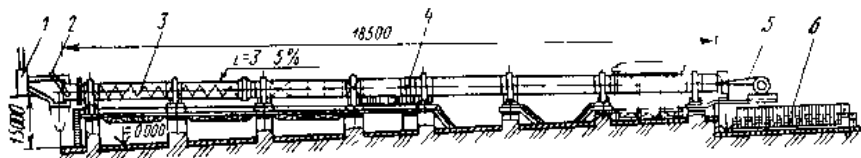


Рис 37. Вращающаяся печь размером 5×185 мм:

1 — дымоход 2 — датчик для подачи шлама, 3 — барабан, 4 — привод, 5 — вентилятор с форсункой для вдувания топлива; 6 — холодильник

● Вращающиеся печи (рис. 3.7), установленные под углом к горизонту 3...4°, вращаются со скоростью 0,5...1,4 мин<sup>-1</sup>. Работает печь по принципу противотока. Сырье поступает в печь с верхнего (холодного) конца, а со стороны нижнего (горячего) конца вдувается топливо — воздушная смесь, сгорающая на протяжении 20..30 м длины печи. Горячие газы, перемещаясь со скоростью 2...13 м/с навстречу материалу, нагревают последний до требуемой температуры. Занятое материалом сечение во вращающихся печах составляет лишь 7...15% объема, что является следствием высокого термического сопротивления движущегося слоя и объясняется как малой теплопроводностью частиц обжигаемого материала, так и слабым перемешиванием их в слое.

Для обжига цементного клинкера используют наиболее мощные вращающиеся печи. Только за последние 20 лет в цементной промышленности мощность единичного обжигового агрегата выросла в 5 раз, а габариты печей мокрого способа производства достигли 5×185 и даже 7×230 м. Это обеспечивает не только рост часовой производительности печей, но и снижение расхода топлива. В то же время увеличение габаритов печей снижает коэффициент их использования, что связано с ростом длительности простоев при футеровочных работах, а также времени охлаждения и прогрева печи.

В печах сухого способа часть физико-химических превращений происходит в запечных теплообменниках, например циклонных. Во взвешенном состоянии в потоке горячих газов очень интенсивно (за 25...30 с) происходит сушка и частичная (до 20...35%) декарбонизация сырьевой смеси. Вынесение подготовительных про-

цессов в запечные теплообменники позволяет вдвое сократить габариты печей, снизить капитальные затраты и расход топлива. Дальнейшие физико-химические превращения во вращающейся печи протекают так же, как и в соответствующих зонах печи мокрого способа, и требуют значительного времени.

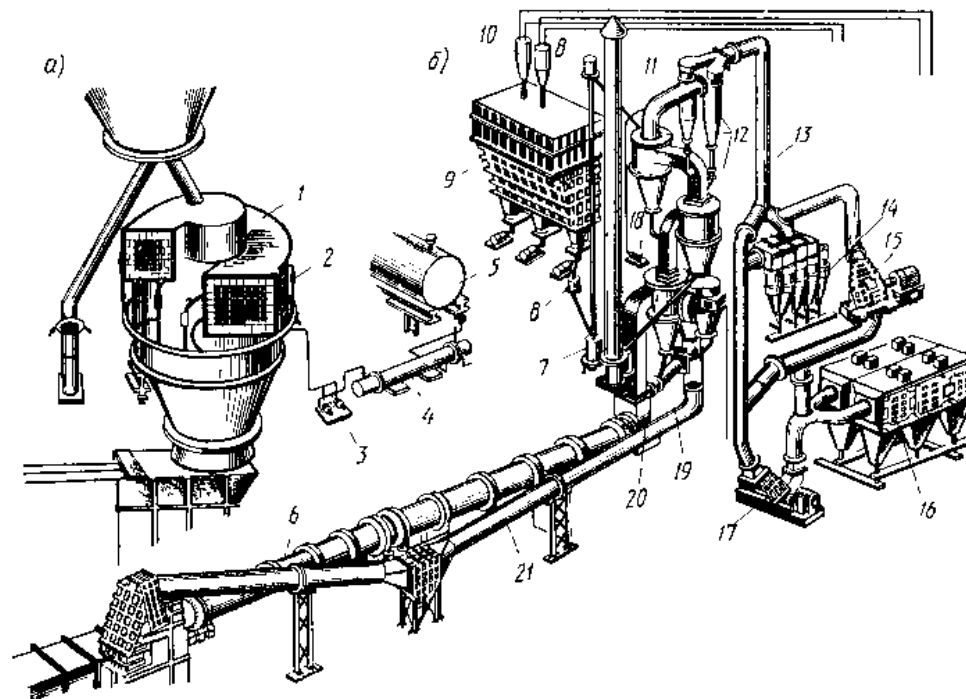


Рис. 38 Схема печной установки с выносным декарбонизатором (а) и циклонными теплообменниками (б):

1 — декарбонизатор (кальцилятор), 2 — топливные форсунки, 3 — топливные насосы, 4 — трубчатый подогреватель, 5 — топливный бак, 6 — вращающаяся печь; 7 — пневмоподъемник; 8 — дозаторы сырьевой муки; 9 — бункера для сырьевых материалов, 10 — разгрузитель сырьевой муки, 11 — розжиговая труба, 12 — циклоны теплообменника, 13 — газоход; 14 — циклоны пылеосетки дымовых газов, 15 и 17 — дымоходы; 16 — электрофильтр, 18 — водяной насос, 19 — переходный трубопровод, 20 — вертикальный газоход; 21 — трубопровод горячего воздуха из холодильника

● Более совершенны системы трехступенчатого обжига, когда между теплообменником и печью встраивается специальный реактор — декарбонизатор (рис. 3.8), представляющий собой печь специальной конструкции с вихревой форсункой, где в вихревом потоке происходит сжигание топлива и декарбонизация сырьевой муки.

Материал в системе циклонный теплообменник — декарбонизатор находится лишь 70...75 с и за это время декарбонизируется на 85...95%. Установка декарбонизатора позволяет повысить съем клинкера с 1 м<sup>3</sup> внутреннего объема печи в 2,5...3 раза, повысить

производительность печей до 6000...10000 т/сут, снизить удельный расход теплоты до 3,0...3,1 МДж/кг клинкера. Размеры установки невелики, и она может использоваться не только при строительстве новых заводов, но и при модернизации действующих печей с циклонными теплообменниками. Экономическая эффективность применения сухого способа и установки реакторов-декарбонизаторов убедительно подтверждается данными, представленными в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Показатели эффективности применения сухого способа и предварительной декарбонизации сырья

Размер печей (способ)	Число технологических линий	Годовая мощность завода, тыс т	Съем клинкера с 1 м <sup>3</sup> внутреннего объема вращающейся печи, кг/(м <sup>3</sup> ·ч)	Расход топлива на 1 кг клинкера, МДж	Себестоимость цемента, руб./т	Удельные капиталовложения, руб./т	Металлоемкость печного отделения завода	
							кг на 1 т цемента в год	тыс т (всего)
5×185 м (мокрый способ)	4	2400	20	6,49	11,7	40,5	60	16,8
6,4/7×95 (традиционный сухой способ)	2	2300	39	3,47	9,9	40	49	12,3
4,5×80 (сухой способ с предварительной декарбонизацией сырья)	2	2300	98	3,31	9,8	39	38	9,5

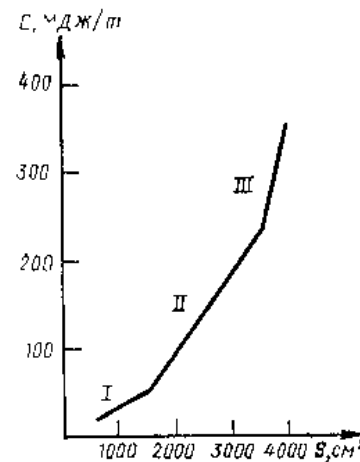
Полученный в печи раскаленный клинкер поступает в холодильник, где охлаждается движущимся навстречу ему холодным воздухом. Клинкер, выходящий из холодильника вращающихся печей с температурой 100...130°C, подается на склад, на котором создается промежуточный его запас, обеспечивающий бесперебойный выпуск заводом цемента при остановке печей.

### § 3.6. Помол портландцемента

● **Тонкое измельчение клинкера с гипсом и активными минеральными добавками** — завершающая технологическая операция производства портландцемента. Его основные свойства (прочность, скорость твердения и др.) определяются степенью измельчения.

Измельчение осуществляется под действием внешних сил, преодолевающих силы взаимного сцепления частиц материала. Макро- и микро неоднородность кусков материала, агрегирование порошка, взаимодействие измельчаемого материала и измельчающих поверхностей предопределяют стадийность процесса. На кривой сопротивляемости размолу портландцементного клинкера

можно выделить три участка (рис. 3.9): *грубого, среднего и тонкого измельчения*. Удельная работа измельчения последовательно возрастает от первой к третьей стадии. На *первой* сопротивляемость размолу определяется в основном пористостью материала, на *второй* — микроструктурой и минералогическим составом вещества. На *третьей* стадии сопротивляемость размолу увеличивается с ростом удельной поверхности вследствие агрегации тонких частиц и их налипания на рабочие поверхности. По мере измельчения энергетические потенциалы частиц настолько возрастают, что происходит самопроизвольное их агрегирование с уменьшением удельной поверхности. В результате на третьей стадии измельчения большая часть энергии тратится не на измельчение исходного продукта, а на разрушение вновь образующихся агломератов. Поэтому вводятся определенные ограничения, устанавливающие целесообразную степень измельчения каждого материала в зависимости от его назначения



Размол портландцемента — наиболее энергоемкая операция. На 1 т портландцементного клинкера расходуется 90...110 МДж энергии. Энергоемкость процесса обуславливает стремление к уменьшению массы размалываемого материала. Из него целесообразно предварительно выделять куски меньше того размера, до которого производится измельчение на данной стадии. В результате уменьшается расход энергии, повышается производительность мельницы, конечный продукт получается более однородным по размерам. Положительные результаты дает также уменьшение тонкости питания мельницы за счет предварительного тонкого дробления подаваемого на помол клинкера. При питании мельниц мелкодробленой кружкой (2...3 мм) их производительность возрастает на 25...30%.

Шаровая (трубная) мельница является основным агрегатом для тонкого измельчения в цементной промышленности. Она отличается простотой конструкции, надежностью, удобством эксплуатации и обеспечивает высокую степень измельчения. При вращении мельницы мелющие тела под действием центробежной силы прижимаются к внутренней стенке корпуса и поднимаются на определенную высоту, но под действием силы тяжести отрываются от корпуса и при падении разбивают куски материала, которые непрерывно поступают в мельницу. Измельчение его происходит

в процессе перемещения вдоль мельничного барабана. Чем длиннее этот путь, тем больше степень измельчения. Мельницы должны иметь достаточную длину (10...14 м), которая обеспечивает необходимое время пребывания материала в мельнице и соответствующую тонкость помола.

Мельницы разделены дырчатыми перегородками на камеры (две, три и четыре). Размер шаров, загружаемых в мельницу, принимают в зависимости от величины кусков размалываемого материала. Они должны быть такими, чтобы кинетическая энергия шара была достаточной для разрушения измельчаемых частиц. В первую камеру поступают крупные куски, для разрушения которых необходима большая сила удара. Поэтому ее загружают шарами большого диаметра — 60...110 мм, массой 5...6 кг каждый. Во вторую камеру материал поступает уже в виде крупки, но ударов должно быть больше, поскольку выросло количество зерен. Поэтому вторую камеру загружают шарами меньшего диаметра — 30...60 мм. В следующие камеры поступает довольно тонко измельченный продукт, и его нужно доизмельчить истиранием, поэтому их загружают обычно стальными цилиндрами (цилиндресами), имеющими длину 25...40 мм и диаметр 16...25 мм. Истирающая площадь цилиндра в несколько раз больше, чем шаров того же диаметра, так как шары соприкасаются в одной точке, а цилиндры — по образующей линии.

Обязательное условие эффективной работы мельницы — *охлаждение* мельничного пространства путем его аспирации (вентиляции). Скорость воздушного потока (0,3..0,7 м/с) обеспечивается вентилятором, просасывающим воздух через мельницу и последующие пылеуловители. Холодный воздух, просасываемый через мельницу, охлаждает футеровку корпуса, мелющие тела и измельчаемый материал. Кроме того, воздушный поток увлекает из мельницы мельчайшие частицы, предотвращая их налипание на мелющие тела. Благодаря аспирации производительность мельницы повышается на 20...25%, уменьшается пылевыделение, улучшаются санитарно-гигиенические условия труда. Однако интенсификация аспирации целесообразна до определенного предела. Чем больше объем просасываемого воздуха, тем выше расход энергии на аспирацию. Экономически целесообразно на каждую тонну размалываемого материала пропускать до 300 м<sup>3</sup> воздуха.

Для интенсификации процесса помола рекомендуется применение *специальных добавок*. В отечественной промышленности наибольшее применение получил способ интенсификации процессов тонкого измельчения путем впрыскивания в мельницах 0,03...0,04% триэаноламина и сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ). Поверхность образующихся при измельчении новых частиц адсорбирует поверхностно-активное вещество, что предотвращает их агрегирование. Кроме того, ПАВ, проникая в микротрещины материала, понижают сопротивляемость его размолу. В результате

производительность мельницы увеличивается на 20...30% с соответствующим снижением удельного расхода электроэнергии.

Наиболее мощный резерв роста производительности и экономии электроэнергии — *укрупнение помольных агрегатов*. Поскольку производительность трубных мельниц растет пропорционально диаметру в степени 2,5 и пропорционально длине, совершенствование конструкции мельниц идет преимущественно за счет увеличения их диаметра.

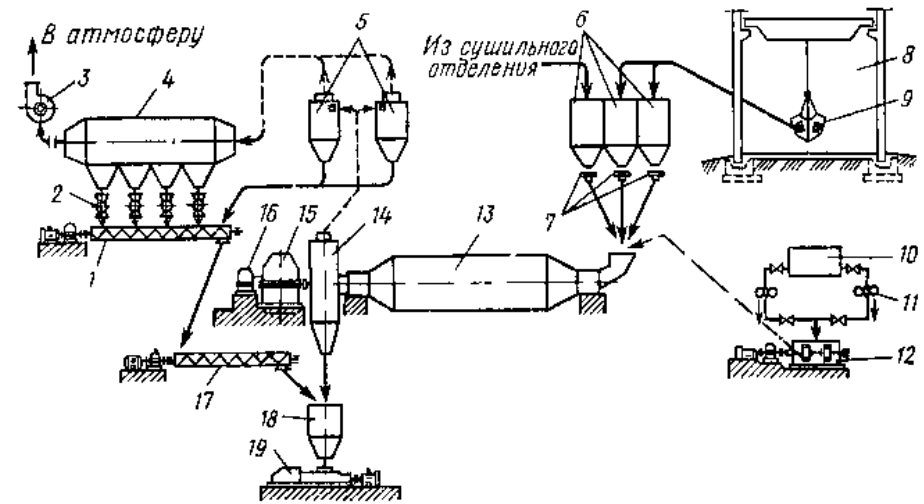


Рис. 3.10. Технологическая схема помола портландцемента в открытом цикле:

1 — сборный шнек, 2 — ялечковые разгрузатели; 3 — аспирационный вентилятор, 4 — электрофильтр, 5 — циклоны, 6 — расходные бункера (добавок, клинкера, гипса), 7 — тарельчатые питатели, 8 — склад; 9 — грейферный кран, 10 — расходный бак для ПАВ; 11 — перекачивающие насосы, 12 — ковшовый питатель; 13 — мельница, 14 — аспирационная шахта; 15 — редуктор; 16 — электродвигатель; 17 — шнек, 18 — расходный бункер цемента; 19 — пневмовинтовой насос

Наиболее мощное помольное оборудование используют в цементной промышленности. Тонкое измельчение портландцемента организуют как по открытому, так и замкнутому циклу. Схема открытого цикла проста, мельницы надежны в эксплуатации, установки легко поддаются автоматизации, коэффициент их использования достаточно высок.

На рис. 3.10 показана технологическая схема помола портландцемента на современном цементном заводе в *открытом цикле*. Клинкер, гипс и активные минеральные добавки со склада подаются в бункера и дозируются тарельчатыми питателями в мельницу. После измельчения цемент поступает через цапфу мельницы в аспирационную шахту, а из нее в бункер цемента и далее на склад. Мельничное пространство аспирируется. Запыленный воздух вначале частично очищается в аспирационной шахте, затем в цик-

лонах и окончательно в электрофилт্রে. Цемент, осажденный в циклонах и электрофилт্রে, собирается шнеком и направляется в расходный бункер цемента. Главный недостаток измельчения в открытом цикле — трудность получения материалов с высокой удельной поверхностью (до 4000.. 5000 см<sup>2</sup>/г).

Внедрение замкнутого цикла помола обусловлено повышением требований к тонкости помола, которые не могли быть удовлетворены при работе на установках открытого цикла. Мельницы же, работающие в замкнутом цикле, дают более однородный по раз-

меру крупка возвращается на домол из сепаратора в первую камеру, а тонкая фракция домальвается в третьей камере, из которой выгружается готовый цемент. Это *полузамкнутый цикл* помола. В полностью замкнутом цикле материал проходит через сепаратор дважды. Из грубомолотого материала после прохождения второй камеры мельницы выделяется крупка, возвращаемая на домол в третью камеру, после прохождения которой цемент еще раз поступает в сепаратор для отделения недостаточно измельченных частей.

В последнее время получает распространение короткая трубная мельница, обычно двухкамерная, работающая в замкнутом цикле с сепаратором (рис. 3.11).

### § 3.7. Твердение и свойства портландцемента

● **Твердение.** При затворении портландцемента водой образуется пластичное тесто, постепенно густеющее и переходящее в камневидное состояние. В процессе твердения происходят сложные физико-химические процессы, являющиеся результатом взаимодействия клинкерных фаз и гипса с водой. Каждая фаза клинкера вступает в реакции гидратации, т. е. реакции, протекающие с присоединением воды, образуя новые соединения. Они могут идти без распада основного вещества или сопровождаться его распадом (реакция гидролиза).

При взаимодействии трехкальцевого силиката (алита) с водой происходит одновременно его гидратация и гидролиз с выделением большого количества гидроксида кальция. Образующиеся гидросиликаты кальция имеют переменный состав  $\text{CaO}_{(0,8-1,5)} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(2,5-1)}$ . Чем меньше концентрация  $\text{CaO}$  в окружающем водном растворе, тем меньше основность (т. е. молекулярное отношение  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$ ) образующегося гидросиликата. Низкоосновные гидросиликаты кальция относятся к серии  $\text{CSH}(B)$ . По структуре они близки природному минералу тобермориту состава  $\text{C} : \text{S} = 0,8$  и их называют тоберморитоподобными фазами.

Взаимодействие белита с водой протекает в среде, насыщенной известью за счет гидrolитического расщепления трехкальцевого силиката. Характер образующихся гидросиликатов близок к получаемым при гидролизе  $\text{C}_3\text{S}$ , однако  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при этой реакции выделяется значительно меньше.

На гидратацию алюминатов и алюмоферригов кальция большое влияние оказывает гипс, вводимый в состав портландцемента как замедлитель схватывания. Вследствие слишком быстрой гидратации трехкальцевого алюмината измолотый клинкер при затворении водой схватывается в течение нескольких минут. Этот срок недостаточен для изготовления строительных растворов и бетонов. В присутствии 3...5% гипса образуется практически нерастворимое соединение — трисульфогидроалюминат кальция

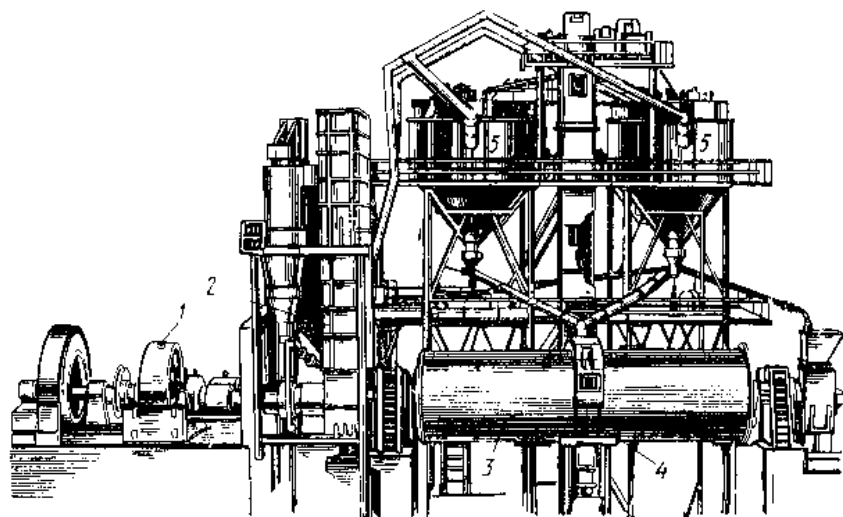


Рис. 3.11 Шаровая мельница замкнутого цикла.

1 — редуктор 2 — элеватор 3 — шаровая мельница; 4 — погрузочно-разгрузочная коробка, 6 — центробежный сепаратор

меру зерен продукт, характеризуются большей удельной производительностью, имеют меньшую температуру мельничного пространства, а следовательно, и выходящего продукта. Удельный расход энергии в них меньше, чем при открытом цикле. Применение замкнутого цикла целесообразно еще и потому, что измельчаемая шихта состоит из компонентов различной размолоспособности. В открытом цикле легко размалываемые компоненты, например шлак или трепел, переизмельчаются. В замкнутом же более твердый компонент измельчается дольше, а своевременное удаление из мельницы мелких частиц предотвращает их переизмельчение, на которое затрачивается большое количество энергии. Следует, однако, учесть, что мельницы замкнутого цикла требуют больших капитальных затрат. В них больше вспомогательной аппаратуры и они сложнее в эксплуатации.

Возможны различные варианты организации замкнутого цикла измельчения. Например, при использовании трехкамерной мель-



$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$  (этtringит), который предотвращает дальнейшую быструю гидратацию  $\text{C}_3\text{A}$  за счет образования защитного слоя и замедляет (до 3...5 ч) первую стадию процесса твердения — схватывание цемента. Вместе с тем добавка гипса ускоряет процесс твердения цемента в первые сроки гидратации.

Преобразование цемента в камневидное тело с высокой прогрессирующей во времени прочностью — сложный многофакторный процесс. В развитие теории твердения внесли вклад выдающиеся советские ученые А. А. Байков, П. А. Ребиндер и др. В современном представлении механизм и последовательность процессов твердения могут быть представлены следующим образом.

В *первый период* после добавления к цементу воды образуется раствор, который пересыщен относительно гидроксида кальция и содержит ионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Из этого раствора в качестве первичных новообразований осаждаются гидросульфат алюминат и гидроксид кальция. На этом этапе упрочнения системы не происходит, гидратация минералов носит как бы скрытый характер.

*Второй период* гидратации (схватывание) начинается примерно через час с образования вначале очень тонкодисперсных кристаллов гидросиликатов кальция. Гидросиликаты кальция и гидросульфат алюминат растут в виде длинных волокон, проходящих через жидкую фазу в виде мостиков, заполняющих поры. Образуется пористая матрица, которая постепенно упрочняется и заполняется продуктами гидратации. Вследствие этого подвижность твердых частиц снижается и цементное тесто схватывается. Такая первая высокопористая с низкой прочностью структура, обуславливающая схватывание, состоит главным образом из продуктов взаимодействия с водой  $\text{C}_3\text{A}$  и гипса.

В течение *третьего периода* (твердения) поры постепенно заполняются продуктами гидратации клинкерных минералов. Уплотнение и упрочнение структуры цементного камня происходит в результате образования все большего количества гидросиликатов кальция.

В конечном счете цементный камень представляет собой неоднородную систему — сложный конгломерат кристаллических и коллоидных гидратных образований, непрореагировавших остатков цементных зерен, тонкораспределенных воды и воздуха. Он напоминает по строению обычный бетон и его называют иногда микробетоном.

● **Свойства.** Ценность цемента как строительного материала определяется, в первую очередь, его механической прочностью в затвердевшем виде. Когда говорят о прочности портландцемента, то подразумевается прочность отвердевшего цементного камня.

**Прочность** — важнейшее свойство портландцемента, определяющее возможность его применения. Предел прочности при сжатии цементных образцов в возрасте 28 сут называют активностью

цемента. Активность портландцемента положена в основу подразделения его на марки. По ГОСТ 10178—85 числовое значение марки характеризует предел прочности при сжатии половинок образцов-балочек размером  $40 \times 40 \times 160$  мм, приготовленных из раствора 1:3 по массе с нормальным песком при водоцементном отношении 0,4 и испытанных через 28 сут после изготовления. ГОСТ нормирует предел прочности в МПа и в кгс/см<sup>2</sup>. Предел прочности при изгибе для образцов-балочек цемента М400; 550 и 600 должен быть через 28 сут соответственно, не менее [МПа (кгс/см<sup>2</sup>)]: 5,4 (55); 5,9 (60); 6,1 (62); 6,4 (65), а прочность при сжатии соответственно 39,2 (400); 49,0 (500); 53,9 (550); 58,8 (600).

Прочность портландцемента нарастает неравномерно: на третьи сутки она достигает примерно 40...50% марки цемента, а на седьмые — 60...70%. В последующем рост прочности цемента еще более замедляется и на 28-е сутки цемент набирает марочную прочность. При благоприятных условиях твердение портландцемента может продолжаться месяцы и даже годы, превышая в 2...3 раза марочную прочность. Можно считать, что прирост прочности портландцемента подчиняется логарифмическому закону (рис. 3.12). Теоретический предел прочности цементного камня при сжатии составляет 240...340 МПа. Практически при формовании бетонов под пригрузом уже были получены изделия с прочностью 280...320 МПа. Прочность при растяжении цементного камня примерно на порядок ниже прочности при сжатии. Планомерный рост прочностных свойств цемента характеризуется повышением средней его марки (кгс/см<sup>2</sup>): 1950 г. — 220, 1970 г. — 383, 1980 г. — 408. Подсчитано, что повышение прочности цемента на одну марку эквивалентно увеличению его выпуска на 10%.

Однако в настоящее время средняя марка выпускаемого цемента существенно превышает марку необходимого для строительства вяжущего. Так, выпуск цемента М300 составляет 16,3... 16,7% от общего производства цемента при потребности в нем 25...27%. Актуальным является не только повышение прочности цементов, а выпуск их в необходимых количествах.

**Тонкость помола** цемента (ГОСТ 10178—85) должна быть такова, чтобы через сито № 008 (размер отверстий 80 мкм) прошло не менее 85% от массы пробы. Большинство заводских цементов имеет остаток на сите № 008 не выше 8...12%. Средний размер зерен портландцемента составляет примерно 40 мкм. Толщина гидратации зерен через 6...12 мес твердения обычно не превышает 10...15 мкм. Таким образом, при обычном помоле порт-

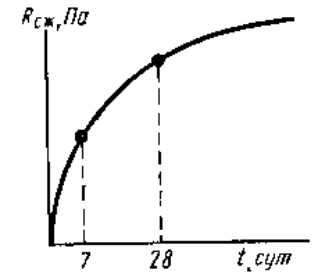


Рис. 3.12. Динамика роста прочности портландцементного камня

ландцементов 30...40% клинкерной части не участвует в твердении и формировании структуры камня. С увеличением тонкости помола цемента повышается степень гидратации цемента и прочность цементного камня.

Тонкость помола цемента характеризуется также величиной удельной поверхности ( $\text{см}^2/\text{г}$ ) — суммарной поверхностью зерен ( $\text{см}^2$ ) в 1 г цемента. Удельная поверхность заводских цементов составляет 2500...3000  $\text{см}^2/\text{г}$ . Увеличение удельной поверхности цемента более 3000..3500  $\text{м}^2/\text{г}$  связано со значительным снижением производительности мельниц, хотя и дает некоторое повышение активности цемента. Слишком тонкий помол может привести к отрицательным результатам: увеличению водопотребности и тепловыделения усадочных деформаций, понижению прочности цементных растворов и бетонов.

*Водопотребность* — количество воды, необходимое для приготовления удобоукладываемой бетонной смеси. Для полной гидратации минералов портландцемента необходимо около 22% воды от массы цемента. Фактически оно составляет более 40% от массы цемента. Значительный избыток химически несвязанной воды создает в затвердевшем камне систему пор и капилляров, что приводит к повышению пористости, снижению прочности и морозостойкости. Уменьшение водопотребности цемента способствует повышению его качества.

*Скорость схватывания* — важное свойство портландцемента, определяющее жизнеспособность бетонной смеси. По ГОСТ 10178—85 начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец — не позднее 10 ч от начала затворения. Как слишком быстрое, так и медленное схватывание — существенный недостаток цемента. Если цемент схватывается быстро, то он превращается в камень прежде, чем его успевают использовать. Примененные же медленно схватывающиеся цементы замедляет темпы строительства. Скорость схватывания зависит от ряда факторов. Повышение температуры ускоряет, а понижение замедляет схватывание. Схватывание ускоряется также с повышением тонкости помола и уменьшением содержания воды в цементном тесте.

*Стойкость цементного камня* — особенно важное свойство, поскольку бетон в инженерных сооружениях в процессе эксплуатации может быть подвержен агрессивному воздействию внешней среды: пресных и минерализованных вод, совместному действию воды и мороза, попеременному увлажнению и высушиванию. Процесс разрушения материала, вызываемого физико-химическим воздействием на него, называют коррозией. Процессы коррозии можно разделить на три вида:

*I вид коррозии* — растворение составных частей цементного камня, в первую очередь гидроксида кальция, в результате фильтрации пресной воды. После полного растворения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  начи-

нается разложение гидроалюминатов, что ведет к дальнейшему разрушению камня;

*II вид коррозии* — разрушение камня в результате реакции химического обмена солей, содержащихся в минерализованной воде, с гидратными составляющими цементного камня с выносом растворенных продуктов реакции водой или с выделением их в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами. В результате таких превращений увеличивается пористость цементного камня и, следовательно, снижается его прочность. Наиболее характерны обменные реакции, протекающие под действием хлористых и сернокислых солей. Сернокислый магний, взаимодействуя с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цементного камня, образует гипс и гидроксид магния — аморфное вещество, не обладающее связностью и легко вымываемое из бетона (магнезиальная коррозия). При коррозии общеизвестной растворенные в воде минеральные или органические кислоты вступают в обменные реакции с минералами цементного камня, превращая их в растворимые легко вымываемые водой соединения;

*III вид коррозии* — процессы разрушения, связанные с появлением труднорастворимых кристаллических новообразований в результате химического взаимодействия солей, содержащихся в минерализованной воде, с гидратными составляющими цементного камня, когда деструктивные процессы в бетоне обусловлены увеличением объема кристаллических новообразований. Характерным для этого вида коррозии является взаимодействие растворенного в воде гипса с трехкальциевым гидроалюминатом. При этом образуется труднорастворимый гидросульфалюминат кальция, который, кристаллизуясь, увеличивается в объеме примерно в 2,8 раза, что оказывает сильное разрушающее действие на цементный камень.

Кардинальный, но одновременно и самый дорогой прием борьбы с коррозией — гидроизоляция бетонных сооружений, исключая возможность проникновения воды в глубь бетона и тем самым предотвращая все процессы разрушения. Один из решающих факторов обеспечения коррозиестойкости — изготовление плотного водонепроницаемого бетона путем подбора его состава и тщательной укладки бетонной смеси.

Эффективным является химический метод повышения водостойкости цементного камня — пуццолонизация — связывание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  активным кремнеземом, содержащимся в кислых активных минеральных добавках. Образующиеся гидросиликаты типа  $\text{CSH}(V)$  менее растворимы в воде и не вступают в реакцию с сульфатами. Пуццолонизация — не только технически самый совершенный, но и экономически наиболее оправданный прием повышения водостойкости бетона.

*Морозостойкость* обусловлена попеременным действием воды и мороза, что влечет за собой разрушение бетонных сооружений.

При отрицательных температурах вода, находящаяся в порах цементного камня, превращается в лед, который увеличивается в объеме примерно на 9% по сравнению с объемом воды. Лед давит на стенки пор и разрушает их. Морозостойкость цементного камня зависит от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента и водоцементного отношения. При возрастании тонкости помола цемента вследствие роста его водонотребности и соответственно пористости морозостойкость камня падает. По тем же причинам отрицательно влияет на морозостойкость цементного камня присутствие в цементе в значительном количестве активных минеральных добавок, а также увеличение водоцементного отношения.

### § 3.8. Специальные виды портландцемента

В соответствии с требованиями строительства отечественная промышленность наряду с портландцементом выпускает ряд его разновидностей, отличающихся как особенностями технологии производства, так и строительно-техническими свойствами.

● **Быстротвердеющий портландцемент (ПЦ-Б)** — портландцемент с минеральными добавками, отличающийся интенсивным нарастанием прочности в первый период твердения. При производстве ПЦ-Б сырьевая смесь должна быть однородна по составу и не содержать вредных примесей, обжиг ведут резко, на беззольном топливе, после чего производят резкое охлаждение клинкера. Повышенная механическая прочность ПЦ-Б в ранние сроки твердения достигается подбором минералогического состава клинкера, увеличением дозировки гипса, повышением тонкости помола цемента (до 3500..4500 см<sup>2</sup>/г). Желателен клинкер, состоящий из наиболее активных минералов — трехкальциевого силиката и трехкальциевого алюмината. Содержание С<sub>3</sub>S должно быть не менее 50%, при С<sub>3</sub>A — не более 8...10%.

Выпускают две марки быстротвердеющего портландцемента — М400 и 500 с нормированием для этого вида цемента прочности не только в 28-суточном, но и 3-суточном возрасте. По ГОСТ 10178—85 для М400 и 500 предел прочности при сжатии через 3 сут должен быть соответственно, не менее, МПа(кг/см<sup>2</sup>): 24,5 (250) и 27,5 (280), при изгибе 3,9 (40) и 4,4 (45), а в возрасте 28 сут при сжатии 39,2 (400) и 49 (500), а при изгибе 5,4 (50) и 5,9 (60).

Выпускают также небольшие партии особобыстротвердеющего портландцемента (ПЦ-ОБ), для которых нормируется прочность в возрасте 1 сут и ранее. Содержание С<sub>3</sub>S в ПЦ-ОБ должно быть не менее 55%.

Применение ПЦ-Б и ПЦ-ОБ экономически оправдано при изготовлении сборных железобетонных конструкций и изделий в заводских и полигонных условиях, а также при скоростном строительстве.

● **Сульфатостойкие портландцементы (ГОСТ 22266—76)** отличаются повышенной устойчивостью цементного камня к агрессивному воздействию сульфатных вод. Выпускают сульфатостойкий портландцемент (ССПЦ) без активных минеральных добавок и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками, в который допускается введение гранулированных шлаков (доменных или электротермофосфорных) 10..20% или добавок осадочного происхождения 5...10%. Сульфатостойкие портландцементы изготовляют из клинкера нормированного минералогического состава: не более 5% С<sub>3</sub>A, 50% С<sub>3</sub>S и 22% (С<sub>3</sub>A+С<sub>4</sub>AF). Для сульфатостойкого портландцемента с минеральными добавками действительны те же ограничения, за исключением того, что содержание С<sub>3</sub>S не нормируется. Пониженное содержание С<sub>3</sub>S и С<sub>3</sub>A заметно уменьшает активность цемента, в связи с чем прочность его нарастает медленно. Выпускают сульфатостойкий портландцемент М400 и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками М400 и 500. Сульфатостойкие портландцементы предназначены для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, обладающих коррозионной стойкостью при воздействии сред, агрессивных по содержанию в них сульфатов.

● **Цементы с поверхностно-активными добавками** содержат до 0,3% от массы цемента пластифицирующих или гидрофобных в пересчете на сухое вещество добавок. При помоле допускается введение поверхностно-активных добавок во все виды цементов. Поверхностно-активные добавки интенсифицируют процесс помола, так как, адсорбируясь на клинкерных частицах, они понижают их твердость и предотвращают сыпание зерен. Вместе с тем они придают цементам ряд новых полезных свойств.

В качестве *пластифицирующей добавки* обычно применяют сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ). Растворы и бетоны с добавкой СДБ приобретают повышенную подвижность и удобоукладываемость. По ГОСТ 10178—85 подвижность цементно-песчаного раствора состава 1:3 с пластифицирующей добавкой должна быть такой, чтобы при водоцементном отношении 0,4 расплыв стандартного конуса был не менее 125 мм (у обычного портландцемента 105 мм). Это дает возможность сократить на 8..10% расход цемента при том же В/Ц бетона либо снизить водопотребность бетонной смеси при сохранении заданной ее подвижности. Кроме того, уменьшение содержания воды в бетоне повышает его морозостойкость.

Применение портландцемента с пластифицирующими добавками экономически эффективно при изготовлении монолитного бетона, строительстве гидротехнических сооружений, дорожных и аэродромных покрытий.

В качестве *гидрофобных (водоотталкивающих) добавок* применяют асидол-мылонафт, олеиновую кислоту и т. д. Эти добавки, адсорбируясь на поверхности зерен цемента, покрывают их водо-

отталкивающей пленкой, сообщая цементу гидрофобные свойства. ГОСТ 10178—85 предъявляет к такому портуландцементу дополнительное требование: порошок этого цемента не должен впитывать в себя воду в течение 5 мин.

Портуландцементы с гидрофобными добавками (ПЦ-ГФ) отличаются пониженной гидроскопичностью при хранении и перевозках и неблагоприятных условиях, а также способностью придавать бетонным смесям повышенную подвижность и удобоукладываемость. Бетоны и растворы на них обладают значительно меньшим водопоглощением и капиллярным подсосом воды, пониженной водопропускной способностью и соответственно высокой морозостойкостью. Их применяют в тех случаях, когда требуется длительное хранение цемента или перевозка его на дальние расстояния, а также для наружной штукатурки зданий, изготовления бетонов в дорожном и аэродромном строительстве.

● **Белый портуландцемент** (ГОСТ 965—78) получают из сырьевых материалов, имеющих минимальное содержание окрашивающих оксидов (железа, марганца, хрома). В качестве сырьевых материалов используют «чистые» известняки и белые каолиновые глины, а в качестве топлива — газ или мазут, не загрязняющие клинкер золой. Весь технологический процесс получения белых портуландцементов подчинен требованию обеспечения их белизны. Дробление сырьевых материалов, помол сырья и цементного клинкера производят в дробилках и мельницах со специальной футеровкой из фарфоровых, кремниевых и тому подобных плит. Обжиг ведут при повышенных температурах 1600..1650°C, в связи с чем производительность печей снижается, а стоимость цемента увеличивается. После выхода из печи клинкер отбеливают путем охлаждения от 1300 до 200°C в восстановительной среде либо резким охлаждением его водой от 1600 до 500°C. При отбеливании оксид железа переходит в Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, благодаря чему красящая способность соединений железа снижается и растет белизна цемента.

Качество белого цемента оценивают коэффициентом яркости, показывающим отношение (%) белизны данного цемента к белизне принятого эталона. По степени белизны ГОСТ 965—78 делит белые цементы на три сорта: БЦ-1, БЦ-2 и БЦ-3 с коэффициентом яркости соответственно 80, 75 и 68 (коэффициент яркости фарфора составляет 70..90, а обычного портуландцемента — 20..40). Выпускают две марки — М400 и 500 и два вида цементов — белый портуландцемент и белый портуландцемент с минеральными добавками. В качестве активных минеральных добавок используют белые вещества — обожженный каолин, светлый диатомит и т. д. Содержание активных минеральных добавок не более 20%, инертных добавок — не более 10%. Белые портуландцементы отличаются от обычных по срокам схватывания (начало не ранее 45 мин, ко-

нец не позднее 12 ч после затворения) и тонкости помола (остаток на сите № 008 не более 12%).

● **Цветные портуландцементы** используют для архитектурно-отделочных и декоративных работ. Их получают путем совместного тонкого измельчения белого или обычного клинкера с красящими пигментами. В качестве пигментов используют: для получения желтого цвета — охра, красного — железный сурик, черного — пиролюзит MnO<sub>2</sub>. Количество минеральных красящих пигментов не должно превышать 10%, а органических — 0,3%. Пигменты должны быть устойчивы к действию щелочей, главным образом Са(ОН)<sub>2</sub>, атмосферных реагентов и прямого солнечного света.

● **Портуландцемент для бетона дорожных и аэродромных покрытий** характеризуется повышенной прочностью при изгибе и ударе, малой истираемостью, высокой морозостойкостью, небольшой усадкой. Для этих целей может использоваться портуландцемент М400 и 500: бездобавочный (ДО) либо (Д20) с содержанием до 15% доменных гранулированных шлаков. Изготавливают его из клинкера нормированного минералогического состава с содержанием С<sub>3</sub>A не более 8%. Начало схватывания портуландцемента для дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2 ч от начала затворения.

● **Тампонажные портуландцементы** (ТПЦ) предназначены для тампонажирования (цементирования) нефтяных и газовых скважин, которое необходимо для изоляции их от грунтовых вод. Цементная промышленность СССР выпускает два вида тампонажных портуландцементов, из которых один предназначен для цементирования «холодных», а другой — «горячих» скважин (ГОСТ 1581—78). Испытания этих цементов должны вестись соответственно при 22±2 и (75±3)°С.

Цементы для холодных скважин получают из алитовых клинкеров (около 60% С<sub>3</sub>S) при измельчении до удельной поверхности 300..350 м<sup>2</sup>/кг, а цементы для горячих — из низкоалюминатных клинкеров. Допускается введение в состав тампонажных портуландцементов до 20% гранулированных доменных и электротермофосфорных шлаков либо до 12% активных минеральных добавок, либо до 10% кварцевого песка (известняка).

Начало схватывания цементов для холодных скважин должно наступать не ранее 2 ч, конец — не позднее 10 ч, а для горячих — соответственно не ранее 1 ч 45 мин и не позднее 5 ч при 75°С. Основной характеристикой этих цементов является прочность при изгибе. У цементов для «холодных» скважин в 2-суточном возрасте она должна быть не менее 2,7 МПа и цементов для «горячих» скважин в суточном возрасте — не менее 3,5 МПа. Цементное тесто должно характеризоваться высокой растекаемостью расплава стандартного образца — не менее 180 мм.

Кроме рядовых тампонажных портуландцементов промышлен-

ность выпускает ряд специальных видов, обладающих повышенными сульфатостойкостью, солестойкостью и другими особыми свойствами.

### § 3.9. Пуццолановые цементы

● **Пуццолановые цементы** — это группа гидравлических вяжущих веществ, обладающих повышенной водостойкостью. Особые свойства пуццолановым цементам придают активные минеральные добавки.

**Активные минеральные добавки** различают природные и искусственные. *Природные активные минеральные добавки* — это минеральные вещества, которые сами по себе вяжущими свойствами не обладают, но, будучи смешаны в тонкомолотом виде с известью, при затворении водой образуют тесто, способное после твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой, а при смешивании с портландцементом повышают его водостойкость и антикоррозионные свойства. Различают природные активные минеральные добавки вулканического (вулканические исланды, туфы, лемзы, трассы) и осадочного (диатомиты, трепелы, опоки, глиежи) происхождения. В качестве *искусственных активных минеральных добавок* используют доменные гранулированные шлаки, электротермофосфорные шлаки, белитовый (цефелиновый) шлак, топливные шлаки и золы.

Любая активная минеральная добавка содержит вещество, способное при обычных условиях вступать в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция и давать труднорастворимые продукты реакции. В диатомитах, трепелах и других добавках осадочного происхождения этим веществом является активный кремнезем, а в вулканических и искусственных — преимущественно алюмосиликаты.

Введение активных минеральных добавок в состав вяжущего преследует цель связать известь в нерастворимые, способные к водному твердению вещества и повысить водостойкость искусственного камня. Вместе с тем необходимо учитывать, что активные минеральные добавки несколько снижают себестоимость цемента без существенного понижения его качества.

Наиболее важное значение из пуццолановых цементов имеет пуццолановый портландцемент.

● **Пуццолановый портландцемент (ППЦ)** — твердеющее в воде и во влажных условиях гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола портландцементного клинкера нормированного минералогического состава (не более 8%  $C_3A$ ), гипса и активных минеральных добавок. Чем выше активность добавки, тем меньше должно быть ее содержание в цементе и тем выше его качество. Согласно ГОСТ 22266—76 содержание в пуццолановом портландцементе активных минеральных добавок оса-

дочного происхождения должно составлять 20...30%, прочих добавок — 20...40%.

Введение активных минеральных добавок возможно и непосредственно в бетонную смесь в процессе ее изготовления: мокрой присадкой или в виде порошка сухой добавки.

При твердении пуццоланового портландцемента происходит два процесса. Первый — гидратация минералов портландцементного клинкера; второй — взаимодействие активной минеральной добавки с гидроксидом кальция, выделяющимся при твердении клинкера. При этом  $Ca(OH)_2$  связывается в нерастворимый в воде гидросиликат кальция. Одновременно повышается плотность цементного камня. Реакции активных минеральных добавок с известью идут медленно, поэтому в раннем возрасте прочность пуццолановых цементов ниже, чем бездобавочных. Однако в позднем возрасте прочность пуццолановых портландцементов значительно возрастает. Твердение пуццоланового портландцемента можно ускорить, используя более активные добавки (при соответствующем уменьшении их количества), клинкер с увеличенным содержанием  $C_3S$ , а также более тонкий помол цемента и повышенным содержанием гипса.

Так как реакция между активным кремнеземом добавки и гидроксидом кальция протекает только в присутствии воды, то пуццолановый портландцемент лучше твердеет в воде и во влажных условиях. При твердении на воздухе прочность его нарастает медленнее. Согласно ГОСТ 22266—76 выпускают две марки пуццоланового портландцемента: М300 и 400. Водопотребность пуццоланового портландцемента значительно выше 28...43%, чем у портландцемента. Соответственно снижается морозостойкость и воздухоустойкость бетонов на пуццолановом портландцементе.

Пуццолановый портландцемент непригоден для зимних бетонных работ, так как очень чувствителен к температурным условиям твердения. В то же время при повышенных температурах он твердеет интенсивно, а при автоклавной обработке прочность бетонов через 6...8 ч превышает прочность тех же бетонов нормального твердения в 28-суточном возрасте.

Повышенная плотность камня пуццоланового портландцемента обеспечивает его водонепроницаемость и соответственно стойкость в пресных водах. Вместе с тем пуццолановый портландцемент относится к группе сульфатостойких цементов. Он более стоек в сульфатных водах, так как в продуктах твердения нет свободного гидроксида кальция и трехкальциевого гидроалюмината.

Пуццолановый портландцемент предназначен для изготовления подземных и подводных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в условиях действия мягких пресных вод и при сульфатной агрессии: в водопроводных сооружениях, строительстве туннелей, при укладке фундаментов и подвалов зданий.

Гипсоцементопуццолановое вяжущее (ГЦПВ) получают пу-

тем тщательного смешения в определенных соотношениях гипсовых вяжущих, портландцемента и активной минеральной добавки. В зависимости от активности компонентов их содержание (% по массе) в ГЦПВ колеблется в пределах: гипсовое вяжущее — 50...65; портландцемент М300—400 — 15...25; активные минеральные добавки — 10...25. Вместо отдельно взятых портландцемента и активной минеральной добавки можно использовать пуццолановые портландцементы. В этом случае приходится смешивать уже не три, а два компонента (гипс и пуццолановый портландцемент), что упрощает технологию и повышает качество вяжущего.

На гипсовых заводах с варочными котлами портландцемент и активные минеральные добавки или пуццолановый портландцемент вводят непосредственно в котлы за несколько минут до окончания варки гипса. При этом отпадает необходимость в организации специального смесительного узла.

ГЦПВ выпускают М100 и 150 с началом схватывания не ранее 4 мин и концом не позднее 20 мин; тонкость помола характеризуется остатком на сите № 02 для М100 не более 15%, а для М150 — 10%. Особенно ценны ГЦПВ на основе  $\alpha$ -модификации полуводного гипса. Их использование позволяет получать быстротвердеющие бетоны с прочностью при сжатии до 20...40 МПа, причем уже через 2...4 ч твердения их прочность достигает 60...100 кПа, а через сутки — 15...20 МПа.

Бетоны на ГЦПВ через 2...3 ч набирают 30...40% марочной прочности. Ускорить твердение можно пропариванием изделий при температуре 70...80°C. Морозостойкость изделий на ГЦПВ равна 20...50 циклам замораживания и оттаивания.

Гипсоцементопуццолановые вяжущие применяют для приготовления оснований полов, панелей для внутренних стен, для изготовления санитарно-технических кабин и других изделий. Производство панелей оснований пола из бетона на ГЦПВ может быть организовано на технологическом оборудовании существующих заводов по производству крупнопанельных перегородок, что не требует создания новых производственных мощностей.

### § 3.10. Шлаковые цементы

● **Шлаковые цементы** являются разновидностью цементов с активными минеральными добавками, в которых последние представлены доменными или электротермофосфорными гранулированными шлаками. Однако в отличие от других активных минеральных добавок шлаки обладают гидравлической активностью, т. е. способны к самостоятельному водному твердению, что позволяет получать шлаковые цементы по качеству выше, чем пуццолановые.

Гидравлическая активность шлаков обусловлена в основном наличием в них алюмосиликатов кальция и зависит от их струк-

туры — соотношения кристаллической и стекловидной фаз. При медленном охлаждении шлаков образуются крупные хорошо оформленные кристаллы минералов, обладающие незначительными вяжущими свойствами или вовсе лишенные их. Гидратация быстроохлажденных шлаков с большим количеством стекловидной фазы происходит значительно активнее. Чем быстрее охлажден шлак, тем выше его вяжущие свойства. Резкое охлаждение огненно-жидких шлаков достигается их грануляцией: мокрой, полусухой и сухой. При мокром способе грануляции количество стекловидной фазы оказывается наибольшим — 40...95%, но при этом влажность шлака достигает 40%. Применение шлаков мокрой грануляции в производстве шлаковых цементов удорожает последние за счет большого расхода топлива на сушку шлака (до 80 кг условного топлива на 1 т сухого гранулята), хотя качество шлака, полученного при мокрой грануляции, пока выше, чем шлаков, полученных другими способами.

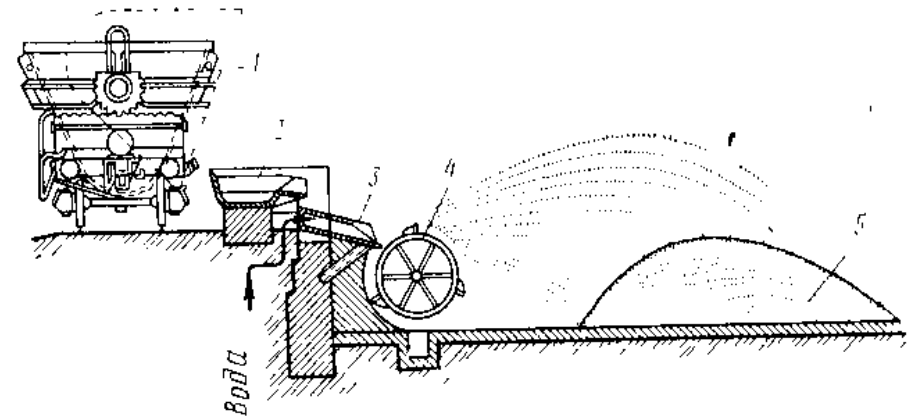


Рис. 3.13. Установка для полусухой грануляции шлака

1 — ковш; 2 — приемная ванна; 3 — грануляционный желоб; 4 — барабан; 5 — приемная площадка

Лучшие технико-экономические показатели имеют шлаки полусухой грануляции, когда жидкий шлак сначала охлаждается водой, а потом окончательно воздухом. Влажность шлака полусухой грануляции составляет 5...10%. Для полусухой грануляции используются барабанные грануляторы, гидроударные установки и грануляционные мельницы. На установке с барабаном (рис. 3.13) жидкий шлак ковшом сливают в приемную ванну и далее на наклонный грануляционный желоб, в который через специальные сопла подается вода под давлением до 0,6 МПа из расчета 0,7...1,5 м<sup>3</sup> на 1 т шлака. Сильно охлажденный шлак вместе с водой поступает на грануляционный барабан, где дробится и отбрасывается на площадку склада. При полете частицы шлака интенсивно охлаждаются воздухом.



При сухой грануляции поток шлакового расплава разбивается сильной струей воздуха или пара на мелкие капли, охлаждающиеся далее воздухом. Влажность гранулированного таким образом шлака составляет 0...5%.

Чтобы появились скрытые вяжущие свойства гранулированных доменных или электротермофосфорных шлаков, им необходимы специальные добавки-активизаторы (щелочи, сульфаты, портландцемент или смесь этих веществ). В зависимости от вида добавки различают щелочной, сульфатный или комбинированный способы возбуждения шлаков. На основе щелочного возбуждения изготовляют шлакопортландцемент и известково-шлаковый цемент; на основе комбинированного, преимущественно сульфатного, — сульфатно-шлаковые цементы (шлаковый бесклинкерный и гирсошлаковый).

Среди промышленных отходов шлаки занимают одно из первых мест, уступая лишь отходам горноперерабатывающей промышленности. Каждый год образуется более 50 млн. т доменных, около 20 млн. т сталеплавильных и примерно 90 млн. т топливных зол и шлаков. Поэтому применение их в цементной промышленности имеет важное народнохозяйственное значение. Наибольшее распространение из шлаковых вяжущих получил шлакопортландцемент.

● **Шлакопортландцемент (ШПЦ)** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола портландцементного клинкера, гипса и гранулированного доменного или электротермофосфорного шлака. По ГОСТ 10178—85 количество шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21% и не более 80%. Гипс вводят в количестве, необходимом для регулирования сроков схватывания, с тем чтобы содержание  $SO_3$  в шлакопортландцементе было не менее 1,0% и не более 4,0%.

Технологическая схема производства шлакопортландцемента включает два передела: получение портландцементного клинкера и затем шлакопортландцемента. Поскольку заводы по производству шлакопортландцемента строят в основном при наличии запасов местных шлаков, целесообразно использовать их в качестве одного из компонентов сырьевой шихты. Технологическая схема такого завода представлена на рис. 3.14. Однако с равным успехом для получения шлакопортландцемента может быть использован клинкер из обычной сырьевой смеси.

Следует стремиться к возможно более тонкому помолу шлакопортландцемента, так как это ускоряет его твердение и повышает прочность. При совместном помолу клинкера и шлака клинкер, как более твердая составляющая шихты, недонизмельчается и активность цемента снижается. Поэтому помол шлакопортландцемента желательно осуществлять по замкнутому циклу. Возможен двухступенчатый помол, когда вначале измельчают клинкер с гип-

сом до удельной поверхности порядка 2000...2500  $см^2/г$ , а затем вводят шлак.

Процесс твердения шлакопортландцемента более сложен, чем портландцемента, и может быть разделен на два этапа. Сначала происходит гидратация и твердение клинкерной части цемента, а также шлаковых минералов, а затем химическое взаимодействие продуктов гидратации клинкерной части с частично гидратированными гранулированными шлаками.

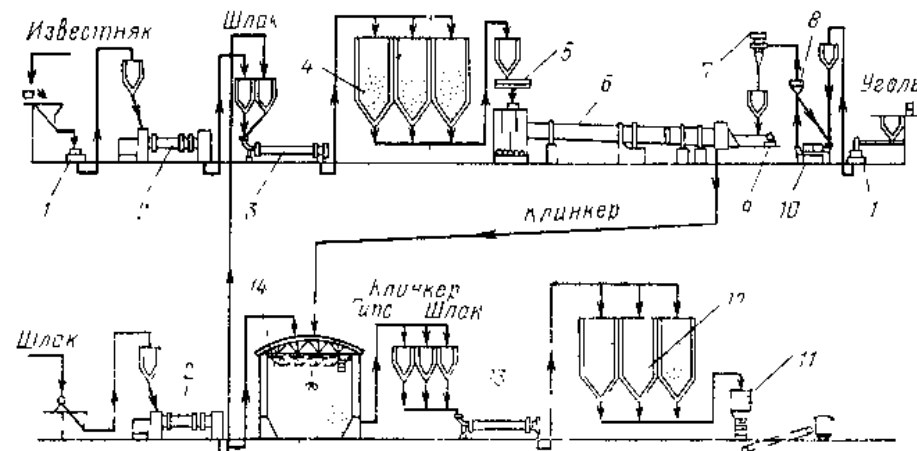


Рис. 3.14 Технологическая схема производства шлакопортландцемента: 1 — дробилка, 2 — сушильный барабан; 3 — сырьевая мельница 4 — смесительные силосы, 5 — питатель 6 — вращающаяся печь, 7 — циклон, 8 — сепаратор; 9 — вентилятор; 10 — угольная мельница; 11 — упаковочная машина; 12 — цементные силосы, 13 — цементная мельница 14 — клинкерный склад

По ГОСТ 10178—85 шлакопортландцемент выпускают трех марок: М300, 400 и 500. По сравнению с портландцементом шлакопортландцемент характеризуется замедленным нарастанием прочности в первые сроки. В дальнейшем скорость твердения нарастает и к 6...12 мес прочность шлакопортландцемента приближается к прочности портландцемента или даже превышает ее. Особенно эффективно шлакопортландцемент твердеет при пропаривании.

Шлакопортландцемент обладает повышенной сульфатостойкостью и антикоррозионностью по отношению к минерализованным водам. Это объясняется тем, что выделяющийся при гидролизе гидроксид кальция связывается шлаковыми минералами.

Специфические свойства шлакопортландцемента (низкая экзотермия, повышенная устойчивость к агрессивному воздействию и т. д.) определяют области его применения. Как правило, шлакопортландцемент применяют при гидротехническом строительстве, в строительстве портовых сооружений, при необходимости службы бетона в агрессивных средах. Шлакопортландцемент высоких ма-

рок эффективно используется в производстве сборных бетонных и железобетонных конструкций с применением тепловлажностной обработки.

● **Быстротвердеющий шлакопортландцемент (ШПЦБ) М400** отличается более интенсивным нарастанием прочности в начальный период твердения. Этот цемент по ГОСТ 10178—85 должен характеризоваться через 3 сут прочностью при сжатии не менее 19,6 МПа и при изгибе — 3,4 МПа, а через 28 сут соответственно 39,2 и 5,4 МПа. К особенностям производства быстротвердеющего шлакопортландцемента относятся: применение активного аллюминатного цементного клинкера, пониженное против обычного количество вяжущего в шихту шлака, повышенная тонкость помола (удельная поверхность 350—400 м<sup>2</sup>/кг), применение добавок-ускорителей твердения (AlCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>2</sub>, NaCl и др.) в количестве 0,5...1% от массы цемента. Быстротвердеющий шлакопортландцемент предназначен для производства как монолитных, так и сборных бетонных и железобетонных конструкций с повышенной начальной прочностью, а также для изделий, изготовляемых с применением тепловлажностной обработки.

● **Известково-шлаковый цемент** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным помолом гранулированных доменных или электротермофосфорных шлаков с известью или гашеным смешением в сухом виде раздельно измельченных материалов. Содержание извести в цементе в зависимости от состава и свойств шлаков колеблется от 10 до 30%. Допускается добавка 5% гипса и 10...20% портландцемента.

Известково-шлаковый цемент — медленно схватывающееся и медленно твердеющее вяжущее, однако по истечении длительного времени изделия на его основе показывают достаточно высокую прочность (5—20 МПа). Применяют его в строительных растворах для кладки и штукатурки, а также для изготовления низкомарочных бетонов.

● **Сульфатно-шлаковые цементы** — медленно твердеющие вяжущие с прочностью 15—30 МПа. Активность может быть повышена применением высокоглиноземистых основных шлаков, увеличением тонкости помола, а также применением интенсификаторов твердения. Начало схватывания сульфатно-шлаковых цементов должно наступать не ранее 30 мин, а конец — не позднее 12 ч после затворения. Воздухо- и морозостойкость их достаточно высоки. Сульфатно-шлаковые цементы предназначены для подземных и подводных сооружений, в том числе подвергающихся воздействию сульфатных вод, а также для изготовления сборных бетонных и железобетонных конструкций с применением пропаривания.

● Из сульфатно-шлаковых цементов распространение получили **гипсошлаковый и шлаковый бесклинкерный цементы**. Гипсошлаковый цемент состоит из гранулированного шлака — 80...85%;

гипса — 10...15; портландцемента — до 5, а шлаковый бесклинкерный цемент — из гранулированного шлака — 85...90; гипса (ангидрида) — 6...8; доломита обожженного — 4...7% по массе.

Сбеспокойность шлаковых цементов снижается за счет замены части клинкера необжигаемым материалом — гранулированным шлаком, что значительно снижает затраты на добычу и подготовку сырья, уменьшает расход топлива и электроэнергии на 1 т продукта. По уровню издержек производства шлакопортландцемент на 15...20% эффективнее портландцемента. Простота технологии, возможность использования отходов промышленности, экономичность производства, присущие шлаковым цементам, обеспечивают широкое их распространение. Кроме того, использование шлаков в составе шлаковых цементов способствует решению важной социальной задачи — охране окружающей среды, поскольку сокращаются полезные площади, занимаемые отвалами шлака.

### § 3.11. Глиноземистый цемент

● **Глиноземистый цемент (ГОСТ 969—77)** — быстротвердеющее в воде и на воздухе высокопрочное вяжущее вещество, получаемое путем обжига до спекания или плавления смеси материалов, богатых глиноземом и оксидом кальция, и последующего тонкого помола продукта обжига, в составе которого преобладают низкоосновные алюминаты кальция. Глиноземистый цемент в отличие от портландцемента не содержит ни гипса, ни активных минеральных добавок. Поскольку глиноземистые цементы производят в разных странах из разного сырья, их химический состав колеблется в очень широких пределах (% по массе): 30...50% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 35...45% CaO, 5...15% SiO<sub>2</sub>, 5...15% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,5...2,6% TiO<sub>2</sub>, 0,5...1,5% MgO. Минералогический состав глиноземистого цемента зависит от состава исходного сырья и технологии производства.

Важнейший минерал глиноземистого цемента — моноалюминат кальция CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обеспечивает при нормальных сроках схватывания быстрое твердение цемента. В качестве основного сырья для изготовления глиноземистого цемента используют бокситы и известняки (или известь). Боксит представляет собой гидроксид алюминия с примесями SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, CaO и MgO. Пригодность бокситов для производства глиноземистого цемента оценивают по значению их кремниевого модуля, представляющего отношение содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> к SiO<sub>2</sub> (по массе). Этот показатель должен быть не менее 5...6.

Существует два способа получения глиноземистого цемента: *способ спекания*, предусматривающий обжиг сырьевой смеси во вращающихся печах, и *способ плавления*, заключающийся в полном расплавлении сырья. Способ плавления при производстве глиноземистого цемента получил большее распространение, что объясняется сравнительно низкими температурами плавления сырье-

вых смесей (1350...1600°C), возможностью использования грубомолотого сырья с большим количеством примесей, которые частично при обжиге удаляются. Плавление шихты осуществляется в восстановительной и окислительной средах в электродуговых печах, доменных печах и конверторах.

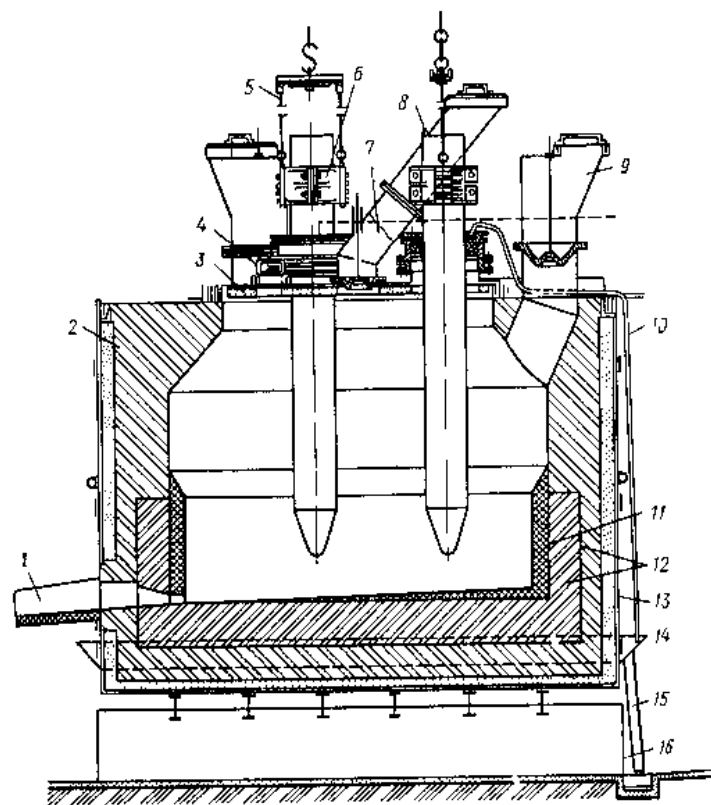


Рис. 3.15. Схема электродуговой печи:

1 — летка, 2 — большая крышка, 3 — изоляция из глины с асбестом; 4 — крышка люка; 5 — электрододержатель, 6 — хомут электродов, 7 — центральный питатель; 8 — электрод, 9 — боковые питатели; 10 — отводная труба, 11 — угольная набойка; 12 — футеровка печи, 13 — кожух печи, 14 — желоб; 15 — сливная труба, 16 — фундамент

В электродуговые печи (рис. 3.15) загружают известь, прокаленные до полного удаления воды бокситы, железную руду, металлический лом и кокс. При плавке оксиды железа и кремния, присутствующие в сырье, восстанавливаются и, реагируя между собой, образуют ферросилиций. Так как плотность ферросилиция  $6,5 \text{ г/см}^3$ , а расплавленного цемента  $3 \text{ г/см}^3$ , расплав ферросилиция, осаждаясь, отделяется от расплава цемента. Сливая верхний

и нижний слои расплава, получают два продукта — клинкер глиноземистого цемента и ферросилиций, используемый в металлургической промышленности. Охлажденный клинкер направляют на дробление и помол. Плавка в электрических печах обеспечивает получение глиноземистого цемента высокого качества, но требует высокого расхода электроэнергии.

Способ доменной плавки чугуна и высокоглиноземистого шлака за рубежом называют русским способом производства глиноземистого цемента. Сырьевую смесь, состоящую из железистого боксита, известняка, металлического лома и кокса, послойно загружают в печь. В результате доменного процесса получают из руды расплавленный чугун, а в виде шлака — расплав глиноземистого клинкера. Расплавленный глиноземистый шлак выпускают в изложницы, где он медленно охлаждается и кристаллизуется. Количество получаемого чугуна примерно равно количеству клинкера.

При плавлении в доменных печах получают одновременно глиноземистый клинкер и чугун. Сырьевую смесь, состоящую из железистого боксита, известняка, металлического лома и кокса, послойно загружают в печь. В результате доменного процесса получают из руды расплавленный чугун, а в виде шлака — расплав глиноземистого клинкера. Расплавленный глиноземистый шлак выпускают в изложницы, где он медленно охлаждается и кристаллизуется. Обжиг в доменной печи очень экономичен, так как плавление сырья происходит за счет того же топлива, которое необходимо для выплавки чугуна.

Плавленный глиноземистый клинкер отличается высокой твердостью, поэтому необходимо предварительное двухстадийное дробление застывшего расплава в мощных дробилках. Помол дробленого глиноземистого клинкера производят в шаровых мельницах. Для интенсификации помола вводят до 2% углеродсодержащих веществ (угольную мелочь, сажу). Расход электроэнергии на помол плавленых клинкеров примерно вдвое выше, чем на помол цементов, полученных способом спекания. Размол производят до остатка на сите № 008 не более 10%.

При затворении порошка глиноземистого цемента водой образование пластичного теста, последующее его уплотнение и твердение протекают так же, как и при гидратации портландцемента, однако химическая сторона твердения имеет существенные особенности. Однокальциевый алюминат при взаимодействии с водой гидратируется, образуя двухкальциевый восьмиводный гидроалюминат  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  и гидроксид алюминия. В дальнейшем происходит уплотнение геля и кристаллизация продуктов гидратации. Эти процессы протекают очень интенсивно.

Быстрый рост прочности — основное отличительное свойство глиноземистого цемента. К моменту окончания схватывания, при-

мерно через 5...6 ч, прочность его может составлять 30% и более марочной, через 1 сут твердения — свыше 90%, а на третьи сутки достигается марочная прочность.

Глиноземистый цемент является быстротвердеющим, но не быстросхватывающимся вяжущим веществом. По ГОСТ 969—77 начало схватывания его должно наступать не ранее 30 мин, а конец — не позднее 12 ч.

Глиноземистый цемент очень чувствителен к условиям твердения. Необходимо обязательно хранить бетон на глиноземистом цементе влажным, во всяком случае не менее 1 сут. Температура бетона при твердении не должна превышать 25°C, при повышении температуры прочность растворов и бетонов на глиноземистом цементе резко снижается.

Чувствительность глиноземистого цемента к температурному режиму твердения необходимо учитывать еще и потому, что этот процесс сопровождается выделением большого количества теплоты (в первые сутки твердения 70...80% всего количества). Это дает возможность применять глиноземистый цемент при пониженных температурах, но исключает использование его в массивном бетоне, в условиях жаркого климата и при пропаривании.

Быстрый рост прочности — основное отличительное свойство глиноземистого цемента. Марка глиноземистого цемента соответствует минимальному пределу прочности (кгс/см<sup>2</sup>) при сжатии образцов из раствора состава 1:3 пластичной консистенции через 3 сут твердения. Согласно ГОСТ 969—77 глиноземистый цемент выпускают М400, 500 и 600. При этом нормируется прочность при сжатии не только в 3-суточном, но и суточном возрасте. Для М400, 500 и 600 последняя должна соответственно составлять 23, 28, 33 МПа. Максимум прочности на 40...50% выше марочной достигается к 1...3 годам твердения.

Глиноземистый цемент отличается повышенной стойкостью против минерализованных вод. Это объясняется плотностью и водонепроницаемостью бетона на глиноземистом цементе, отсутствием в нем легко растворимых веществ и защитным действием пленок гидроксида алюминия, обволакивающих частицы цементного камня. Однако растворы щелочей разрушают бетон на глиноземистом цементе.

Несмотря на высокое качество, глиноземистый цемент не получил столь широкого распространения, как портландцемент, так как сырье для его производства ограничено, а стоимость в 5...6 раз выше. Глиноземистый цемент целесообразно использовать в тех случаях, когда специфические его свойства — высокая прочность в короткие сроки твердения, стойкость против агрессивного воздействия, интенсивное тепловыделение — экономически оправдывают его применение вместо обычного портландцемента. Его используют для заделки пробойн в морских судах, для быстрого сооружения фундаментов под машины, при скоростном строитель-

стве, аварийных работах, зимнем бетонировании, строительстве сооружений, подвергающихся воздействию минерализованных вод и сернистых газов. На основе глиноземистого цемента получают жаростойкие бетоны.

### § 3.12. Расширяющиеся цементы

Усадка цементного камня вызывает растягивающие напряжения, которые могут превосходить прочность бетона при растяжении и вызывать появление трещин. При возведении массивных бетонных сооружений и монтаже железобетонных конструкций плотная заливка стыков может быть осуществлена лишь цементами, объем пластичной массы которых после затвердения или не меняется, или несколько увеличивается.

Все они являются смешанными и состоят из основного вяжущего вещества и расширяющей добавки, в которую в свою очередь могут входить несколько компонентов. При твердении таких цементов вследствие взаимодействия компонентов расширяющей добавки или их реакции с основным вяжущим происходит *расширение*, которое на определенной стадии заканчивается или приостанавливается в результате твердения основного вяжущего. При этом стабилизируется полученная расширяющая структура.

Известно несколько химических реакций, вызывающих расширение затвердевшего бетона: гидратация СаО до Са(ОН)<sub>2</sub>, гидратация MgO до Mg(ОН)<sub>2</sub> и образование гидросульфатоалюмината кальция. Советские исследователи, разрабатывая составы расширяющихся цементов, использовали расширяющее действие гидросульфатоалюмината кальция, направляя процесс так, чтобы образование гидросульфатоалюмината кальция и вызываемое им расширение происходило в начальный период твердения в пластичном тесте, когда оно не сказывается отрицательно на качестве бетона и не вызывает появления трещин. В результате сульфатоалюминатного расширения можно достичь приращения линейных размеров цементного камня до 4...5%.

● **Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ)** — быстросхватывающееся и быстротвердеющее вяжущее вещество, получаемое смешением в определенной дозировке глиноземистого цемента и расширяющей добавки, состоящей из гипса и высокоосновного гидроалюмината кальция. Оптимальный его состав: глиноземистый цемент — 70%, полуводный гипс — 20%, гидроалюминат кальция — 10%. Перемешивание компонентов осуществляется в шаровой мельнице в течение 20...30 мин. Остаток на сите № 02 должен быть не более 12% и на сите № 008 — не более 25%.

ВРЦ должен удовлетворять следующим основным требованиям: начало схватывания — не ранее 4 мин, конец — не позднее 10 мин от начала затвердения. Через сутки твердения испытываемые образцы должны быть полностью водонепроницаемыми при

давлении 0,6 МПа. Предел прочности при сжатии образцов из чистого цементного теста должен быть через 12 ч — 7,5 МПа; через 3 сут — 30 МПа; через 28 сут — 50 МПа. Распирение образцов происходит в течение 1...3 сут (в основном в первые сутки) и составляет 0,05...1%. Недостатки ВРЦ — быстрое схватывание, высокая стоимость, пониженная морозостойкость изделий.

Применяют ВРЦ для омоноличивания сборных железобетонных конструкций, гидроизоляции швов между тубингами отделки туннелей и стволов шахт, гидроизоляции водопроводных труб, заделки трещин в железобетонных сооружениях.

● **Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент (ГГРЦ)** — быстротвердеющее в воде и на воздухе вяжущее вещество, получаемое совместным помолом высокоглиноземистого доменного шлака и природного гипса, в соотношении примерно 0,7:0,3 по массе. При этом содержание  $SO_3$  не должно превышать 17%. Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент имеет начало схватывания не ранее 10 мин, конец — не позднее 4 ч после затворения. При просеивании через сито № 008 должно проходить не менее 90% массы пробы. Предел прочности при сжатии через 3 сут образцов из раствора 1:3 должен быть не менее 30 МПа. Образцы из цементно-песчаного раствора через 3 сут после изготовления должны оставаться водонепроницаемыми при давлении 1,1 МПа. Необходимое условие расширения образцов из гипсоглиноземистого расширяющегося цемента — хранение их в воде. Распирение заканчивается через 1...3 сут твердения. Относительная величина линейного расширения 0,1...0,7%.

Этот цемент применяют для получения безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых бетонов и гидроизоляционных штукатурок, для заделки стыков сборных бетонных и железобетонных конструкций, зачеканки швов и раструбов водопроводных линий.

**Напрягающий цемент (НЦ)** — быстротвердеющее и быстротвердеющее вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением смеси, состоящей из 65...75% портландцемента, 13...20% глиноземистого цемента и 6...10% гипса. Содержание  $SO_3$  должно быть не менее 3,5 и не более 7%; НЦ предназначен для получения самоупражного железобетона. При расширении он сообщает арматуре, независимо от ее расположения в конструкции, предварительное натяжение. По величине достигаемого самоупражения различают напрягающие цементы: с малой энергией самоупражения — не менее 2,0 МПа (НЦ-20), со средней энергией самоупражения — 4,0 МПа (НЦ-40), с высокой энергией самоупражения — 6,0 МПа (НЦ-60). Начало схватывания напрягающего цемента должно наступать не менее 30 мин, а конец — не позднее 4 ч после затворения. Прочность при сжатии должна быть для НЦ-20 и НЦ-40 через 1 сут 15 МПа, через 28 сут — 50 МПа. Относительное линейное расширение через

28 сут должно быть для НЦ-20 не более 2% и для НЦ-40 — не более 2,5%.

Напрягающий цемент успешно применяют для изготовления напорных железобетонных труб, резервуаров для воды, оболочек покрытий, при строительстве спортивных сооружений (трибун, плавательных бассейнов и др.), для строительства дорог и аэродромов. Его применение обеспечивает водо-, бензо- и газопроницаемость конструкций, повышает их трещиностойкость.

1. Какие возможности регулирования строительно-технических свойств портландцемента дает изменение химико-минералогического состава клинкера? 2. Какие виды сырья использует цементная промышленность? Какие преимущества дает использование в цементной промышленности в качестве сырья побочных продуктов других отраслей? 3. Сопоставьте технико-экономические показатели сухого, мокрого и комбинированного способов производства клинкера. 4. Каковы преимущества мельниц самоизмельчения и перспективы их дальнейшего внедрения в цементную промышленность? 5. Почему на современных цементных заводах порционное корректирование состава сырьевых смесей вытесняется поточным? 6. Каковы технико-экономические преимущества печей с циклонными теплообменниками? Какие дополнительные возможности повышения производительности печей дает включение в технологическую схему реакторов-декарбонизаторов? 7. Охарактеризуйте способы интенсификации процессов измельчения портландцемента. 8. В чем особенности технологии производства быстротвердеющих цементов? 9. Какие новые свойства придает портландцементу введение в его состав поверхностно-активных веществ? 10. В чем преимущества получения глиноземистых цементов способом плавления?

## ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

### § 4.1. Общие сведения

● Асбестоцемент — искусственный каменный материал, образующийся в результате твердения однородной массы, взятых в определенном количественном соотношении цемента, асбеста и воды. Тем самым асбестоцемент — материал композиционный, составленный из нескольких совместно работающих материалов, дополняющих лучшие свойства друг друга. Тонкие волокна асбеста, равномерно пронизывая массу гидратированного цемента, подобно металлической арматуре в железобетоне, повышают сопротивляемость материала растягивающим нагрузкам. Цементный камень играет роль матрицы. Вследствие усадки он обжимает волокна асбеста и возникающие силы трения обеспечивают монолитность и прочность камня. Введение арматуры в матрицу обеспечивает получение нового материала, основные механические свойства которого отличаются от свойств матрицы и арматуры, взятых отдельно. Асбестоцемент был первым и до конца 50-х годов XX в. единственно широко распространенным композиционным материалом.

### § 4.2. Сырьевые материалы

К сырьевым материалам асбестоцементного производства относят асбест, цемент, воду и красители.

● Асбестом называют группу минералов волокнистого строения, способных при механическом воздействии распадаться на тончайшие гибкие волокна. Волокнистое строение проявляется наиболее полно у хризотил-асбеста — водного силиката магния  $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . В общей мировой добыче асбестовых минералов доля хризотил-асбеста составляет около 96%.

Молекулы асбеста прочно связаны между собой лишь в одном направлении, боковая же связь с соседними молекулами слабая. Этим свойством объясняется очень высокая прочность асбеста на растяжение вдоль волокон и хорошая распушиваемость — расщепление поперек волокон. Диаметр индивидуального волокна асбеста составляет 30...40 мкм. Практически асбест распушивают до среднего диаметра волокон около 0,02 мм, т. е. каждое такое волокно — пучок огромного количества элементарных волокон. Ме-

ханическая прочность при растяжении по длине волокна нераспушенного асбеста составляет около 3000 МПа. Но так как при распушке волокна асбеста подвергаются сжимающим, ударным и другим воздействиям, прочность волокон после распушки снижается до 600...800 МПа, что тем не менее соответствует прочности высококачественной стальной проволоки.

Длина волокон асбеста колеблется от долей миллиметра до 40 мм и более. От их длины зависит качество асбестосодержащих материалов. В зависимости от длины волокна асбест подразделяют на 8 сортов. Для производства асбестоцементных изделий используют 3...6 сортов асбеста. Более длинные волокна асбеста не применяют, поскольку при обработке они скручиваются.

Асбест обладает высокой адсорбционной способностью. В смеси с портландцементом и водой он адсорбирует и хорошо удерживает на своей поверхности продукты гидратации цемента, связывающие волокна асбеста.

Хризотил-асбест достаточно щелочеустойчив, что обеспечивает его сохранность в твердеющем портландцементном камне и монолитности асбестоцементной композиции.

В последние годы ведутся работы по полной или частичной замене асбеста в изделиях другими волокнистыми материалами: минеральной ватой, стекловолокном, целлюлозой. Особенно большой интерес представляет использование вторичной сульфатной целлюлозы, полученной размолом крафт-мешков из-под асбеста. Это позволяет эффективно использовать сотни тонн бумажных отходов и вместе с тем улучшает свойства асбестоцементных суспензий, повышает ударную вязкость изделий.

● К портландцементу при производстве асбестоцементных изделий к процессу предъявляются сложные и противоречивые требования. Гидратироваться он должен быстро, накапливая продукты гидратации, но схватывание его идет сравнительно медленно, учитывая избыток жидкой фазы. С другой стороны, в последующие сроки такой цемент должен интенсивно набирать прочность, обеспечивая переход полуфабриката в готовую продукцию в соответствии с особенностями технологического процесса. Цементная промышленность СССР выпускает специальный портландцемент для производства асбестоцементных изделий М400 и 500. Его получают совместным помолом клинкера нормированного минералогического состава и необходимого количества гипса. Содержание алита в клинкере должно быть не менее 52%, трехкальциевого алюмината — не менее 3 и не более 8%, свободной извести — не более 1%, свободного оксида магния — не более 5%. Требования по тонкости помола к этому виду портландцемента очень жесткие. В отличие от других видов цементов тонкость помола нормируется по удельной поверхности и должна быть не менее 2200 и не более 3200 см<sup>2</sup>/г. Начало схватывания цемента должно



наступать не ранее 1 ч 30 мин, а конец схватывания — не позднее 10 ч после начала затворения.

● **Песчанистый цемент** получают совместным помолом портландцементного клинкера, песка (38...45%) и гипса. Клинкер должен содержать более 50%  $C_3S$  и менее 8%  $C_3A$ ; в песке должно быть не менее 87%  $SiO_2$ . Удельная поверхность песчанистого цемента 320...360 м<sup>2</sup>/кг.

Сформованные на основе песчанистого цемента асбестоцементные изделия требуют автоклавной обработки. Однако его использование позволяет сократить расход портландцементного клинкера. Изделия после выхода из автоклава могут быть сразу отгружены потребителю, а прочность их на 20% выше, чем у изделий на портландцементе, твердевших 14 сут.

● **Вода** для производства асбестоцементных изделий не должна содержать глинистых примесей и органических веществ. Глинистые частицы, осаждаясь на поверхности асбестовых волокон, уменьшают их сцепление с цементом, затрудняют фильтрацию асбестоцементной суспензии и снижают механическую прочность изделий. Органические примеси замедляют гидратацию вяжущего. Производство асбестоцементных изделий в большинстве случаев связано с расходом больших количеств воды. В отходящей воде содержится значительное количество асбеста и цемента. Поэтому ее возвращают в технологический цикл. Работа на оборотной технологической воде позволяет не только избежать загрязнения окружающей среды, но и дает ряд важных преимуществ. Насыщенность оборотной воды ионами  $Ca^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$  препятствует вымыванию гипса и предотвращает преждевременное схватывание, отсутствие в ней  $CO_2$  ликвидирует забивание сеток тонкодисперсным карбонатом кальция. Оптимальная температура воды в производстве асбестоцементных изделий 30...40°C. Нагретая вода ускоряет гидратацию цементных зерен. Одновременно уменьшается вязкость асбестоцементной суспензии, интенсифицируется фильтрация и, как следствие этого, растет производительность формовочных машин.

● **Красители** применяют при производстве декоративных изделий. Это цветные цементы или минеральные щелочестойкие пигменты (сурик железный, охра, оксид хрома и др.), обладающие высокой красящей способностью, свето- и атмосфероустойчивостью и не взаимодействующие с продуктами гидратации цемента.

### § 4.3. Формование асбестоцементных изделий

Асбестоцементная промышленность в настоящее время использует три способа производства изделий: мокрый способ — из асбестоцементной суспензии, содержащей не более 20% твердых компонентов; полусухой — из асбестоцементной массы, содержащей более 20% сухих компонентов; сухой — из смеси асбеста и

цемента в состоянии их товарной влажности. Наиболее распространен мокрый способ.

● **Технологическая схема производства асбестоцементных изделий** состоит из следующих основных операций: складирования и хранения материалов; составления смеси асбеста; распушки асбеста; приготовления асбестоцементной массы; формования асбестоцементных изделий; предварительного твердения формованных изделий; механической обработки изделий; их твердения и складирования.

Асбест хранят в отдельных отсеках закрытых складов для разных марок и сортов. Учитывая, что сырье и материалы в структуре себестоимости асбестоцемента составляют 60...65%, потери сырья при хранении и транспортировке должны быть сведены к минимуму и должен быть обеспечен строгий контроль за соблюдением технологических норм расхода цемента и асбеста. Для каждого вида изделий устанавливают особый состав смеси асбеста. Сорта асбеста и их процентное содержание в применяемых смесях нормируют технологическими картами.

● **Распушка асбеста** — одна из важнейших операций в производстве асбестоцементных материалов. Ее целью является увеличение количества и уменьшение толщины волокон для улучшения армирования асбестом цементного камня. В результате распушки адсорбирующая поверхность волокон асбеста резко растет. Если общая поверхность столбика асбеста-минерала объемом в 1 см<sup>3</sup> составляет 6 см<sup>2</sup>, то волокна этого образца, распушенные до толщины 0,1 мм, имеют общую поверхность 400 см<sup>2</sup>, а распушенные до 0,001 мм — 40 000 см<sup>2</sup>.

Различают три вида распушки: *сухую*, *мокрую* и *полусухую*. Во всех случаях асбест распушивают в две стадии. На *первой* — происходит обминание асбеста, ослабление связей между его волокнами; на *второй* — разделение частиц с ослабленными связями на тончайшие волокна. На первой стадии необходимо подвергать иголки асбеста сильному сжатию, совмещенному с изгибом, например на бегунах или валковых машинах; вторую стадию осуществляют в вихревых турбулентных потоках жидкости (в голлендерах, гидрораспушителях)

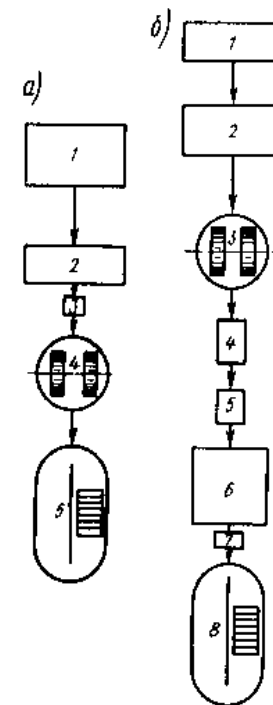


Рис 4.1. Схемы распушки асбеста:

а — мокрый способ: 1 — склад асбеста, 2 — участок для составления смеси асбеста, 3 — дозатор; 4 — бегуны с увлажнением асбеста, 5 — голлендер; 6 — сушильный способ; б) — сухой способ: 1 — склад асбеста; 2 — участок для составления смеси асбеста; 3 — бегуны, 4 — лезвийный агрегат (пушигель); 5 — акстауер, 6 — камеры распушенного асбеста; 7 — дозатор; 8 — голлендер

или воздуха (дезинтеграторах). Схемы распушки асбеста сухим и мокрым способами представлены на рис. 4.1.

Выбор режима распушки асбеста определяется составом смеси. Оптимизация режима распушки позволяет повысить проч-

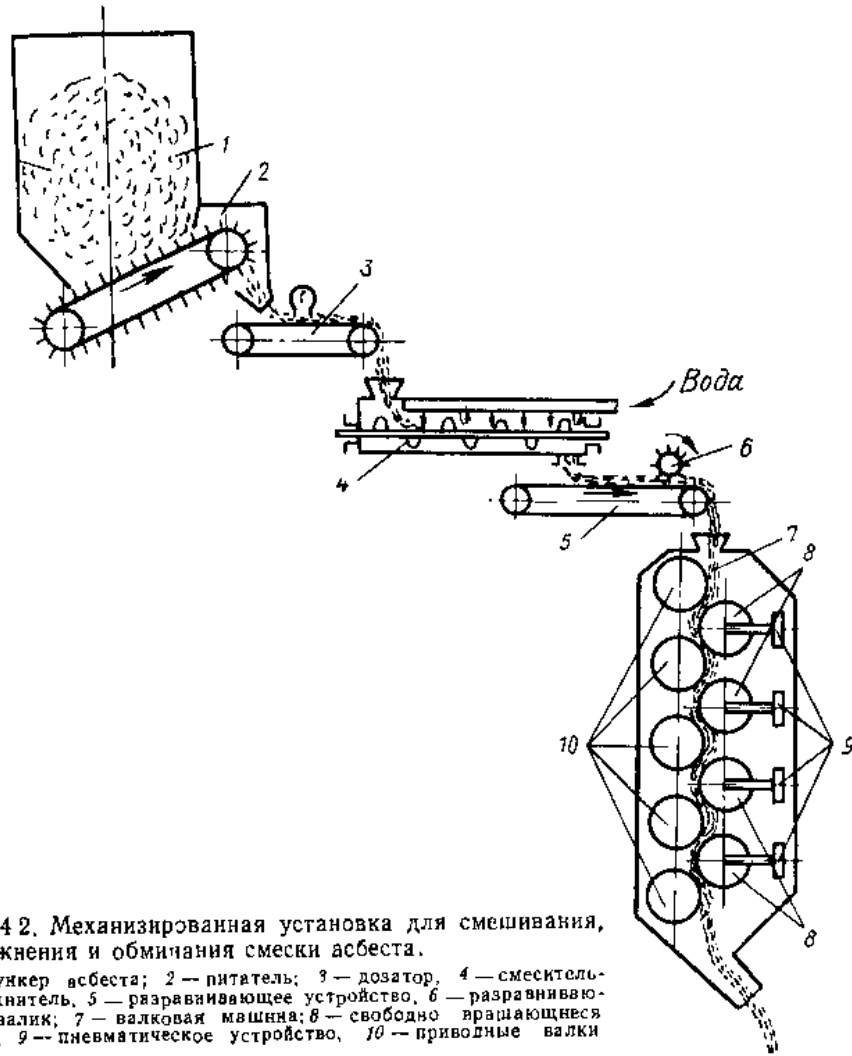


Рис. 4.2. Механизированная установка для смешивания, увлажнения и обминания смеси асбеста.

1 — бункер асбеста; 2 — питатель; 3 — дозатор; 4 — смеситель-увлажнитель; 5 — разравнивающее устройство; 6 — разравнивающий валик; 7 — валковая машина; 8 — свободно вращающиеся валки; 9 — пневматическое устройство; 10 — приводные валки

ность асбестоцемента в среднем на 10...12% без повышения его средней плотности.

Наиболее распространенный аппарат для первой стадии распушки — бегуны, представляющие собой два катка, движущиеся в горизонтальной чаше, под давлением которых нарушается сцепление волокон асбеста между собой. Масса асбеста, одновременно

обрабатываемого на бегунах, 130...150 кг, рекомендуемая продолжительность обработки — 12...25 мин, степень распушки — 30...35%. На бегунах можно обрабатывать как сухой, так и увлажненный асбест, замоченный водой в количестве 0,5...0,6 л на 1 кг асбеста на 3...5 сут. Мокрый способ более эффективен. Проникая в микроцели, вода оказывает расклинивающее действие, вследствие чего волокна расщепляются легче и более полно. Кроме того, увлажнение асбеста повышает эластичность волокон, увеличивает их сопротивление излому. В настоящее время для обминания асбеста все большее распространение получает валковая машина (рис. 4.2). В отличие от бегунов эта машина выпускает высококачественный обмятый асбест непрерывным потоком.

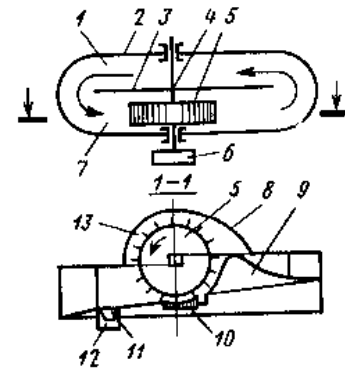


Рис. 4.3. Голлендер периодического действия:

1, 7 — каналы; 2 — палла; 3 — перегородка; 4 — вал барабана; 5 — ножевой барабан; 6 — шкив; 8 — съемный кожух; 9 — горка; 10 — рама с ножами; 11 — клапан; 12 — патрубок; 13 — ножи

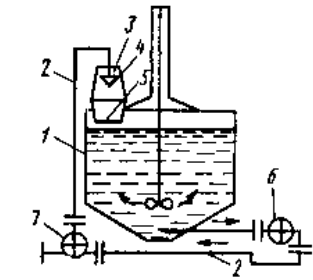


Рис. 4.4. Гидропушитель асбеста:

1 — корпус; 2 — трубопровод; 3 — приемник; 4 — конусная насадка; 5 — пластинка с насечками; 6 — насос; 7 — трехходовой кран

При сухом способе распушки после обработки на бегунах асбест поступает на вторую стадию обработки в дезинтегратор, где распушивается под ударами пальцев, вращающихся в разные стороны с большой скоростью. Пучки волокон, взаимная связь между которыми уже нарушена обработкой на бегунах, разделяются на тонкие пряди. Продукт вместе с воздушным потоком проходит через колосниковую решетку, направляется в эксгаустер, а затем в бункер распушенного асбеста.

По мокрому способу вторая стадия распушки производится в голлендерах или гидропушителях. В настоящее время на предприятиях эксплуатируются оба типа аппаратов и постепенно голлендеры вытесняются гидропушителями. Это связано с тем, что обслуживание последних не требует затрат ручного труда и легче поддается автоматизации.

Голлендер (рис. 4.3) представляет собой металлическую или железобетонную ванну объемом 3...4,5 м<sup>3</sup>, разделенную перегородод-

кой на два сообщающихся канала, по которым циркулирует вода с находящимися в ней во взвешенном состоянии волокнами асбеста. В одном канале установлен ножевой барабан, вращающийся со скоростью 180...240 об/мин. За барабаном по ходу движения массы в ванне имеется «горка», увеличивающая скорость движения содержимого ванны. На поверхности барабана закреплено около 50 ножей. Под барабаном находится гребенка, состоящая обычно из 15 ножей, кромки которых расположены концентрически к поверхности барабана. При вращении барабана ножи прогоняют массу под ножами гребенки, после чего она перебрасывается через горку. В голлендере можно получить волокна асбеста диаметром до 10 мкм. При сухом способе такой высокой степени распушки добиться сложно.

При мокром способе голлендер служит и для приготовления асбестоцементной суспензии. Она может готовиться в отдельном голлендере, а чаще в том же самом. Сначала ванну голлендера заполняют до 50% рекуперативной водой. Затем подают порцию частично распушенного асбеста. При вращении барабана смесь перемешивают в течение 10 мин, при этом степень распушки волокна составляет 90...95%. Затем, не останавливая голлендера, в него засыпают цемент и перемешивают около 4 мин. За это время почти весь цемент адсорбируется на волокнах асбеста. Дозировка составляющих асбестоцементной массы колеблется в пределах: асбеста — 10...18%, цемента — 82...90%. Количество воды в суспензии при производстве асбестоцементных труб — 90...94%, а при производстве листовых асбестоцементных материалов — 94...96%.

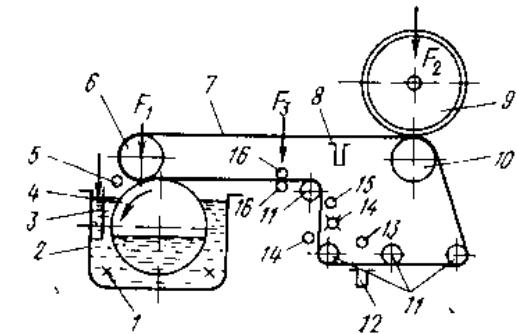
На новых заводах операции распушки и приготовления суспензии разделены: распушка происходит в гидропушителях, а приготовление суспензии — в турбосмесителях. В гидропушителе (рис. 4.4) создается турбулентная циркуляция суспензии за счет работы пропеллера. Продолжительность обработки одной порции асбеста 10...12 мин. Затем суспензия перекачивается в турбосмеситель и перемешивается с цементом 1 мин. Система работает в автоматическом режиме, заданном циклограммой.

● **Формование** — наиболее важный этап производства асбестоцементных изделий. Это комплекс технологических операций, с помощью которых из асбестоцементной смеси получают полуфабрикат асбестоцементных изделий в виде незатвердевшего листового наката или цилиндрической трубы. Специфическое отличие формования асбестоцемента от других строительных изделий состоит в его изготовлении в большинстве случаев из разбавленной суспензии, содержащей 10-кратное количество воды по отношению к массе сухого вещества. Необходимая плотность формируемых изделий достигается за счет удаления излишней воды фильтрацией, вакуум-обезвоживанием и механическим отжатием. Формуют изделия на листоформовочных и трубоформовочных машинах.

Листоформовочная машина (рис. 4.5) состоит из трех ванн, в каждую из которых помещены полые каркасные барабаны, обтянутые металлической сеткой (сетчатые цилиндры). В ванну поступает асбестоцементная суспензия с таким расчетом, чтобы сетчатый цилиндр был погружен в нее на 0,7 своего диаметра. Из внутренней полости цилиндра устроен отвод воды так, чтобы уровень ее был несколько ниже оси цилиндра. Вследствие разности уровней суспензия стремится проникнуть во внутреннюю полость ци-

Рис. 4.5. Схема листоформовочной машины:

1 — мешалка, 2 — ванна; 3 — перегородка; 4 — сетчатый цилиндр, 5, 13, 15 — промывные трубки; 6 — прижимной вал; 7 — сукно; 8 — верхняя вакуум-коробка; 9 — металлический форматный цилиндр; 10 — опорный (вдувающий) вал; 11 — направляющие вальцы; 12 — нижняя вакуум-коробка; 14 — отбойный валик; 16 — отжимные вальцы



линдра. При этом волокна асбеста с адсорбированными на их поверхности зернами цемента задерживаются сеткой на ее поверхности в виде массы сметанообразной консистенции влажностью около 70%, образуя так называемый «первичный слой» толщиной 0,2...0,6 мм. Он снимается с поверхности сетчатого цилиндра сукном, прижимаемым к цилиндру отжимным валом. Одновременно происходит уплотнение первичных слоев и снижение их влажности до 48...50%.

Процессы фильтрации, оседания массы и снятия ее с поверхности сетчатого цилиндра повторяются и в остальных двух цилиндрах. Перемещаясь на ленте, асбестоцементная масса проходит через вакуум-коробку, где обезвоживается, затем переходит на вращающийся форматный барабан, навивается на него концентрическими слоями и уплотняется. Навитую на форматный барабан массу по достижению определенной толщины разрезают, снимают с барабана, разрезают на листы установленного размера и подают на дальнейшую обработку. В отдельных случаях с целью изменения формы или повышения прочности листов их подвергают дополнительной обработке: волнировке или прессованию.

Формование труб производят на трубоформовочных машинах, принцип работы которых аналогичен листоформовочным. Отличие состоит в том, что навитый цилиндр из асбестоцементной массы не разрезается, а остается в виде трубы. У трубоформовочных машин значительно больше длина сетчатых цилиндров, а их количество обычно ограничивается 1...2. Чем больше цилиндров, тем интенсивнее подается масса для формования трубы и тем

меньше продолжительность формования. Вместо форматного барабана при производстве труб применяют скалку, на которую навивают массу. Волокна асбеста располагаются по окружности барабана в направлении его вращения. Такое их расположение сохраняется и в стенке навиваемой трубы. Стенка асбестоцементной трубы может быть на трубоформовочной машине навита любой толщины. Для безнапорных труб она составляет в уплотненном состоянии 6...10 мм, а для напорных 10...30 мм. По окончании процесса навивания скалку с трубой снимают и устанавливают новую. Для облегчения снятия трубы со скалки трубу развальцовывают и отправляют на площадку предварительного твердения.

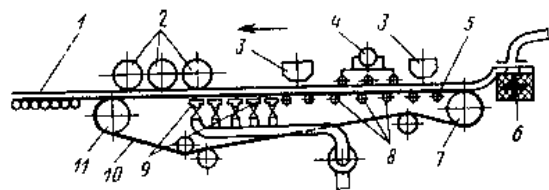


Рис 4.6. Схема работы плоскосетчатой машины для полусухого формования:

1 — роликовый транспортер; 2 — прессующие валки; 3 — посыпающий бункер; 4 — вибромеханизм; 5 — поддерживающие валки; 6 — приемная ванна; 7 — приводной вал; 8 — малые валки; 9 — вакуум-коробка; 10 — сегчатое полотно; 11 — натяжной вал

Наряду с машинами, работа которых основана на фильтрации асбестоцементной суспензии, в СССР и за рубежом разрабатывают новые типы автоматизированных листоформовочных машин для полусухих и сухих масс. К полусухой технологии относят способы формования асбестоцементных изделий, основанные на раскатке высококонцентрированной асбестоцементной суспензии на движущемся полотне. По этому принципу на базе плоскосеточной листоформовочной машины (рис. 4.6) разработана технологическая линия автоматизированного производства крупноразмерных асбестоцементных листов полусухим способом, состоящая из двух участков: заготовительного, где готовится асбестоцементная масса, и листоформовочного, где осуществляется формование изделий. В заготовительном отделении асбестовую шихту дозируют и подают в смеситель-увлажнитель для увлажнения до 33% и перемешивания. Полученная масса поступает в валковую машину для обмивания асбеста, а затем в голлендер непрерывного действия, куда вводят необходимое количество воды. Здесь происходит смешение полученной асбестовой суспензии с цементом, после чего ее подают в ковшовый смеситель, который питает плоскосетчатую листоформовочную машину, предназначенную для непрерывного формования асбестоцементной ленты заданной толщины. Основная часть машины — перфорированный пластинчатый транспортер, на который надета бесконечная латунная сетка. Верхние ветви транспортера и сетка проходят над рядом вакуум-коробок, в которых поддерживается разрежение 13...40 кПа, возрастающее по ходу движения сетки.

На сетке машины осуществляется обезвоживание суспензии, формование ленты, уплотнение и дополнительное обезвоживание асбестоцементного листа. Отформованная лента уплотняется на прессе, а затем направляется на раскрой, где разрезается на листы. При этом способе формования асбестоцементных листов степень автоматизации достигает 98% при 100%-ной механизации на основных технологических линиях. Себестоимость продукции по сравнению с существующими методами снижается на 7...10%.

В последние годы асбестоцементные изделия начали изготавливать способом *экструзии*. Он позволяет получать изделия сложной конфигурации при непрерывном технологическом процессе и высокой производительности формовочного оборудования. При экструзии пластичные материалы выдавливают из замкнутого объема через отверстия различной формы. Сырьевая шихта включает распушенный асбест, цемент и пластифицирующие добавки. Она может готовиться как по сухому, так и по мокрому способу, но на формование должна подаваться с влажностью 20...25%. Формуют изделия под давлением 3 МПа с помощью экструдера — ленточного пресса с винтовыми лопастями. Последние перемещают массу к решетке, за которой установлена вакуумотсасывающая камера. Головка пресса снабжена мундштуком, имеющим в сечении профиль изготавливаемого изделия. Выдавленный из мундштука брус разрезается на требуемые по длине изделия. Преимущества способа экструзии — высокая производительность, а также возможность использования низкосортного асбеста.

Сопоставление различных способов формования свидетельствует, что на сегодняшний день еще не созданы формующие агрегаты, превосходящие круглосеточные машины как по производительности, так и по качеству выпускаемой продукции в свежемформованном и затвердевшем состояниях. Поэтому основным типом формовочных машин являются пока круглосеточные машины.

#### § 4.4. Твердение и дополнительная обработка асбестоцементных изделий

● При твердении асбестоцементных изделий пластичный полуфабрикат превращается в камневидный материал с высокой прочностью и атмосферостойчивостью. Режим твердения асбестоцементных листов и труб различен. Твердение листовых изделий протекает в два этапа. Предварительное твердение длится от момента изготовления изделия до освобождения листов от механических прокладок и обеспечивает изделиям прочность, позволяющую им выдерживать напряжения, испытываемые в процессе освобождения от металлических прокладок и при последней выдержке в столах. Практика работы заводов показала, что для этого листы должны обладать прочностью на изгиб не менее 5...7 МПа. Для

сокращения длительности предварительного твердения асбестоцементные изделия пропаривают при температуре 50...60°C и относительной влажности воздуха не менее 90%. После первого этапа твердения изделия освобождают от прокладок и помещают в утепленный склад, где они продолжают твердеть в естественных условиях (температура 18...22°C, относительная влажность 80...85%) до приобретения проектной прочности. Этот период твердения продолжительностью 7...10 сут называется дозреванием или окончательным твердением.

Твердение асбестоцементных изделий, изготовленных на песчаном порландцементе, осуществляют в автоклавах при рабочем давлении пара 0,8 МПа и температуре 172...174°C. Автоклавная обработка позволяет сократить длительность твердения до 9...10 ч. Выгружаемые из автоклава асбестоцементные изделия не требуют дальнейшего выдерживания на складе и могут сразу поступать в отделение механической обработки.

Процесс твердения асбестоцементных труб более сложен и складывается из трех стадий. *Первая стадия* — предварительное воздушное твердение на роликовом конвейере в течение 6...8 ч при температуре 30...35°C и относительной влажности воздуха не менее 80%. На конвейере трубы, перемещаясь на вращающихся роликах, не только набирают прочность, но и проходят обкатку, приобретая правильную цилиндрическую форму. Пройдя весь конвейер, трубы отвердевают и направляются в счетно-маркировочное устройство.

*Вторая стадия* — твердение труб в водных бассейнах в течение 1,5...3 сут при температуре 40...60°C. Длительность выдерживания в воде зависит от диаметра труб, температуры воды и свойств использованного цемента. *Третья стадия* — окончательное твердение (дозревание) труб осуществляется в закрытых утепленных складах в течение 7...14 сут или на открытых площадках в цехе.

● **Механической обработке и отделке** подвергают асбестоцементные изделия после твердения. Из листовых механической обработке подвергают те изделия, которым при формовании и резке листов на формовочных машинах и ротационных ножницах невозможно придать заданные точные размеры и форму. Кромки облицовочных асбестоцементных листов обрезают на специальных обрезных станках. У водопроводных и газопроводных (напорных) труб на станках обрезают и обтачивают концы, которые имеют несколько меньшую плотность, чем все тело трубы. Обточка труб необходима для их соединения при монтаже асбестоцементными или чугунными муфтами. Муфтовые трубы изготовляют также на трубоформовочных машинах на скалках необходимого диаметра и разрезают на «стаканы», длина которых соответствует длине муфты.

● **Покраску** лицевой поверхности листов производят в процессе формования. Наибольшее распространение на отечественных заво-

дах получила окраска слоя на сукне распылением водной цементно-пигментной суспензии на движущийся вместе с сукном окрашиваемый слой. Расход пигментов на 1 м<sup>2</sup> листовых изделий в среднем 0,06...0,07 кг. Имеется опыт окраски листов распылительным способом с применением силикатных красок, содержащих жидкое стекло, оксид титана, неорганические цветные пигменты. Такие изделия должны подвергаться специальной химической и тепловой обработке с целью повышения стойкости окрасочного слоя.

Для предохранения облицовочных листов от коробления окрашивание их лицевой поверхности производят также красками или цветными эмалями. Такие листы должны подвергаться прессованию и иметь гладкую ровную поверхность. Окрашивают листы через 3...4 недели после формования. Окраску листов производят нитро-, перхлорвиниловыми и другими эмалями.

#### § 4.5. Свойства и применение асбестоцементных изделий

● **Свойства** асбестоцементных изделий определяются следующими факторами: качеством цемента, маркой асбеста, их количественным соотношением в массе, степенью распушки асбеста, расположением волокон асбеста в изделии, степенью уплотнения массы, условиями и продолжительностью твердения, а также влажностью асбестоцемента.

Асбестоцементные изделия обладают *высокой сопротивляемостью разрыву, изгибу и сжатию*. Непрессованные изделия имеют предел прочности при растяжении 10...17 МПа, при изгибе 16...27 МПа, а прессованные — предел прочности при растяжении 20...25 МПа, а при изгибе 27...42 МПа. Со временем химическая прочность и плотность изделий возрастают.

Основной качественный показатель асбестоцементных изделий — предел прочности при изгибе, по которому рассчитывается их несущая способность. Нормированная величина предела прочности при изгибе асбестоцементных изделий строительного назначения составляет в среднем 20...25 МПа. При высокой сопротивляемости разрыву и сжатию асбестоцемент *легко подвергается обработке: пилению, сверлению, шлифовке*. Асбестоцемент *практически водо- и газонепроницаем, морозостоек* его — не менее 25 циклов, *теплопроводность* — около 0,35 Вт/(м·°С), средняя плотность — 1,7...2,3 кг/см<sup>3</sup>. Он обладает высокими огнестойкостью и электроизоляционными свойствами. Однако повышенное содержание цемента в асбестоцементных изделиях ведет к тому, что *усадочные и влажностные его деформации* в 2...3 раза выше, чем у бетонов. Недостатками асбестоцемента являются также *низкое сопротивление удару и коробление*. Кроме того, асбестоцемент по сравнению с бетоном характеризуется *повышенной ползучестью*.

Из асбестоцемента изготовляют *кровельные, стеновые изделия, трубы и короба, электроизоляционные доски и изделия специального назначения* (рис. 4.7).

*Асбестоцементные волнистые унифицированные листы* применяют для устройства бесчердачных, а также утепленных кровель и стеновых ограждений промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений. Их производят длиной 1750, 2000 и 2500 мм, шириной 1125 мм и толщиной 7,5 мм. Эти плиты обладают высокой прочностью (при изгибе — не менее 20,0 МПа), плотностью не менее 1700 кг/м<sup>3</sup>, морозостойкостью F50. Применение крупно-размерных волокнистых листов вместо малоразмерных снижает трудоемкость монтажа листов в кровле на 20%, сокращает расход древесины на 18...20% и на 6...7% уменьшает расход асбестоцемента. Поэтому первостепенное значение имеет дальнейшее совершенствование формы волнистых и увеличение размеров всех выпускаемых листов, освоение волнистых листов длиной 6 и 9 м, армированных сталью.

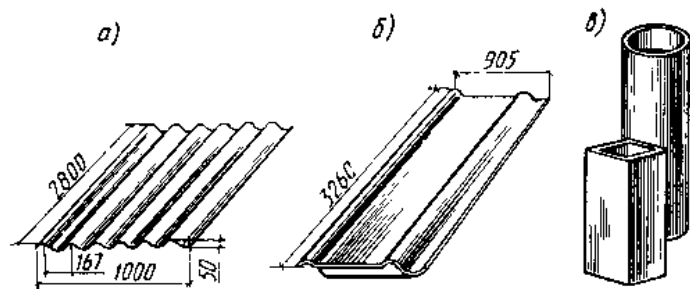


Рис. 4.7. Асбестоцементные изделия:

а — волнистый лист усиленного профиля; б — кровельная панель; в — вентиляционные короба

*Асбестоцементные унифицированные стеновые панели* производят длиной до 6000 мм, шириной до 3300 и толщиной 140...170 мм. При замене железобетонных стеновых панелей асбестоцементными плитами покрытий и панелями масса конструкций снижается в 6...8 раз, расход металла — на 2...3 кг/м<sup>2</sup>, трудоемкость монтажных работ — в 2 раза, стоимость конструкций — на 15...20% при существенном сокращении сроков строительства.

*Асбестоцементные трубы* производят напорные, безнапорные и вентиляционные. Напорные трубы применяют для сетей водопровода и теплофикации, нефтепровода и газопровода. Эти трубы являются экономичными и достаточно надежными заменителями стальных труб. Длина труб — 3400 и 6000 мм, а диаметр — 100...500 мм. Трубы асбестоцементные безнапорные применяют для наружных трубопроводов безнапорной канализации, мелиоративных систем, а также для строительства телефонных каналов.

*Асбестоцементные короба* прямоугольного сечения предназначены для устройства вентиляции воздуха производственных и бытовых помещений, промышленных, жилых и гражданских зданий. Эти короба изготовляют длиной 4000 мм с внутренним сечением 150×300, 200×200, 200×300 мм. Короба имеют высокую прочность, предел прочности при изгибе — не менее 16 МПа, плотность — 1600 кг/м<sup>3</sup>.

*Асбестоцементные электротехнические дугостойкие доски* (АЦЭИД) служат для изготовления деталей, панелей, щитов и оснований электрических аппаратов и машин, подвергающихся действию высоких температур и электрического разряда. Их выпускают длиной 1100...1200 мм, шириной 700...800 и толщиной 10...40 мм, прочностью при изгибе 35...50 МПа.

Промышленность асбестоцементных изделий развивается достаточно интенсивно. При этом наряду с ростом производства улучшается и их качество (выросли средняя плотность и механическая прочность шифера). Однако пока асбестоцементная промышленность не обеспечивает в полной мере потребности строительства в большиеразмерных эффективных профилированных листах для ограждающих конструкций неотапливаемых зданий, не организовано массовое производство прогрессивных кровельных утепленных плит, покрытий промышленных и сельскохозяйственных зданий, легких навесных панелей для гражданского и промышленного строительства, офактуренных и цветных листов для отделки зданий и панелей подвесных потолков, ограждений балконов. Поэтому в перспективе наряду с дальнейшим ростом производства асбестоцементных изделий необходимо значительное улучшение качества продукции.

1. В чем особенности работы асбестоцемента как композиционного материала. 2. В чем преимущества распушки в гидронушителях по сравнению с голендерами? 3. Чем отличается формование асбестоцементных труб от асбестоцементных листов? 4. Чем отличается режим твердения асбестоцементных листов и труб? 5. Какие виды асбестоцементных изделий применяют в строительстве и в чем их технико-экономические преимущества?



## § 5.1. Общие сведения

● Бетон — это искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рационально подобранной смеси вяжущего, заполнителя и воды. Наиболее распространены в строительной практике цементные бетоны, обладающие комплексом ценных технических свойств — способностью твердеть и наращивать прочность как на воздухе, так и в воде, стойкостью ко многим агрессивным воздействиям, пригодностью к изготовлению разнообразных по форме и назначению конструкций и сооружений. Достоинством бетонов является возможность применения в них до 85... 90% от массы дешевых местных заполнителей.

Для регулирования свойств бетона и бетонной смеси в их состав вводят различные химические добавки, которые ускоряют или замедляют схватывание бетонной смеси, делают ее более пластичной и удобоукладываемой, ускоряют твердение бетона, повышают его прочность и морозостойкость, а также при необходимости изменяют в требуемом направлении и другие свойства бетона.

Бетон как строительный материал известен с давних времен. С применением бетона были построены галереи египетского лабиринта за 3600 лет до н. э.; возведены купола, массивные ирригационные сооружения в государстве Урарту VIII в. до н. э.; сооружены храмы, мосты и акведуки в Римской империи, например храм Пантеон перекрыт бетонным куполом, диаметр которого составляет 42,7 м.

На ранней стадии применения бетона вяжущими материалами были глина, гипс, известь, битумы. В XVIII—XIX вв. начали применять гидравлическую известь, романцемент, а затем и портландцемент.

В настоящее время бетон и железобетон являются основными строительными материалами. Как показывают долгосрочные прогнозы, бетонные и железобетонные конструкции сохраняют свое доминирующее значение и в будущем. В общей стоимости материальных ресурсов стоимость бетонных и железобетонных конструкций составляет около 25%, в то время как стальных конструкций — немногим более 3%, а продукции лесной и деревообрабатывающей промышленности — 13,5%.

Бетоны классифицируют по различным признакам: плотности, крупности заполнителей и их содержанию в бетоне, виду вяжущего, назначению и т. д.

● По величине средней плотности различают бетоны: *особо тяжелые* с плотностью более 2500 кг/м<sup>3</sup>; *тяжелые* — 1800... 2500 кг/м<sup>3</sup>; *легкие* — 500... 1800 кг/м<sup>3</sup>; *особо легкие* — менее 500 кг/м<sup>3</sup>. Особо тяжелые бетоны приготавливают на тяжелых заполнителях — стальных опилках или стружках (сталебетон), железной руде (лимонитовый и магнетитовый бетоны) или барите (баритовый бетон) и используют для специальных конструкций. В строительстве наиболее широко используют обычный тяжелый бетон с плотностью 2100... 2500 кг/м<sup>3</sup> на плотных заполнителях из горных пород (граните, известняке, диабазе и др.). Облегченный бетон с плотностью 1800... 2000 кг/м<sup>3</sup> получают на щебне из горных пород с плотностью 1600... 1900 кг/м<sup>3</sup> или без песка (цементное тесто и крупный заполнитель — такой бетон называют крупнопористым). Легкие бетоны производят на пористых заполнителях (керамзите, аглопорите, вспученном шлаке, пемзе, туфе и др.). К особо легким бетонам относят ячеистые бетоны, которые получают вспучиванием смеси вяжущего, тонкомолотой добавки и воды с помощью специальных способов (газобетон, пенобетон), и крупнопористый бетон на легких заполнителях. В ячеистых бетонах заполнителем по существу является воздух, находящийся в искусственно созданных ячейках.

● По крупности заполнителя и его содержанию в бетоне различают: *крупнозернистые бетоны*, в которых максимальная крупность заполнителя превышает 10 мм; *мелкозернистые бетоны* с заполнителем крупностью до 10 мм преимущественно в виде крупного песка с хорошо подобранным зерновым составом; *крупнопористые* (беспесчаные) бетоны с одним только крупным заполнителем и *малощебеночные* с небольшим его содержанием.

● Главной составляющей бетона, во многом определяющей его свойства, является вяжущее вещество, по виду которого различают бетоны: *цементные, силикатные, гипсовые, шлакощелочные, полимербетоны, полимерцементные бетоны*.

*Цементные бетоны* приготавливают на различных цементах. Среди них основное место занимают бетоны на портландцементе и его разновидностях (около 65% от общего объема производства), успешно используют бетоны на шлакопортландцементе (около 20... 25%) и пуццолановом цементе. К разновидностям цементных бетонов относят *декоративные бетоны*, изготавливаемые на белом и цветных цементах; *бетоны для самонапряженных конструкций*, изготавливаемые на напрягающем цементе; *бетоны для специальных целей*, изготавливаемые на особых видах цемента — глиноземистом, безусадочном и т. д.

*Силикатные бетоны* готовят на основе извести. Для производства изделий в этом случае применяют автоклавный способ твердения.

*Гипсовые бетоны* применяют для внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов отделки зданий. Разновидностью

этих бетонов являются *гипсоцементопуццолановые бетоны*, обладающие повышенной водостойкостью и более широкой областью применения (объемные блоки санузлов, конструкции малоэтажных домов и другие элементы).

В *шлакощелочных бетонах* в качестве вяжущего используют молотые шлаки, затворенные щелочными растворами.

*Полимербетоны* изготовляют на различных видах полимерного связующего, основу которого составляют смолы (полиэфирные, эпоксидные, карбамидные и др.) или мономеры (например, фурфуролацетоновый), отверждаемые в бетоне с помощью специальных добавок. Эти бетоны применяют в агрессивных средах и особых условиях воздействия (истирание, кавитация и т. д.).

*Полимерцементными* называют бетоны на смешанном связующем, состоящем из цемента и полимерного вещества. В качестве полимера используют, например, водорастворимые смолы и латексы.

Свойства бетонов на неорганических вяжущих можно улучшать путем пропитки мономерами с последующим их отверждением в порах и капиллярах бетона. Подобные материалы называют бетонополимерами.

*Кислотоупорные бетоны* используют для специальных целей. Их производят на жидком стекле с кремнефтористым натрием.

*Жаростойкие бетоны* готовят на фосфатной связке, а другие бетоны — на специальных вяжущих веществах, придающих бетону особые свойства или получаемых с использованием отходов промышленности, что имеет важное значение для охраны окружающей среды. В качестве специальных вяжущих используют магнезиальные, стеклощелочные, нефелиновые и др.

● В зависимости от области применения различают: *обычный бетон* для железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, балок, перекрытий, мостовых конструкций и т. д.); *гидротехнический* (для плотин, шлюзов, облицовки каналов, водопроводно-канализационных сооружений и т. п.); *бетон для ограждающих конструкций* (легкий бетон для стен зданий); *бетон для полов, тротуаров, дорожных и аэродромных покрытий*; *бетоны специального назначения*, например жароупорный, кислотостойкий, для радиационной защиты и др.

● В зависимости от назначения бетоны должны удовлетворять определенным требованиям. Бетоны для обычных железобетонных конструкций должны иметь заданную прочность, главным образом при сжатии. Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, важна еще морозостойкость. Бетоны для гидротехнических сооружений должны обладать высокой плотностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью, достаточной прочностью, малой усадкой, стойкостью против выщелачивающего действия фильтрующих вод, в ряде случаев стойкостью по отношению к действию минерализованных вод и способностью незначительно выделять тепло при

твердении. Бетоны для стен отапливаемых зданий и легких перекрытий должны обладать необходимыми прочностью, плотностью и теплопроводностью. Бетоны для полов — малой истираемостью и достаточной прочностью при изгибе, а бетоны для дорожных и аэродромных покрытий — еще и морозостойкостью.

Получить бетон, удовлетворяющий всем поставленным требованиям, можно при правильном проектировании состава бетона, надлежащем приготовлении, укладке и уплотнении бетонной смеси, а также при необходимом выдерживании бетона в начальный период его твердения.

Бетон как строительный материал имеет ряд положительных особенностей и прежде всего высокое сопротивление сжимающим нагрузкам. Однако применение его в несущих конструкциях ограничено сравнительно низкой прочностью при растягивающих напряжениях. Прочность бетона при растяжении примерно в 10...15 раз меньше прочности при сжатии. Устранение этого недостатка и значительное расширение возможностей бетона как конструктивного материала достигается армированием его стальной арматурой. Бетон в соединении с металлом — железобетон — обладает высокой прочностью при сжатии, растяжении и изгибе. Имея примерно одинаковый со сталью коэффициент линейного расширения, бетон прочно сцепляется с арматурой, надежно защищает ее от коррозии. В настоящее время железобетонные конструкции широко применяют для покрытий, перекрытий и стен промышленных, жилых и общественных зданий, в несущих каркасах зданий, а также в инженерных сооружениях, в транспортном, мелиоративном и гидротехническом строительстве.

Железобетонные изделия классифицируют по способу армирования (ненапряженные и предварительно напряженные), конструктивному решению (одно- и многослойные, цельные или составные и т. д.), типоразмерам, назначению.

● По способу производства железобетонные конструкции бывают *монолитными, сборными и сборно-монолитными*. Монолитные конструкции возводят в опалубке непосредственно при строительстве сооружений, а сборные монтируют из элементов, предварительно изготовленных на заводах или полигонах. Сборный железобетон — главный конструктивный материал в современном строительстве. Применение его позволяет вести монтаж зданий и сооружений скоростными, индустриальными методами, экономить металл, древесину и другие материалы.

## § 5.2. Материалы для бетона

● Цемент является главным исходным материалом для изготовления бетонов. Выбор цемента должен производиться с учетом всего комплекса требований, предъявляемых к бетону: прочности, химической стойкости, тепловыделения, морозостойкости, водоне-

проницаемости и т. д. Кроме того, выбор цемента в известной степени может определяться условиями ведения бетонных работ и особенностями конструкций.

Наиболее широко при изготовлении бетона и железобетонных конструкций применяют портландцемент и поргландцемент с минеральными добавками М400, 500, 550 и 600. При производстве конструкций, подвергающихся систематическому переменному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию, эффективно использование пластифицированных и гидрофобных цементов, особенно при производстве работ в отдаленных районах страны. Применение этих цементов в условиях заводской технологии требует специального подбора режимов тепловлажностной обработки. Сульфатостойкие портландцементы необходимо использовать для производства конструкций, подвергающихся действию минерализованных вод в условиях попеременного замораживания и оттаивания. Шлакопортландцементы эффективны при применении тепловлажностной обработки и для подводных и подземных конструкций.

Для получения бетона заданной прочности при рациональном расходе цемента важное значение имеет правильный выбор марки цемента. Марка цемента должна быть в 1,5...2 раза выше проектируемой марки бетона, что обеспечивает изготовление бетона при минимальном расходе цемента. Для экономичного расхода вяжущих повышенной активности в бетонах низких марок целесообразно применять тонкомолотые активные или инертные добавки (известняки, шлаки, золы и т. д.).

Добавка может быть размолота в сухом состоянии и заранее смешана с цементом или же введена в виде водной суспензии непосредственно в бетоносмеситель. При разбавлении цемента добавками ориентировочно считают, что каждый 1% добавки снижает на 1% активность цемента. Тонкомолотые минеральные добавки не должны вызывать повышения водопогребности бетонных смесей. При снижении отношения прочностей цемента и бетона ( $R_u/R_0$ ), например, в высокопрочных бетонах для уменьшения расхода цемента применяют более жесткие бетонные смеси с пониженным водоцементным отношением и добавки — разжижители бетонной смеси.

● Воду для затворения бетонной смеси используют питьевую, а также техническую оборотную из водоемов, в которые попадают промышленные отходы, природную и минерализованную. Водородный показатель воды рН должен быть не ниже 4. Морскую воду можно применять при содержании солей не более 2% при бетонировании массивных неармированных конструкций при допустимости образования на них высолов. Допустимое количество сульфатов в воде зависит от вида и состава цемента. Суммарное содержание сульфатов в цементе и в воде затворения не должно превышать 3,5% массы цемента в расчете на  $SO_3$ . Предельное ко-

личество других примесей устанавливают на основе экспериментальных исследований. Ориентировочное содержание в воде органических примесей может быть не более 20 мг/л.

Для поливки бетона применяют воду такого же качества, как и для приготовления бетонной смеси.

● Заполнители занимают в бетоне до 80% объема и оказывают определенное влияние на свойства бетона, его долговечность и стоимость. Применение заполнителей позволяет резко сократить расход цемента, являющегося наиболее дорогим и дефицитным компонентом бетона. Кроме того, заполнители улучшают технические свойства бетона. Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль деформации бетона — уменьшает деформации конструкций под нагрузкой, а также ползучесть бетона — необратимые деформации, возникающие при длительном действии нагрузки.

В бетоне применяют крупный и мелкий заполнитель. Крупный заполнитель, зерна которого более 5 мм, подразделяют на гравий и щебень. Мелким заполнителем в бетоне является естественный или искусственный песок.

Наиболее существенное влияние на свойства бетона оказывают зерновой состав, прочность и чистота заполнителя. Зерновой состав показывает содержание в заполнителе зерен разной крупности. Его определяют просеиванием пробы заполнителей через стандартные сита с величиной отверстий 0,14...70 мм и более. Различают *рядовой заполнитель*, содержащий зерна различных размеров, и фракционированный, когда зерна заполнителя разделены на отдельные фракции, включающие зерна близких между собой размеров, например 5...10 или 20...40 мм. Заполнитель характеризуют наименьшей и наибольшей крупностью, под которыми понимают размеры наименьших или наибольших крупных зерен заполнителя. Зерновой состав называют *непрерывным*, если в нем встречаются зерна всех размеров — от наименьшего до наибольшего. Если же в заполнителе отсутствуют зерна какого-либо промежуточного размера, то такой зерновой состав называют *прерывистым*.

На строительных объектах или заводах сборного железобетона зерновой состав заполнителя подбирают, используя реальные песок и щебень и устанавливая такое соотношение между песком и отдельными фракциями щебня, чтобы кривая зернового состава по возможности приближалась к идеальной. Идеальная кривая подбирается из условия, чтобы количество пустот в смеси и суммарная поверхность зерен требовали минимального расхода цемента для получения определенной подвижности бетонной смеси и прочности плотного бетона.

С зерновым составом непосредственно связана пустотность заполнителя, определяемая возможностью его плотной укладки. На пустотность влияет также форма его зерен. Пустотность заполни-

теля является важной характеристикой, так как в известной мере определяет расход цемента (чем больше пустот, тем больше требуется цемента для их заполнения) и другие свойства бетона. Пустотность заполнителей колеблется от 20 до 50%. В бетоне желательнее использовать заполнители, состоящие из нескольких фракций и имеющие наименьшую пустотность.

Прочность заполнителя определяется не только прочностью горной породы, из которой он получен, но и крупностью зерен. При выветривании или дроблении породы разрушение происходит по более слабым местам структуры, и с уменьшением размера зерен прочность их как бы повышается. Естественные пески обладают прочностью при сжатии и растяжении, как правило, более высокой, чем прочность раствора или цементного камня. Превосходят по прочности раствор и крупные заполнители из прочных горных пород (гранита, диабазы и др.).

Предельно достижимая прочность бетона тем ниже, чем меньше прочность крупного заполнителя, причем ее значение зависит также и от содержания заполнителя, постепенно увеличиваясь с повышением его количества.

Большое влияние на прочность бетона оказывает чистота заполнителя. Пылевидные и особенно глинистые примеси создают на поверхности зерен заполнителя пленку, препятствующую сцеплению их с цементным камнем. В результате прочность бетона значительно понижается (иногда на 30...40%). Корректировать отрицательное влияние грязного или некачественного заполнителя на свойства бетона путем повышения расхода цемента недопустимо.

Интегральной технологической характеристикой, позволяющей оценить влияние заполнителя на свойства бетонной смеси, является водопотребность. Она оценивается по специальной методике сравнением водопоглощения цементного теста, растворных и бетонных смесей при одинаковой подвижности. Чем выше водопотребность заполнителя, тем больше расход воды и цемента для получения бетона с определенными заданными свойствами. В результате испытаний различных заполнителей было установлено, что водопотребность  $V_n$  песка составляет 4...14%, а крупного заполнителя — 1...10%. Крупнозернистые пески имеют  $V_n=4...6\%$ , пески средней крупности — 6...8, мелкозернистые пески — 8...10% и очень мелкие пески — более 10%. Стандартный вольский песок имеет  $V_n=4\%$ . Водопотребность гравия 1...4%, щебня из плотных изверженных пород — 2...6, щебня из карбонатных пород (с учетом водопоглощения) — 5...10%.

Песком называют природную или искусственную минеральную смесь с размером 5...0,14 мм. Частицы меньшего размера представляют собой пыль и глину. Для тяжелого бетона применяют преимущественно природные пески, представляющие собой обломки различных минералов и горных пород. Наиболее распространенными и пригодными для бетона являются кварцевые пески.

Благодаря высокой прочности зерен они могут применяться для бетона любых марок. Пески, состоящие из зерен осадочных и рыхлых изверженных пород, известняков, доломитов и т. д., применяют лишь после соответствующих лабораторных исследований и при технико-экономическом обосновании.

Для получения дробленых песков используют изверженные, метаморфические или плотные осадочные горные породы, а также гравий. В зависимости от прочности исходной горной породы и гравия эти пески делят на четыре марки: 1000, 800, 600 и 400.

Основные свойства бетона зависят от сцепления цементного камня с заполнителями, на величину которого в значительной степени влияют форма и характер поверхности заполнителей, наличие глины и песка. Сцепление увеличивается при остроугольной форме зерен песка и шероховатой поверхности, что характерно для горного (овражного) песка. Морской или речной песок имеет окатанные зерна, однако он в меньшей степени загрязнен и не требует промывки.

Глинистые и пылевидные частицы благодаря высокоразвитой поверхности существенно увеличивают водопотребность бетонных смесей и, обволакивая зерна песка, уменьшают его сцепление с цементным камнем. Кроме того, наиболее мелкие пылеватые частицы песка (<0,08 мм) снижают морозостойкость бетона. Содержание в песке зерен размером менее 0,14 мм не должно превышать 10%, а содержание примесей, определяемых отмучиванием, — 3% по массе. Вредными примесями в песке являются слюда и соединения, вызывающие химическую коррозию бетона — сульфиты и сульфаты, гумусовые и другие органические включения, а также аморфные разновидности кремнезема.

Органические примеси (например, гумусовые) допускаются только в очень незначительном количестве, так как они (особенно органические кислоты) понижают прочность и даже разрушают цемент. Для определения их наличия песок обрабатывают 3%-ным водным раствором едкого натра (при соотношении раствора к песку 1:1), затем отстаивают в течение 1 сут. Раствор после обработки должен иметь светло-желтый цвет. Этот метод называют колориметрическим (определение по цвету).

Крупность песка и его зерновой состав влияют на расход цемента и плотность бетона. Цементное тесто идет на заполнение пустот в смеси заполнителей и обволакивание их оболочкой, выполняющей роль смазки и цементирующей отдельные зерна в прочный конгломерат. Поэтому чем меньше объем пустот и меньше поверхность зерен песка, тем экономнее будет использовано в бетоне цементное тесто. Крупность песка характеризуется модулем крупности ( $M_k$ ), под которым понимают сумму полных остатков при просеивании мелкого заполнителя на ситах с размером отверстий 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,14 мм, деленную на 100:

$$M_k = (A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}) / 100. \quad (5.1)$$

Полный остаток  $A_i$  — это сумма остатков («частных») на данном сите и на более крупных ситах, входящих в комплект для просеивания. По крупности пески делят на крупные, средние и мелкие (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Характеристика песков по крупности

Группа песка	Модуль упругости	Полный остаток на сите 0,63, %	Водопоглощаемость, %
Крупный	Более 2,5	Свыше 45	4-6
Средний	2,5-2,0	30-45	6-8
Мелкий	2,0-1,5	10-30	8-10

Наряду с крупностью песка важнейшее значение имеет и его *пустотность*, или *объем межзернового пространства*. В хороших песках пустотность колеблется от 30 до 38%. В песках, состоящих из зерен практически одинакового размера, пустотность может повыситься до 40...47%.

Пригодность песка для бетонов по зерновому составу определяют построением кривой просеивания, которая должна лежать в области, установленной стандартом (рис. 5.1).

Применение песков, зерновой состав которых не соответствует стандарту, допускается только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Пески с модулем крупности 1,5...2 допускается использовать в бетонах с прочностью до 20 МПа; с модулем крупности 2,5 и более рекомендуются для бетонов с прочностью 30 МПа и выше.

Обладая более развитой поверхностью, мелкие пески увеличивают водопоглощаемость бетона и расход цемента на 8...20% для обеспечения проектной марки бетона.

С целью обеспечения необходимого зернового состава применяют пески, полученные предварительным смешиванием отдельных фракций в требуемых соотношениях. Для улучшения зернового состава природных песков к мелким пескам добавляют крупные

фракции природного или дробленого песка, а также крупный песок из отсевов дробления, а для понижения модуля крупности — мелкие пески.

Содержание зерен, проходящих через сито с сеткой № 014, не должно превышать 5...10% по массе (в зависимости от вида песка). Наличие зерен размером свыше 5 мм не должно превышать (% по массе): в природном и дробленном песках — 10; в песке, дробленном из отсевов, — 15; в обогащенном песке — 5; в крупной фракции фракционированного песка — 10. Содержание зерен размером свыше 10 мм не должно превышать во всех видах песков 0,5 по массе.

Песок, предназначенный для изготовления бетона F300 и более, подвергают испытанию на морозостойкость. При этом он должен выдержать не менее пяти циклов в растворе сернистого натрия с потерей массы после испытания не более 10%.

Крупный заполнитель образует жесткий каркас бетона. В качестве крупного заполнителя применяют гравий или щебень. Иногда могут быть использованы щебень из гравия или смесь гравия и щебня.

Гравием называют рыхлый материал, образовавшийся в результате естественного разрушения (выветривания) горных пород. Гравий состоит из более или менее окатанных зерен размером 3...70 мм. В нем могут содержаться зерна высокой прочности, например гранитные, и слабые зерна пористых известняков. Обычно он имеет примеси пыли, глины, иногда и органических веществ, а также песка. При большом содержании песка такой материал называют песчано-гравийной смесью или гравелистым песком. Для бетона желательна малоокатанная (щебневидная) форма зерен гравия. Игольчатых и пластинчатых зерен в составе гравия должно быть не более 15% (по массе). Прочность зерен гравия должна обеспечивать получение бетона, прочность которого на 20...50% превышает заданную.

Щебнем называют материал, полученный в результате дробления камней из горных пород, имеющих предел прочности при сжатии 20...320 МПа. Для производства щебня используют гранит, диабаз и другие изверженные породы, а также плотные осадочные породы — известняк, доломит и измененные — кварцит.

Качество крупного заполнителя, так же как и песка, определяется зерновым составом, формой и поверхностью зерен и содержанием примесей. Существенное значение имеют также петрографические особенности, прочность исходной породы, водостойкость и морозостойкость.

Максимальный размер крупного заполнителя не должен превышать  $\frac{1}{4}$  минимального сечения конструкции и  $\frac{2}{3}$  расстояния между стержнями арматуры. В зависимости от крупности зерен гравий и щебень подразделяют на четыре фракции (мм): 5...10; 10...20; 20...40; 40...70. Зерновой состав каждой фракции или

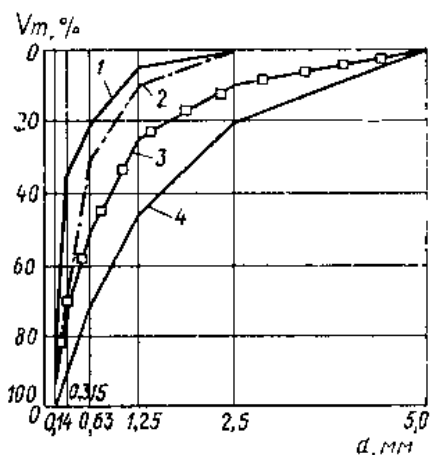


Рис 5.1 Зерновой состав песка по ГОСТ 10268—80.

1 — допустимая нижняя граница крупности ( $M_k=1,5$ ), 2 — рекомендуемая нижняя граница крупности ( $M_k=2,0$ ), 3 — рекомендуемая верхняя граница крупности ( $M_k=2,5$ ); 4 — допустимая верхняя граница крупности ( $M_k=3,25$ ),  $V_m$  — подыск остатков на контрольных ситах (размером  $d$ )

смеси фракций должен находиться в пределах, указанных в табл. 5.2.

Минимальная пустотность достигается смешиванием отдельных фракций до достижения максимальной плотности.

Щебень по форме зерен подразделяется на три группы: *кубовидный* при содержании зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15% (по массе); *улучшенный* — 25; *обычный* — 35%. К зернам пластинчатой (лещадной) и игловатой формы относятся такие зерна, толщина или ширина которых менее длины в 3 раза и более.

Таблица 5.2. Требования к зерновому составу крупного заполнителя

Наименование	$D_{\text{наим}}$ для фракций с наименьшим размером зерен 5(3)... 10 мм и более		$0,5(D_{\text{наим}} + D_{\text{наиб}})$ для		$D_{\text{наиб}}$	$1,25 D_{\text{наиб}}$
			одной фракции	смеси фракций		
Полный остаток на ситах по массе, %	95 100	90 100	40 80	50 70	0 10	0

Прочность щебня и гравия характеризуется маркой, соответствующей пределу прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии и определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Марки по прочности щебня или гравия устанавливают по результатам испытания сжатием (раздавливанием) в цилиндре в сухом или в насыщенном водой состоянии. В зависимости от потерь массы при определении дробимости различают для заполнителей из осадочных и метаморфических пород марки: 1200, 1000, 800, 600, 400, 300, 200, а из изверженных пород: 1400, 1200, 1000, 800 и 600.

В качестве крупного заполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций, изделий и деталей должен использоваться щебень из изверженных пород не ниже М800, щебень из метаморфических пород не ниже М600 и осадочных пород не ниже М300. Марка щебня из естественного камня должна быть выше прочности бетона не менее чем в 1,5 раза — для бетона с прочностью ниже 30 МПа; в 2 раза — для бетона с прочностью 30 МПа и выше. В крупном заполнителе М1200, 1400 содержание зерен слабых пород (с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа) допускается не более 5%, М400... 1000 — не более 10% и М200 и 300 — не более 15% по массе.

По морозостойкости крупный заполнитель подразделяют на следующие марки: F15, 25, 50, 100, 150, 200, 300. Марка соответ-

ствует числу циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором потеря в массе не превышает 5% (для F15... 25 — 10%).

Для предварительной оценки морозостойкости щебня или гравия разрешается испытывать его в растворе сернокислого натрия (табл. 5.3).

В зависимости от марки крупного заполнителя по прочности содержание в нем пылевидных, глинистых и илистых частиц не должно превышать в изверженных и метаморфических породах 1%, в осадочных породах М600... 1200 — 2%, М200... 400 — 3%.

Таблица 5.3 Оценка морозостойкости крупного заполнителя

Испытание в растворе сернокислого натрия	Морозостойкость						
	15	25	50	100	150	200	300
Количество циклов	3	5	10	10	15	15	15
Потеря в массе после испытания, %, не менее	10	10	10	5	5	3	2

При выборе между щебнем и гравием следует исходить в каждом конкретном случае из технико-экономических показателей. Гравий не применяют для бетонов высокой прочности. Это объясняется его более слабым сцеплением с цементным камнем из-за окатанной формы. Кроме того, гравий больше загрязнен глинистыми и другими примесями и требует частой промывки. Вместе с тем применение гравия, как правило, дешевле и ведет к большей подвижности бетонных смесей.

● **Химические добавки** в бетонах применяют для снижения расхода цемента, улучшения технологических свойств бетонной смеси, регулирования потерь подвижности бетонной смеси во времени, скорости процессов схватывания, гвдения и тепловыделения; сокращения продолжительности тепловлажностной обработки бетона, ускорения сроков его распалубливания; придания бетону способности твердеть в зимнее время; повышения прочности и морозостойкости; понижения водо- и газопроницаемости; повышения стойкости бетона и железобетона в различных агрессивных средах; усиления защитного действия бетона по отношению к стальной арматуре. Основные добавки к бетону делят на пластифицирующие, воздухововлекающие, воздухововлекающие, газообразующие, уплотняющие, замедлители схватывания, ускорители твердения, противоморозные и ингибиторы коррозии стали.

В качестве *пластифицирующих добавок* широко используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые подразделяются на две группы: I группа — пластифицирующие добавки гидрофиль-



ного типа, способствующие диспергированию коллоидной системы цементного теста и тем самым улучшающие его текучесть; II группа — гидрофобизирующие добавки, вовлекающие в бетонную смесь мельчайшие пузырьки воздуха, что также улучшает подвижность бетонной смеси. К добавкам I группы относятся, например, широко применяемая в технологии бетона сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ). Вводят ее в количестве 0,1...0,3%. Эта добавка представляет собой в основном смесь кальциевых солей лигно-сульфоновых кислот. Получают ее в виде порошка или жидкости из сульфитных щелоков, образующихся при переработке целлюлозы. К добавкам II группы относятся: абиетат натрия — натриевая соль абиетиновой кислоты, получаемая в виде порошка или жидкости путем омыления канифоли едким натром; омыленный древесный лека (препарат ЦНИИПС-1) — паста, получаемая нейтрализацией едким натром жидких кислот древесного лека; мылонафт — мазеобразное вещество желто-коричневого цвета, представляющее собой натриевые соли нерастворимых в воде органических кислот, получаемых из отходов при переработке нефти; ряд добавок, получаемых из продуктов нефтепереработки. ПАВ II группы вводят в количестве 0,02...0,1% от массы цемента.

ПАВ повышают подвижность бетонной смеси, однородность, нерасслаиваемость, текучесть при перекачивании насосом, способствуют сохранению удобообрабатываемости смеси во времени. Пластифицирующие добавки позволяют за счет уменьшения расхода воды либо сократить на 8...12% расход цемента, либо при неизменном расходе цемента понизить водоцементное отношение и несколько повысить прочность бетона, его водонепроницаемость и морозостойкость.

В последнее время разработаны и внедряются в строительство новые химические добавки — суперпластификаторы (С-3, 10-03 и др.). Эти добавки резко увеличивают подвижность и текучесть бетонной смеси и существенно улучшают строительно-технологические свойства бетона. В большинстве своем суперпластификаторы являются синтетическими полимерными веществами, которые вводят в бетонную смесь в количестве 0,1...1,2% от массы цемента. Действие суперпластификаторов, как правило, ограничено 1...2 ч с момента введения их в бетонную смесь. Под действием щелочной среды они подвергаются частичной деструкции и переходят в другие вещества, безвредные для бетона и не тормозящие процессы его твердения. Введение суперпластификаторов особенно эффективно для производства сборного железобетона, где увеличение скорости твердения бетона имеет важное значение и где применение обычных пластификаторов, часто замедляющих твердение, требует применения специальных мер: введения в бетонную смесь одновременно ускорителей твердения, более длительных режимов прогрева изделий для получения заданной прочности бетона.

Суперпластификаторы позволяют получать бетоны высокой прочности (60...80 МПа), облегчают формирование изделий и конструкций, сокращают расход цемента (до 25%).

Воздухововлекающие добавки применяют главным образом в бетонах, от которых требуется повышенная морозостойкость, и в строительных растворах. Воздухововлечение в бетонную смесь несколько снижает прочность бетона. Так, по опытным данным, 1% вовлеченного воздуха снижает прочность при сжатии на 3%, поэтому не следует в бетонную смесь с целью ее пластификации вводить большое количество воздухововлекающей добавки. Содержание вовлеченного воздуха ограничивают обычно 4...5%. В этом случае прочность бетона практически не снижается, так как отрицательное влияние на прочность бетона вовлеченного воздуха нейтрализуется благодаря повышению прочности цементного камня вследствие уменьшения водоцементного отношения. Воздухововлекающая добавка гидрофобизирует поры и капилляры бетона, а воздушные пузырьки служат резервным объемом для замерзания воды без возникновения больших внутренних напряжений в бетоне. В результате значительно повышаются водонепроницаемость и морозостойкость бетона. Воздухововлекающие добавки более эффективны в бетонах с малыми расходами цемента.

К гидрофобно-пластифицирующим добавкам относятся кремнийорганические жидкости: метилсиликонат натрия (ГКЖ-11), этилсиликонат натрия (ГКЖ-10) и этилгидросилоксановая жидкость (ГКЖ-94). Применяют эти добавки для увеличения стойкости бетона и гидрофобизации изделий из ячеистых бетонов.

Из добавок ускорителей твердения наиболее распространен хлористый кальций, обеспечивающий наилучшие результаты по сравнению с другими добавками (хлористым натрием, сульфатом натрия и др.). Хлористый кальций позволяет ускорить твердение бетона, особенно в раннем возрасте. Оптимальное содержание хлористого кальция устанавливают опытным путем и обычно оно составляет 1...2%. Поскольку хлористый кальций способствует коррозии арматуры, то в бетонных конструкциях его содержание не должно превышать 3%, а в железобетонных — 2%. Нельзя вводить хлористый кальций в железобетонные конструкции, если диаметр арматуры менее 5 мм. Для равномерного распределения хлористого кальция в бетонной смеси его вводят в виде раствора с водой затворения.

Для придания бетонной смеси и бетону необходимых свойств в бетон в ряде случаев вводят комплексные добавки (две и более), например: из ускорителя твердения и ингибитора коррозии (ННХК — нитрит нитрат хлорид кальция), из пластифицирующей добавки и ускорителя твердения (СДБ +  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , СДБ +  $\text{CaCl}_2$ ) или из суперпластификатора, ускорителя твердения, стабилизатора, замедляющего потерю подвижности бетонной смеси во времени, и ингибитора коррозии (10-03, СДБ, ННХК).

### § 5.3. Технология производства и свойств бетонной смеси

● Производство бетонной смеси осуществляют на приобъектных бетоносмесительных узлах, бетонных заводах или в бетоносмесительных цехах заводов железобетонных изделий.

Процесс производства бетонной смеси состоит из подготовки материалов, дозирования и перемешивания.

● К подготовительным операциям относятся активация (дополнительный помол) цемента, приготовление растворов химических добавок, оттаивание и подогрев заполнителя в зимнее время. Приготовление химических добавок заключается в растворении их в воде с последующим доведением растворов до заданной концентрации. Это осуществляют в специальных емкостях, снабженных системой трубопроводов для перемешивания раствора сжатым воздухом, а при необходимости — паровыми регистрами для подогрева. После приготовления раствор добавок подают в расходную емкость, снабженную датчиком уровня, а по мере

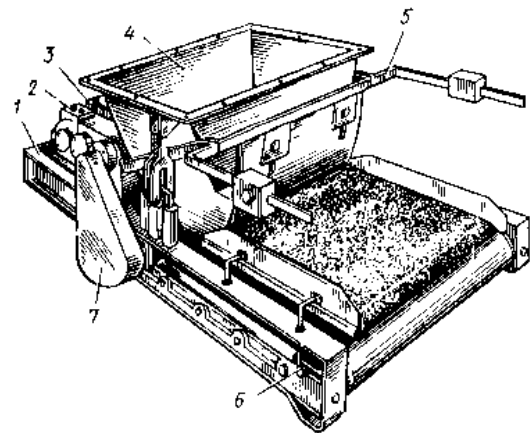


Рис. 5.2 Дозатор по массе непрерывного действия для заполнителей:

1 — рама; 2 — редуктор; 3 — цепной пластинчатый вариатор; 4 — приемный бункер; 5 — рычажно-весовая система; 6 — вал натяжного барабана; 7 — цепная передача

необходимости — через дозатор в бетоносмеситель. Подогрев заполнителей ведут в бункерах, реже непосредственно на крытых складах. Для этого либо используют контактный способ подогрева с помощью паровых труб и гребенок, размещаемых в бункерах, либо пропускают пар, горячий воздух или газ непосредственно через заполнитель.

Важным технологическим переделом является дозирование материалов, т. е. отмеривание расхода материалов на замес бетоносмесителя. На современных бетонных заводах используют в основном весовые дозаторы (рис. 5.2), которые взвешивают цемент, воду и растворы химических добавок с точностью до  $\pm 1\%$ , заполнители — с точностью  $\pm 2\%$ .

Применяют различные способы перемешивания в зависимости от вида и характеристик бетонной смеси. При использовании крупнозернистых подвижных смесей с заполнителем из плотных пород применяют гравитационные бетоносмесители свободного падения (рис. 5.3), в которых перемешивание происходит при вращении

барабана-смесителя в результате многократного подъема и сбрасывания материалов с некоторой высоты. Перемешивание жестких мелкозернистых и легковесных смесей на пористых заполнителях осуществляют в смесителях принудительного смешивания (рис. 5.4); здесь более энергичное перемешивание достигается путем взаимного перемещения материалов с помощью вращающихся лопастей и других подобных устройств.

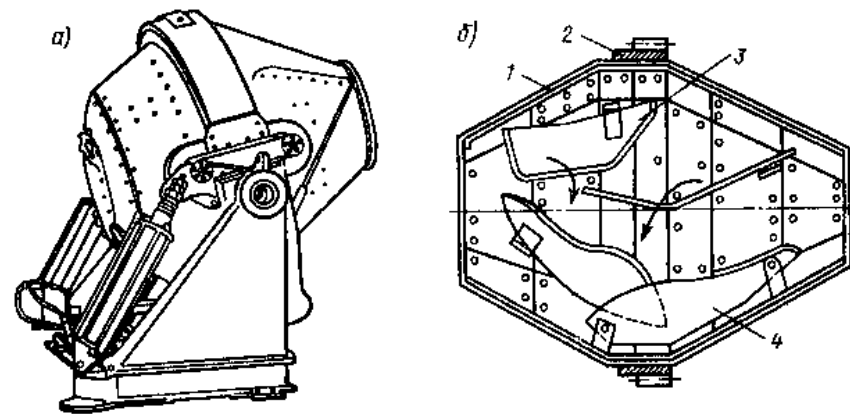


Рис. 5.3 Гравитационный бетоносмеситель:

а — общий вид, б — схема конусного барабана, 1 — корпус; 2 — обечайка; 3, 4 — лопасти, стрелки показывают перемещение бетонной смеси

Большое влияние на качество перемешивания оказывает его продолжительность, которая в смесителях циклического действия определяется с момента загрузки всех материалов до начала выгрузки. При недостаточной продолжительности перемешивания ухудшается однородность бетона и понижается его прочность. Увеличение продолжительности перемешивания сверх оптимального мало сказывается на свойствах бетона и бетонной смеси (прочность бетона повышается, но крайне незначительно). Оптимальная продолжительность перемешивания зависит от состава, характеристики бетонной смеси и типа применяемого смесителя. При перемешивании тяжелых бетонных смесей (с плотностью более  $2200 \text{ кг/м}^3$ ) в смесителях свободного падения продолжительность перемешивания составляет 1...2 мин. Для приготовления мало подвижных и умеренно жестких смесей время перемешивания следует увеличивать в 1,5...2 раза. В смесителях принудительного действия перемешивание крупнозернистых смесей обычно продолжается 2...3 мин, мелкозернистых — 3...5 мин.

По условиям эксплуатации бетоносмесители подразделяют на передвижные и стационарные, а по условиям работы — на циклические и непрерывного действия. Передвижные смесители используют при небольших объемах строительных работ, они имеют емкость обычно по готовому замесу не более 165 л, стационарные — 330,

500, 800, 1000, 1600, 2000 л. В циклических смесителях процесс приготовления бетонной смеси протекает последовательно, каждая последующая порция компонентов может быть подана в смесительную емкость только после выгрузки готового замеса.

Смесители непрерывного действия загружают компонентами бетонной смеси непрерывно с помощью ленточных питателей или конвейеров. Готовая смесь непрерывно поступает в транспортные средства. Смесители непрерывного действия применяют в тех случаях, где требуется одномарочный бетон и нет необходимости часто перенастраивать дозаторы.

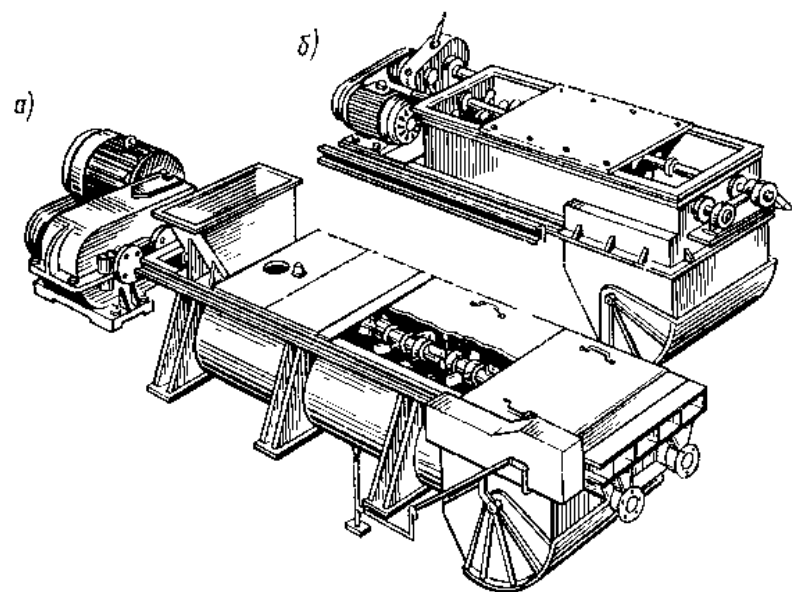


Рис 54. Бетоносмесители с принудительным смешиванием непрерывного действия:

а — установка С 780; б — установка С-546Р

Бетоносмесительные установки в зависимости от схемы размещения технологического оборудования (рис. 5.5) имеют *одноступенчатую* — *башенную* (вертикальную) или *двухступенчатую* — *партерную* компоновку. Технологическое оборудование смесительных установок башенного типа расположено по вертикали, в связи с чем компоненты смеси поднимаются однократно. Дальнейшее продвижение материалов по технологическому циклу осуществляется под действием силы тяжести. В партерных смесительных установках в ходе технологического процесса происходит неоднократный подъем материалов.

В состав бетонного завода помимо одной или нескольких смесительных установок входят склады сырьевых материалов и внут-

ри заводское транспортное оборудование (конвейеры, цементопроводы, элеваторы). Заводы могут включать в себя установки для контрольной сортировки заполнителей, подогрева или охлаждения воды и заполнителей, компрессорную, котельную.

В зависимости от способа управления производственными процессами различают бетоносмесительные установки *механизированные* и *автоматизированные*. На механизированных установках технологические операции приготовления смеси выполняются машинами, управляемыми вручную; на автоматизированных — управление производственными процессами ведется с пульта управления дистанционно (на расстоянии) при участии человека либо без его участия — при программном управлении.

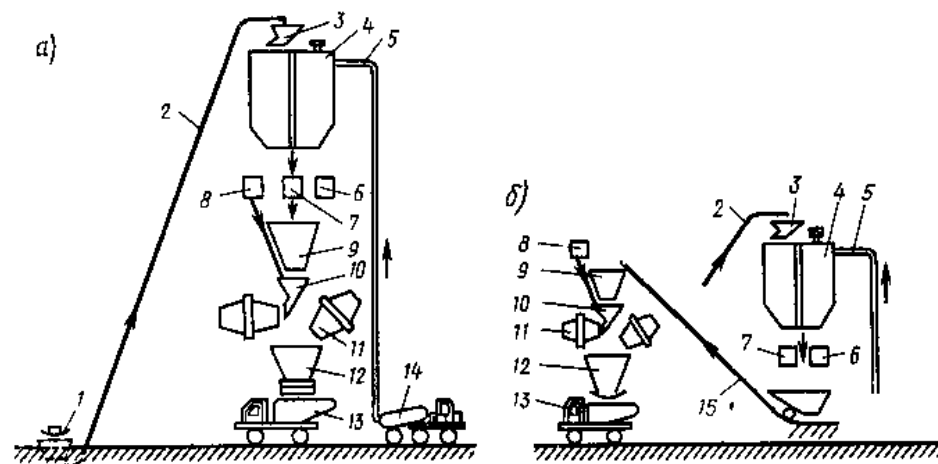


Рис. 5.5. Технологические схемы компоновки бетоносмесительных установок:

а — одноступенчатая (вертикальная), б — двухступенчатая (партерная); 1 — конвейер склада заполнителей, 2 — конвейер подачи заполнителей в расходные бункера; 3, 9, 10 — поворотная, направляющая и распределительная воронки, 4 — расходные бункера; 5 — труба пневмоподачи цемента, 6 — дозатор цемента; 7 — дозатор заполнителей; 8 — дозатор воды; 11 — смеситель, 12 — раздаточный бункер (копильник); 13 — автобетоновоз, 14 — автоцементовоз, 15 — скиповый подъемник

● **Транспортирование бетонных смесей заводом-изготовителем** осуществляется в виде: затворенной водой смеси, доставленной к месту потребления в готовом для укладки виде; сухой смеси цемента с заполнителями, затворяемой водой в автобетоносмесителях в пути следования или непосредственно на строительном объекте.

Доставляют бетонную смесь к месту укладки различными видами транспорта. Наиболее широко применяют автобетоновозы, автобетоносмесители и автосамосвалы общего назначения.

Способы транспортирования должны исключать вредное воздействие окружающей среды и потери смеси, обеспечить сохранение однородности. Предельную продолжительность транспортирования бетонной смеси устанавливают в зависимости от сроков

схватывания применяемого цемента, наружной температуры воздуха, вида транспортных средств и типа покрытия дорог. Обычно при температуре бетонной смеси 20...35°C продолжительность транспортирования не должна превышать 45 мин, при 10...20°C — 90 мин и при 5...10°C — 120 мин.

Транспортирование смеси на короткие расстояния, например на заводах сборного железобетона, производят ленточными конвейерами и контейнерами.

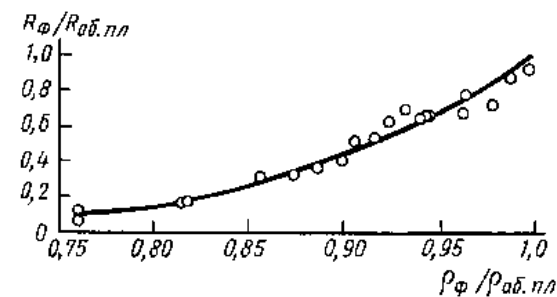


Рис 5.6. Влияние уплотнения на прочность бетона:

$R_{ф}$ ,  $\rho_{ф}$  — фактические прочность и плотность бетона,  $R_{аб.пл}$ ,  $\rho_{аб.пл}$  — максимальные достигшие прочность и плотность бетона,  $R_{ф}/R_{аб.пл}$  — коэффициент прочности,  $\rho_{ф}/\rho_{аб.пл}$  — коэффициент плотности

Из различных способов уплотнения бетонной смеси наибольшее распространение получило *вибрирование*. На заводах сборного железобетона изделия обычно формируют на специальных виброплощадках, монолитный бетон в конструкциях уплотняют глубинными (подвижные бетонные смеси) и поверхностными вибраторами. При вибрировании частицам бетонной смеси сообщаются механические колебания, в результате чего связи между отдельными частицами постоянно нарушаются, силы трения и сцепления уменьшаются. Бетонная смесь приобретает свойства тяжелой жидкости и под влиянием сил тяжести расплывается, заполняя форму, и уплотняется.

Для уплотнения особо жестких смесей применяют *вибрирование с пригрузом*, *вибропрессование* и *виброштампование*. Для формирования труб часто используют *центрифугирование* и т. д. Требование ко всем способам одно — обеспечить заданную степень уплотнения бетонной смеси. Для обычной тяжелой бетонной смеси коэффициент уплотнения, т. е. отношение фактической плотности к расчетной, должен быть не менее 0,98 и приближается к 1.

Эффект виброуплотнения зависит от частоты колебания  $f$  и амплитуды  $A$ . Наиболее часто используют частоту колебаний 3000 кол/мин, для мелкозернистых смесей — 6000...10 000 кол/мин. Амплитуда колебаний для крупнозернистых тяжелых смесей обыч-

но равна 0,3...0,7 мм, причем с повышением жесткости бетонной смеси ее увеличивают (при жесткости 15...20 с  $A=0,3...0,4$  мм, при жесткости 30...40 с  $A=0,6...0,7$  мм). Для мелкозернистых бетонных смесей амплитуда равна 0,15...0,4 мм. Слишком большие амплитуды колебаний без пригруза могут вызвать разрыхление бетонной смеси и ухудшить свойства бетона.

Для каждой бетонной смеси при принятых параметрах колебаний имеется оптимальная продолжительность вибрирования. При недостаточной продолжительности вибрирования наблюдается недоуплотнение бетона и снижение его прочности, слишком длительное вибрирование не дает заметного повышения плотности и прочности бетона. Продолжительность вибрирования может колебаться от 30...40 с до 3...5 мин.

В последнее время получают распространение низкочастотные, в том числе с асинхронным видом колебания, и ударные способы уплотнения бетонной смеси, которые обеспечивают экономию энергии, уменьшают опасность вибрационного воздействия на рабочих и, понижая воздухоповлечение в бетонную смесь при вибрации, способствуют получению изделий с гладкой лицевой поверхностью.

При ударном способе изготовления изделий форма с бетонной смесью многократно поднимается и падает с небольшой высоты. При этом происходит постепенное уплотнение бетонной смеси. Способ позволяет уплотнять изделия значительной высоты и сложной конструкции, однако требует применения пластичных или малоподвижных бетонных смесей. Сочетание вибрационного и ударного воздействия обеспечивает высокую эффективность уплотнения бетонной смеси, в том числе жесткой бетонной смеси. Для повышения эффективности работы установки и снижения энергозатрат стараются обеспечить ее работу в резонансном режиме.

В последние годы развиваются безвибрационные методы уплотнения бетонной смеси: наливной способ, центрифугирование, уплотнение с помощью прикатки роликами и др. При наливном способе бетонную смесь транспортируют по трубопроводам и заливают в опалубку или форму. Такие смеси не требуют вибрации, хорошо заполняют форму, однако в этом случае требуются специальные мероприятия, препятствующие расслоению бетонной смеси, например применение химических или специальных тонкомолотых водоудерживающих добавок. Подобные бетонные смеси, имея высокое водосодержание, затрудняют получение прочных и долговечных бетонов. Однако наливной способ обладает очень высокой производительностью и с учетом появления в последнее время эффективных химических добавок суперпластификаторов, способствующих получению очень подвижных бетонных смесей при ограниченном водосодержании, может успешно применяться для бетонов низких и средних марок.

● **Свойства.** Бетонная смесь представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из частичек вяжущего, новооб-

разований, образующихся при взаимодействии вяжущего с водой, зерен заполнителя, воды, вводимых в ряде случаев специальных добавок, вовлеченного воздуха. Вследствие наличия сил взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы и воды эта система приобретает связанность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными физическими и механическими свойствами.

Основное влияние на эти свойства будет оказывать количество и качество цементного теста, так как именно цементное тесто, являясь дисперсной системой, имеет высокоразвитую поверхность раздела твердой и жидкой фаз, что способствует развитию сил молекулярного сцепления и повышению связанности системы. Большое влияние на свойства бетонной смеси оказывает расход воды, так как он определяет объем и строение жидкой фазы и развитие сил сцепления, характеризующих связанность и подвижность всей системы.

В процессе гидратации цемента (до момента затвердевания) появляется все большее количество гелеобразных гидратных соединений новообразований, что способствует увеличению дисперсности твердой фазы и соответственно повышению клеящей и пластифицирующей способности цементного теста и его связующей роли в бетонной смеси. Вместе с тем постепенно уменьшается подвижность смеси.

Цементное тесто относят к так называемым *структурированным системам*, которые характеризуются некоторой начальной прочностью структуры. В цементном тесте создается определенная структура за счет действия сил молекулярного сцепления между частицами, окаймленными тонкими пленками воды. Пленки жидкой фазы создают непрерывную пространственную сетку в структуре цементного теста, придавая ему свойство пластичности. Прочность начальной структуры, или структурная вязкость цементного теста, зависит от концентрации твердой фазы в водной суспензии.

Поведение структурированных систем при приложении внешних сил существенно отличается от поведения жидких тел. Если вязкость жидкости (истинная ньютоновская) постоянна и не зависит от величины прикладываемого давления (вязкость жидкости меняется только с изменением температуры), то вязкость структурированных систем изменяется (часто на два-три порядка) даже при постоянной температуре в зависимости от величины внешних сил, действующих на систему.

Способность структурированных систем изменять свои реологические свойства под влиянием механических воздействий и восстанавливать их после прекращения воздействия называется *тиксотропией*. В технологии бетона это свойство широко используют для формирования изделий из малоподвижных и жестких смесей путем воздействия на них вибрации, встряхиванием, толчками.

Для производства работ и обеспечения высокого качества бетона в конструкции или изделиях необходимо, чтобы бетонная смесь имела консистенцию, соответствующую условиям ее укладки. Обычно консистенцию бетонной смеси оценивают *показателем подвижности* или *жесткости*.

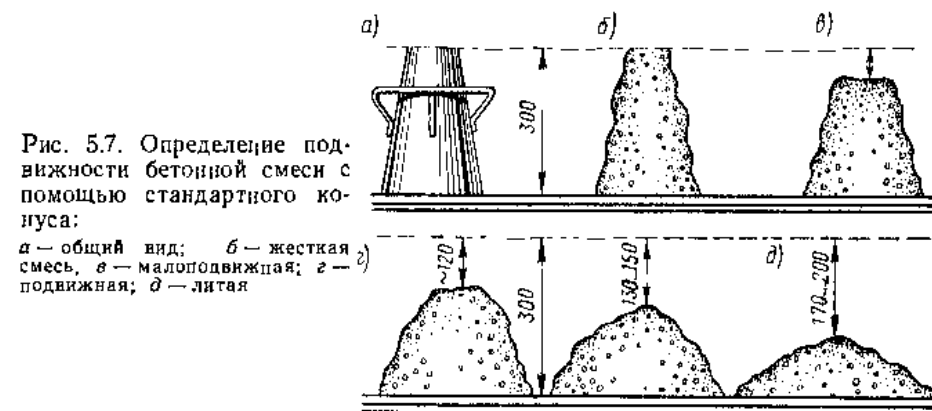


Рис. 5.7. Определение подвижности бетонной смеси с помощью стандартного конуса:

а — общий вид; б — жесткая смесь; в — малоподвижная; г — подвижная; д — литая

Для определения подвижности, т. е. способности смеси расплываться под действием собственной массы, и связанности бетонной смеси служит стандартный конус (ГОСТ 10181—81). Он представляет собой усеченный, открытый с обеих сторон конус из листовой стали толщиной 1 мм. Высота конуса — 300 мм, диаметр нижнего основания — 200, верхнего — 100 мм. Внутреннюю поверхность конуса и поддон перед испытанием смачивают водой. Затем форму устанавливают на поддон и заполняют бетонной смесью в три приема, уплотняя смесь штыкованием. После заполнения формы и удаления излишков смеси форму тотчас поднимают медленно и строго вертикально вверх за ручки. Подвижная бетонная смесь, освобожденная от формы, дает осадку или даже растекается. Мерой подвижности смеси служит величина осадки конуса, которую измеряют сразу же после снятия формы (рис. 5.7).

В зависимости от осадки конуса различают подвижные (пластичные) бетонные смеси, величина осадки которых составляет от 1...2 до 10...12 см и более, и жесткие, которые практически не дают осадки конуса. Однако в зависимости от состава такие бетонные смеси обладают различными формовочными свойствами при вибрировании.

По стандарту испытание жесткости бетонной смеси проводится в специальном приборе, представляющем собой цилиндрический сосуд высотой 200 мм с внутренним диаметром 240 мм (рис. 5.8), на котором закреплено устройство для измерения осадки бетонной смеси в виде направляющего штатива, штанги и металлического диска толщиной 4 мм с шестью отверстиями. Прибор устанавли-

вают на виброплощадку и плотно прикрепляют к ней. Затем в сосуд помещают металлическую форму-конус с насадкой для заполнения бетонной смесью. Форму-конус с помощью специального кольца-держателя закрепляют в приборе и заполняют в три слоя бетонной смесью. Затем форму-конус снимают, поворачивают штатив, устанавливая на поверхность бетонной смеси диск и включают виброплощадку. Вибрирование по амплитуде 0,5 мм продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из двух отверстий диска. Полученное время вибрирования является показателем жесткости бетонной смеси.

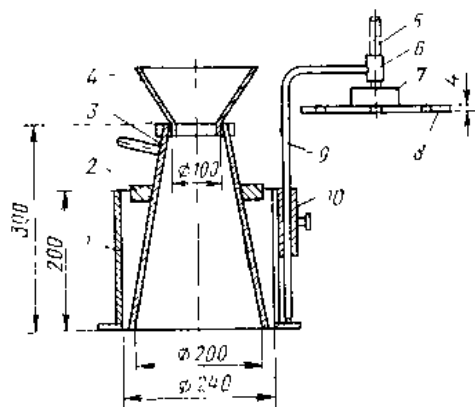


Рис. 58. Прибор для определения жесткости бетонной смеси:

1 — форма, 2 — упоры для крепления конуса, 3 — корпус, 4 — воронка; 5 — штатив, 6 — направляющая втулка, 7 — втулка для крепления диска; 8 — диск с шестью отверстиями, 9 — штатив, 10 — замки штатива

метр, чтобы конус вошел внутрь куба. Конус также наполняют в три слоя. После снятия металлического конуса бетонную смесь подвергают вибрации на лабораторной площадке. Вибрация длится до тех пор, пока бетонная смесь не заполнит всех углов куба и ее поверхность станет горизонтальной. Продолжительность вибрирования (с) принимают за меру жесткости (удобоукладываемости) бетонной смеси. Показатель жесткости по стандартному вискозиметру примерно в 3...4 раза больше, чем при определении жесткости по способу Б. Г. Скрамтаева.

Технологические свойства бетонной смеси определяют ее составом и свойствами используемых материалов.

Способность растекаться и плотно заполнять форму бетонной смесью придает цементное тесто. Чем выше содержание цементного теста и более жидкой является его консистенция, тем больше подвижность бетонной смеси. Введение в цементное тесто заполнителя уменьшает подвижность смеси и тем в большей степени, чем выше содержание заполнителя и его удельная поверхность.

При увеличении расхода цемента в бетоне от 200 до 400 кг/м<sup>3</sup> при постоянном расходе воды изменения подвижности бетонной смеси не наблюдается. Подвижность смеси зависит только от рас-

хода воды. Эта закономерность, получившая название закона постоянства водопотребности, позволяет в расчетах использовать упрощенную зависимость подвижности бетонной смеси только от расхода воды.

С увеличением содержания цементного теста при постоянном В/Ц или с уменьшением количества заполнителей подвижность бетонной смеси возрастает. Если цементное тесто взять только в количестве, необходимом для заполнения пустот между заполнителями, то бетонная смесь получается жесткой, неудобоукладываемой. Для того чтобы смесь стала подвижной, следует не только заполнить пустоты, но и раздвинуть зерна заполнителя прослойками из цементного теста. В зависимости от свойств заполнителя и соотношения между песком и щебнем минимальное содержание цементного теста в бетонной смеси, обеспечивающее ее нерасплаиваемость и качественное уплотнение, составляет от 170...200 л в жесткой смеси до 220...270 л в подвижной и литой смесях.

Влияют на подвижность бетонной смеси и свойства цемента. Применение цемента с более высокой нормальной плотностью понижает подвижность бетонной смеси (при постоянном расходе воды). Бетонные смеси, содержащие пуццолановый портландцемент с активной кремнеземистой добавкой, особенно осадочного происхождения (трепела, диатомита), при одном и том же расходе воды имеют значительно меньшую осадку конуса, чем смеси с обычным портландцементом.

С повышением содержания воды подвижность бетонной смеси увеличивается. Однако бетонная смесь обладает определенной водоудерживающей способностью, устанавливаемой опытным путем; при большем содержании воды часть ее отделяется от бетонной смеси, что недопустимо.

Подвижность бетонной смеси существенно зависит от крупности зерен заполнителя. С увеличением крупности зерен суммарная площадь их поверхности уменьшается, снижается их влияние на цементное тесто, в результате подвижность бетонной смеси возрастает. Пыль, глинистые и другие загрязняющие примеси обычно снижают подвижность бетонной смеси. Подвижность зависит также от соотношения между песком и щебнем. Наилучшая подвижность достигается при некотором оптимальном соотношении, при котором толщина прослойки цементного теста максимальная. При большем содержании песка в смеси заполнителей бетонная смесь делается менее подвижной, что объясняется увеличением поверхности заполнителей.

Повышение подвижности, снижение водопотребности бетонной смеси или уменьшение расхода цемента может быть достигнуто применением пластифицирующих добавок, например сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) в количестве от 0,1 до 0,3% от массы цемента (в зависимости от его минералогического состава и удельной поверхности). Более эффективно действие суперпластификато-



ров, которые позволяют значительно изменять подвижность и водопотребность пластичных бетонных смесей (на 20...50% больше, чем СДБ).

В табл. 5.4 приведены данные, характеризующие ориентировочное снижение водопотребности бетонной смеси при введении СДБ.

Важной характеристикой является *однородность бетонных смесей*, которая измеряется степенью расслоения смесей при хранении и транспортировании. Расслаиваемость бетонных смесей развивается в результате седиментационных явлений, возникающих вследствие резкого отличия в плотностях компонентов бетона. Применение расслаивающейся смеси приводит к неравномерному распределению в бетоне заполнителей и цементного камня и существенному ухудшению свойств бетона. Устойчивость бетонных смесей к расслоению повышается при снижении водосодержания, введении тонкомолотых минеральных добавок, а также поверхностно-активных веществ.

Таблица 5.4. Снижение водопотребности бетонной смеси при введении СДБ, %

Жесткость, с	Поданжность, см	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>		
		500	400	300
—	10...12	15	12	10
—	5..7	12	10	8
20...30	—	10	8	6
30...100	—	8	6	—

## § 5.4. Структура и свойства бетона

● Структура бетона зависит от состава и свойств основных компонентов, особенностей изготовления, укладки и твердения. В самом общем виде бетон можно представить как цементный камень с втопленными в него заполнителями, имеющий множество пор и пустот разных размеров и происхождения. Обычно различают в бетоне *макроструктуру*, характеризующую систему щебень — цементно-песчаный раствор, *мезоструктуру*, показывающую строение системы песок — цементный камень, и *микроструктуру* — тонкое строение цементного камня и заполнителя.

Макро- и мезоструктуру бетона можно разделить на три вида в зависимости от величины раздвижки зерен заполнителей цементным тестом и глубины заполнения пор: 1 — зерна заполнителей значительно раздвинуты цементным тестом и не имеют контактов; 2 — цементное тесто заполняет поры между зернами заполнителя и лишь незначительно раздвигает их, покрывая тонким слоем клея; 3 — контактную при дальнейшем насыщении бетона заполнителями.

В этом случае цементного теста хватает лишь на образование тонких клеевых прослоек на зернах заполнителей и частичное заполнение пор между ним. По мере увеличения доли заполнителей в бетоне возрастает их влияние на свойства бетона.

Обычный бетон имеет чаще всего структуру второго вида, которая обеспечивает высокую плотность и прочность бетона при умеренном расходе цемента.

Для бетона большое значение имеет микроструктура цементного камня (видимая под микроскопом), которая состоит из непрореагировавших зерен цемента, новообразований и микропор различных размеров. По своему строению она напоминает бетон (если считать заполнителем непрореагировавшие зерна). В. Н. Юнгом подобная структура была образно названа «микробетоном».

Пористость является важнейшим признаком структуры бетона. Общая пористость бетона складывается: из пор в цементном камне, подразделяемых на капиллярные поры, поры геля и поры, образованные вовлеченным воздухом; пор заполнителя и межзерновых пустот — пространства между зернами заполнителя, не заполненного цементным тестом. Капиллярные поры образуются в результате испарения избыточной воды в цементном тесте, т. е. воды, не вступившей в химическое взаимодействие с цементом и связанной с ним физико-механической связью. Капиллярные поры имеют размер более 0,2 мкм и снижают основные технические свойства бетона, особенно морозостойкость. Капиллярная пористость уменьшается по мере снижения водоцементного отношения и расхода воды. Пористость геля включает мельчайшие поры, образованные в цементном камне в результате испарения адсорбционно связанной воды. Они почти в 1000 раз меньше, чем капиллярные. Вода в порах геля не замерзает даже при весьма низких отрицательных температурах. В пористость геля входит также контракционный объем, являющийся следствием контракции — уменьшения объема гидратных новообразований по сравнению с суммарным объемом продуктов, из которых они образовались. Особый вид пор, заполненных воздухом, образуется в цементном камне при введении поверхностно-активных веществ. Эти поры имеют размер 0,0025...0,25 см. Общий объем пор в цементном камне составляет 25...40% общего объема, при этом основная доля приходится на капиллярные поры.

При твердении бетона и в процессе службы его структура непрерывно изменяется. С увеличением длительности твердения уменьшается пористость и прежде всего объем макрокапилляров (более 10<sup>-6</sup> см), что приводит к существенному улучшению строительных свойств.

Структура бетона неоднородна, что оказывает заметное влияние на суммарные свойства материала. По свойствам могут различаться не только цементный камень и заполнитель, но и зерна заполнителя друг от друга, и отдельные микрообъемы цементного камня. Неоднородность структуры и свойств требует применения к оценке бе-

тона вероятностно-статистических методов и должна учитываться при проектировании и организации производства бетонных и железобетонных работ.

● **Свойства.** Одним из главных строительных свойств является *прочность* бетона. Она характеризует способность бетона противостоять внешним механическим усилиям. Разрушение бетона под нагрузкой имеет место в том случае, когда по всему сечению преодолевается предел прочности материала, т. е. сопротивление отрыву одних частиц от других. При местных превышениях сопротивления отрыву в бетоне появляются микротрещины, которые ослабляют его структуру и при многократном повторении нагрузки развиваются, также приводя к его разрушению.

Прочность бетона зависит от свойств компонентов бетона, его состава, условий приготовления, твердения, эксплуатации и испытания. В свою очередь, с прочностью бетона связан и ряд других его свойств.

В рабочих чертежах конструкций или стандартах на изделия обычно указывают требования к прочности бетона, его класс или марку.

Для конструкций, которые проектируют с учетом требований СТ СЭВ 1406—78, прочность на сжатие характеризуется классами. Класс бетона определяется величиной гарантированной прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95. Бетоны подразделяются на классы: В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В50; В55; В60.

На производстве контролируют среднюю прочность или марку бетона. Между классом бетона и его средней прочностью имеется зависимость.

$$B = \bar{R}(1 - tv), \quad (5.1)$$

где  $B$  — класс бетона по прочности; МПа;  $\bar{R}$  — средняя прочность, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа;  $t$  — коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона;  $\phi$  — коэффициент вариации прочности бетона.

Для перехода от класса бетона  $B$  к средней прочности бетона, контролируемой на производстве для образцов  $15 \times 15 \times 15$  см (при нормальном коэффициенте вариации  $\phi = 13,5\%$  и  $t = 0,95$ ), следует применять формулу  $R_{ср} = B/0,778$ . Например, для класса В5 получим среднюю прочность  $R_{ср} = 6,43$  МПа, а для класса В40 —  $R_{ср} = 51,4$  МПа.

В настоящее время происходит переход в нормативных документах от марки к классу бетона, однако для некоторых специальных конструкций и в ряде действующих нормативов применяют марку бетона. Поэтому далее используются понятия как о классе, так и о марке бетона. Средняя прочность или марка тяжелого бетона определяется пределом прочности (МПа) при сжатии стандартных

бетонных кубов  $15 \times 15 \times 15$  см, изготовленных из рабочей бетонной смеси в металлических формах и испытанных в возрасте 28 сут после твердения в нормальных условиях (температура  $15 \dots 20^\circ\text{C}$ , относительная влажность окружающего воздуха  $90 \dots 100\%$ ). В строительстве используют следующие марки: М50, М75, М100, М150, М200, М250, М300, М350, М400, М450, М500, М600 и выше (через М100). На производстве необходимо обеспечить среднюю прочность или заданную марку бетона. Превышение заданной прочности допускается не более чем на 15%, так как это ведет к перерасходу цемента.

Кубы размером  $150 \times 150 \times 150$  мм применяют в том случае, если наибольшая крупность зерен заполнителя 40 мм. При другой крупности заполнителя можно использовать кубы иных размеров, однако размер ребра контрольного бетонного образца должен быть примерно в 3 раза больше максимальной крупности зерен заполнителя. Для определения марки бетона на кубах с размерами, отличными от  $15 \times 15 \times 15$  см, вводят следующие переходные коэффициенты, на которые умножается полученная в опытах прочность бетона:

Размер куба, мм	$70 \times 70 \times 70$	$100 \times 100 \times 100$	$150 \times 150 \times 150$	$200 \times 200 \times 200$	$300 \times 300 \times 300$
Переходный коэффициент	0,85	0,91	1	1,05	1,1

Бетоны, применяемые в монолитных массивных сооружениях, могут иметь расчетные сроки твердения, превышающие 28 сут (60, 90, 180 сут). Увеличение расчетного срока твердения бетона обычно ведет к экономии цемента.

Прочность бетона при твердении в нормальных условиях зависит главным образом от прочности (активности) цемента и водоцементного отношения.

Под водоцементным отношением в этом случае понимают отношение массы воды к массе цемента в свежизготовленной бетонной смеси, причем учитывается только свободная, не поглощенная заполнителем вода. Прочность бетона повышается с увеличением активности цемента или уменьшением водоцементного отношения. Зависимость прочности бетона от В/Ц вытекает из физической сущности формирования структуры бетона и изображается в виде гиперболических кривых (рис. 5.9, а). Изучение процесса гидратации цемента показало, что цемент при твердении в зависимости от качества и срока твердения присоединяет всего  $15 \dots 20\%$  воды от массы цемента. Вместе с тем для придания бетонной смеси пластичности в бетон добавляют воды значительно больше ( $B/C = 0,4 \dots 0,7$ ), так как при  $B/C = 0,2$  бетонная смесь является почти сухой и ее нельзя качественно перемешать и уложить. Избыточная вода, не

вступившая в химические реакции с цементом, остается в бетоне в виде капиллярной воды или испаряется, оставляя воздушные поры. В обоих случаях бетон будет ослаблен наличием пор, и чем больше их, т. е. чем больше  $V/C$ , тем ниже прочность бетона. Таким образом, закон водоцементного отношения по существу выражает зависимость прочности бетона от его плотности или пористости. Зависимость прочности от водоцементного отношения строго соблюдается лишь при испытании бетона на одинаковых материалах и близкой подвижностью бетонной смеси и при применении одинаковых приемов приготовления и укладки бетона.

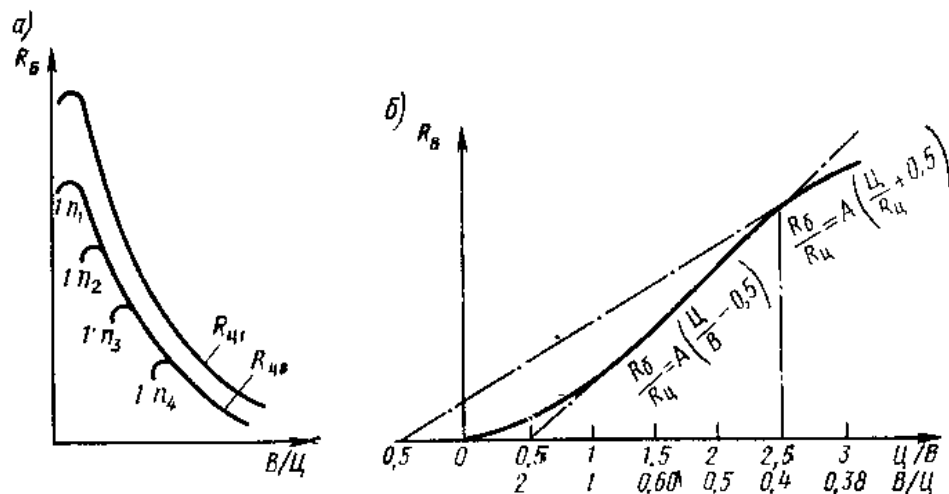


Рис. 5.9. Зависимость прочности бетона: а — от  $V/C$ ; б —  $C/V$  ( $R_u$  — прочность цемента;  $1:n$  — отношение массы цемента к массе заполнителя,  $R_{u1} > R_{u2}$ ;  $1:n_1 > 1:n_2$  ...)

На прочность бетона заметное влияние оказывают также вид цемента, свойства заполнителей, способы изготовления образцов и другие факторы.

На практике обычно используют зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения (рис. 5.9, б). Эту зависимость для удобства расчетов можно аппроксимировать двумя прямыми: при изменениях цементно-водных отношений от 1,3 до 2,5 эта прямая может быть выражена формулами:

$$\text{при } C/V = 1,3 \dots 2,5 \quad R_b = AR_u (C/V - c), \quad (5.2)$$

$$\text{при } C/V > 2,5 \quad R_b = A_1 R_u (C/V + c_1), \quad (5.3)$$

где  $R_b$  — прочность бетона в возрасте 28 сут;  $A$ ,  $A_1$  и  $c$ ,  $c_1$  — эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние заполнителей и других факторов на прочность бетона. Средние значения:  $A=0,6$ ,  $c=0,5$ ,  $A_1=0,3$ ,  $c_1=0,5$ .

Для тяжелых бетонов, применяемых в строительстве дорог и аэродромов, устанавливают среднюю прочность бетона на растяжение при изгибе, которую определяют путем испытания балочек квадратного сечения. Балку испытывают с приложением сил в  $1/3$  пролета.

Предел прочности на растяжение при изгибе (Па)

$$R_{изг} = k P_{max} (bh^2), \quad (5.4)$$

где  $k$  — коэффициент, принимаемый равным: для балочек длиной 40 см —  $k=31,5$ ; при 50 см —  $k=45$ ; при 80 см —  $k=57$ ;  $P_{max}$  — разрушающая сила, Н;  $b$  — ширина образца, см;  $h$  — высота образца, см.

Прочность бетона при изгибе в несколько раз меньше его прочности при сжатии. Средняя прочность бетона на растяжение при изгибе может быть (МПа): 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5. Прочность бетона при изгибе зависит от тех же факторов, что и прочность бетона при сжатии, однако количественные зависимости в этом случае получаются другими. Прочность бетона при растяжении колеблется в пределах 1 ... 3,5 Па.

С увеличением возраста бетона его прочность при изгибе и растяжении возрастает более медленно, чем прочность при сжатии, и соотношение  $R_{изг}/R_{сж}$  уменьшается.

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций используют не нормируемую среднюю прочность бетона (марку бетона), а расчетные сопротивления, учитывающие возможный разброс показателей прочности бетона и включающие, кроме того, определенные коэффициенты, гарантируют безопасность работы конструкции.

Коэффициент вариации (изменчивости) характеризует однородность прочности бетона:

$$v = S/\bar{R}, \quad (5.5)$$

где  $S$  — среднее квадратическое отклонение отдельных результатов испытаний от средней прочности бетона;  $\bar{R}$  — средняя прочность бетона, равная среднему арифметическому пределов прочности отдельных образцов;

$$S = \sqrt{\sum (R - \bar{R})^2 / (n - 1)}, \quad (5.6)$$

здесь  $n$  — число результатов испытаний.

Если фактическая средняя прочность бетона будет соответствовать проектной марке бетона, а коэффициент вариации — среднему значению 13,5%, то нормативные сопротивления будут иметь обеспеченность 97,7%, т. е. в 977 случаях из 1000 фактические величины прочности бетона будут выше его нормативного сопротивления.

В действительности коэффициент вариации может отличаться от средней величины, принятой в СНиПе, в результате чего изменится

запас прочности конструкции по бетону. На предприятиях и объектах строительства с хорошо отлаженной технологией коэффициент вариации может уменьшаться до 4...5%, а при использовании недостаточно качественных материалов с большим колебанием свойств и при плохо организованном технологическом процессе возможно увеличение коэффициента вариации до 20...25%. Отпускная прочность бетона в изделиях на заводах сборного железобетона назначается с учетом коэффициента вариации. Чем он меньше, тем ниже отпускная прочность, что позволяет экономить цемент.

В любом возрасте прочность бетона ориентировочно можно определить по формуле

$$R_n = R_{28} \ln n / \lg 28, \quad (5.7)$$

где  $R_n$  — предел прочности бетона при сжатии в любом возрасте, МПа;  $R_{28}$  — предел прочности бетона при сжатии в возрасте 28 сут;  $\ln n$  — десятичный логарифм возраста бетона.

Эта формула применима только для обычного портландцемента средних марок и дает удовлетворительные результаты при  $n > 3$ . Для более точного прогноза прочности бетона применяют эмпирические коэффициенты, учитывающие химико-минералогический состав цемента и режим твердения бетона.

Наряду с определением прочности бетона по результатам испытаний контрольных образцов в строительной практике широко внедряются неразрушающие методы контроля прочности бетона. Это вызвано необходимостью учета производственных факторов, которые не всегда можно учесть при обычных испытаниях образцов. Имеются в виду отклонения от заданного состава, различные условия транспортирования, укладки и твердения бетона и др. Важными преимуществами неразрушающих методов являются также оперативность и простота контроля прочности.

Наиболее широкое распространение нашли *механические и физические методы неразрушающего контроля*. Механические методы основаны главным образом на принципах упругого отскока или вдавливания. При этом величина прочности бетона определяется соответственно по *упругости*, характеризуемой величиной отскока ударяющего тела (приборы Шмидта, Борового и др.), или *твердости*, измеряемой глубиной, или диаметром, отпечатка (приборы Физделя, Кашкарова, Васильева и др.). Механические методы практически позволяют определить лишь прочность поверхностного слоя и дают большую погрешность при неоднородности бетона по сечению.

Из физических методов контроля прочности бетона наибольшее применение нашел *ультразвуковой метод*, основанный на измерении скорости распространения ультразвуковых колебаний в бетоне. При постоянных составах бетона и условиях твердения, вида и качества заполнителей и цемента, степени уплотнения и влажности бетона изменение скорости распространения ультразвуковых колебаний

указывает на вполне определенное изменение прочности. Зависимость «прочность — скорость» ультразвука строится по данным параллельных механических и акустических испытаний контрольных образцов бетона.

Из других физических методов представляют интерес *вибрационные и радиометрические методы* контроля. Первые основаны на измерении частоты собственных колебаний железобетонных конструкций и определении характеристики их затухания, а вторые — на измерении степени ослабления  $\gamma$ -лучей, проходящих через испытываемое изделие.

Рост прочности бетона во времени в значительной степени определяется *температурно-влажностными условиями твердения*. При повышении температуры, как известно, ускоряется большинство химических процессов твердения, в том числе и процессы твердения цементного камня — основного структурного компонента бетона. Для нормального протекания этих процессов необходимо поддержание высокой влажности и предотвращение высушивания бетона.

Наиболее распространенным способом ускорения твердения бетона, обеспечивающим повышение температуры при сохранении высокой влажности, является *обработка паром* при температуре до 90°C. Реже применяют *электропрогрев, автоклавное твердение* и другие способы тепловой обработки.

При отрицательных температурах твердения бетона не происходит, что обусловлено замерзанием свободной воды и прекращением процесса гидратации цемента. При оттаивании твердение бетона возобновляется, однако вследствие ухудшения структуры в процессе замерзания снижаются прочность и другие строительные свойства материала. Из способов зимнего бетонирования в настоящее время наиболее широко распространены способы *термоса* и *электронагрева*. Применяют также способ *паропрогрева* и так называемые «*холодные бетоны*». Способ термоса используют при бетонировании массивных конструкций и он заключается в твердении за счет теплоты, выделяющейся при гидратации цемента и полученной при использовании подогретых компонентов. Для сохранения теплоты в бетоне его поверхность защищают теплоизоляционными материалами.

Благоприятные тепловлажностные условия для твердения бетона при отрицательных температурах создаются при *паропрогреве конструкций*. Паропрогрев осуществляют в паровых рубашках или камерах, а также при пропускании пара через трубы, закладываемые в бетоне. При электронагреве твердение бетона идет благодаря теплоте, выделяющейся в теле бетона при пропускании через него электрического тока или реже за счет теплопередачи от нагреваемой опалубки. Холодные бетоны обладают способностью твердеть при отрицательной температуре благодаря введению значительного количества *химических добавок*, снижающих температуру замерзания воды затворения. В качестве противоморозных добавок применяют

хлористые соли ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ), аммиачную воду,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , аммонийные соли и т. д. Концентрация безводных хлористых солей не должна превышать 7% от массы цемента или 15% от массы воды затворения.

Бетон с противоморозными добавками не рекомендуется применять в ответственных конструкциях, в конструкциях, предназначенных для эксплуатации во влажных условиях, при наличии реакционноспособного кремнезема в зернах заполнителя, а бетон с хлористыми солями — в железобетонных конструкциях.

К основным видам деформаций бетона относятся собственные деформации твердения — *усадка, набухание и деформации, вызванные внешними силами*. По физическому характеру развиваемые в бетоне деформации могут быть как *упругими*, так и *пластическими*. Усадка бетона вызывается физико-химическими процессами, происходящими в бетоне при твердении, и изменением его влажности.

Усадка цементного камня обычно колеблется от 3 до 5 мм/м. У бетонов она существенно ослабляется введением заполнителей и колеблется в основном от 0,2 до 0,4 мм/м к годовому возрасту. Величина усадки изменяется примерно пропорционально логарифму времени и особенно быстро растет в первые 28 сут. Величина усадки бетона зависит от его состава и свойств использованных материалов. Усадка увеличивается при повышении содержания цемента и воды, применении мелкозернистых и пористых заполнителей. Быстрое высыхание бетона приводит к значительной и неравномерной усадке (усадка поверхностных слоев материала выше) и может вызвать появление усадочных трещин.

При длительном нахождении бетона в воде его твердение сопровождается набуханием. Величина набухания значительно меньше, чем усадки, и не превышает для цементного камня 0,1%, а для бетона — 0,01...0,02%.

О деформативных свойствах бетона при приложении нагрузки судят по его *модулю деформации*, т. е. по отношению напряжения к относительной деформации, вызываемой его действием. Чем выше модуль деформации, тем меньше деформативен материал. Модуль деформации бетона зависит от его состава, возраста, свойств цемента и заполнителей и других факторов. Модуль деформации возрастает с повышением прочности бетона, увеличением его возраста, при применении прочных плотных заполнителей. Например, при возрастании прочности бетона от 10 до 30 МПа начальный модуль деформации увеличивается примерно от  $2,35 \cdot 10^4$  до  $3 \cdot 10^4$  МПа.

Под *морозостойкостью* бетона понимают его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание. Основной причиной, вызывающей разрушение бетона в этих условиях, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемое замерзающей водой. При замерзании вода увеличивается в объеме более чем на 9%; расширению воды препятствует твердый скелет бетона, в котором могут возникать очень высокие напряжения. Повторяемость замораживания

и оттаивания приводит к постепенному разупрочнению структуры бетона и его разрушению.

Морозостойкость бетона характеризуется наибольшим числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые способны выдержать образцы 28-суточного возраста без снижения прочности более чем на 15%. Испытание проводят в лабораторной морозильной камере при замораживании насыщенных водой образцов при  $-15^\circ\text{C}$  (основной способ) или  $-50^\circ\text{C}$  (ускоренный способ) с последующим оттаиванием в воде при температуре  $15 \dots 20^\circ\text{C}$ . Марка бетона по морозостойкости назначается в зависимости от климатических условий района строительства, с учетом особенностей эксплуатации конструкций. Для тяжелого гидротехнического бетона проектные марки бетона по морозостойкости: F50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500. Морозостойкость бетона определяется в первую очередь структурой его порового пространства. Она увеличивается с повышением отношения объема резервных пор, образованных в результате контракции и вовлечения эмульгированного воздуха с помощью добавок ПАВ.

Необходимая морозостойкость бетона достигается правильным выбором состава бетона. Для получения бетонов высокой плотности и морозостойкости необходимо стремиться к предельно возможному снижению водоцементного отношения и расхода воды (рис. 5.10), т. е. факторов, определяющих капиллярную пористость. Для обеспечения высокой морозостойкости бетона рекомендуется, чтобы В/Ц не превышало 0,5, а расход воды —  $160 \text{ л/м}^3$ .

Эффективным средством повышения морозостойкости является введение воздухововлекающих добавок. Они позволяют (см. рис. 5.10) наряду со снижением водоцементного отношения обеспечить образование мелких воздушных пор, в которые отжимается замерзающая вода из капилляров, и гидрофобизовать стенки капилляров. Воздухововлекающие добавки должны обеспечивать получение воздушных пор возможно меньшего размера, так как это способствует повышению морозостойкости бетона при наименьшем снижении его прочности вследствие воздухововлечения. Оптимальный объем вовлеченного воздуха обычно составляет 4...6% и определяется расходом цемента, воды и крупного заполнителя. Расход увеличивается

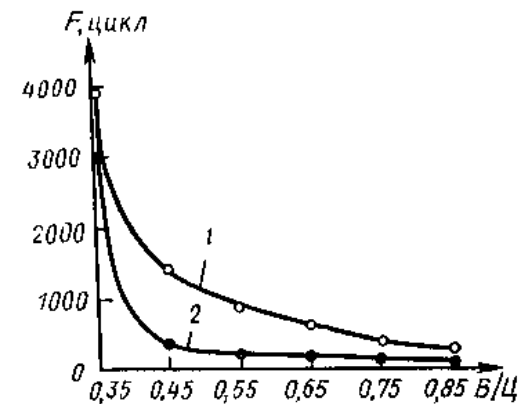


Рис. 5.10. Зависимость морозостойкости обычного бетона 1 и бетона с вовлеченным воздухом 2 от В/Ц

при понижении крупности заполнителя и повышении расхода цемента.

Водонепроницаемость бетона характеризуется наибольшим давлением, при котором не наблюдается просачивания воды через образцы. Для бетона конструкций толщиной 150 мм и более водонепроницаемость определяют на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 150 см. Для бетона тонкостенных конструкций мелиоративных сооружений водонепроницаемость рекомендуется определять на образцах-плитках размерами 10×10, 15×15 или 20×20 см и толщиной, равной толщине конструкций или гидроизолирующего слоя. Марка по водонепроницаемости назначается в зависимости от напорного градиента (отношение максимального напора воды к толщине конструкции). При напорном градиенте до 5 рекомендуется марка W4, от 5 до 10 — W6, от 10 до 12 — W8, от 12 и более — W12.

Высокая водонепроницаемость достигается снижением В/Ц, применением расширяющихся, пластифицированных и гидрофобных цементов, а также пуццоланового и шлакопортландцемента. При достаточной влажности среды водонепроницаемость существенно увеличивается по мере увеличения продолжительности твердения за счет уменьшения объема пор при гидратации цемента. Она возрастает в 2...3 раза от 28- к 90-суточному возрасту.

Большое значение для повышения непроницаемости бетона имеют его однородность и сохранение сплошности материала в процессе его твердения и эксплуатации. Появление микротрещин вследствие усадки бетона при действии нагрузки при переменном увлажнении и замораживании или высыхании и от действия других факторов может существенно повысить проницаемость бетона.

### § 5.5. Расчет состава бетона

Состав бетонной смеси выражают двумя способами:

1. В виде соотношения по массе (реже объемного, менее точного) между количествами цемента, песка и гравия (или щебня) с обязательным указанием водоцементного отношения и активности цемента. Количество цемента принимают за единицу, поэтому отношение между составными частями бетона имеет вид 1 : x : y при определенном В/Ц и  $R_{ц}$  (например, 1 : 2 : 4 по массе при В/Ц=0,6 и  $R_{ц}=40$  МПа). Устанавливать составы бетона по объему допустимо только на небольшом строительстве; при этом цемент всегда должен дозироваться по массе.

2. На крупных объектах и центральных бетонных заводах все материалы дозируются по массе, при этом состав бетона обозначают в виде расхода (кг) материала на 1 м<sup>3</sup> уложенной в уплотненной бетонной смеси, например:

Цемент	Песок	Щебень	Вода	Итого
280	700	1250	170	2400

Правильный расчет состава является одной из наиболее важных операций в технологии бетона. Различают два состава бетона: номинальный (лабораторный), устанавливаемый для сухих материалов, и производственный (полевой) — для материалов в естественно влажном состоянии.

При расчете состава бетона ставится задача — получить следующие показатели: прочность, равную проектной прочности или части ее, достаточную для распалубки, перевозки и частичной загрузки конструкций (обычно 70% проектной прочности); срок достижения полной или частичной прочности, соответствующей графику производства работ или изготовления конструкций; плотность, которая влияет на прочность бетона, на стойкость его по отношению к атмосферным и химическим воздействиям, на защиту арматуры от коррозии, сцепление с арматурой в железобетоне, водонепроницаемость; подвижность и жесткость бетонной смеси, обеспечивающие качественное изготовление данной конструкции (табл. 5.5); экономичность, в основном заключающуюся в возможно меньшем расходе цемента на единицу объема бетона.

Таблица 5.5. Требования к подвижности бетонной смеси

Конструкция	Способ укладки бетонной смеси		
	с вибрацией		без вибрации — осадка конуса, см
	осадка конуса, см	показатель жесткости, с	
Сборная железобетонная, на жестких смесях и немедленной распалубкой	0	10.30	—
Массивная неармированная с редко расположенной арматурой	2..4	5..10	3..6
Каркасная железобетонная (плиты, балки, колонны)	4..8	2..5	6..12
Железобетонная с густо расположенной арматурой (бункера, силосы и т. д.)	8..10	—	12..15

Для обеспечения долговечности конструкций установлен наименьший допустимый расход цемента на 1 м<sup>3</sup>, а именно: для бетона, уплотненного вибрированием, при крупности заполнителя 40 мм для подвижных смесей — 180 кг, для жестких — 150 кг. При уменьшении предельной крупности заполнителя до 20 и 10 мм минимальный расход соответственно увеличивают на 20 и 40 кг.

Прежде чем рассчитывать состав бетона, необходимо выбрать марку цемента и исследовать местные заполнители (песок, гравий, щебень), а также воду.

Для экономного расходования цемента желательно, чтобы его марка превышала заданную прочность бетона.



Прочность бетона, МПа	10	15	20	30	40	50
Марка цемента	300	400	400	500	600	600

Для расчета состава бетона необходимо: 1) вычислить водоцементное или цементно-водное отношение; 2) определить расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона; 3) найти расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона; 4) вычислить расход песка, крупного заполнителя и его отдельных фракций; 5) проверить на опыте подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси; внести необходимые поправки в расчет состава, если требуемые свойства бетонной смеси не достигнуты; 6) найти окончательный расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона; 7) изготовить бетонные образцы и испытать прочность бетона. На производстве необходимо, кроме того, пересчитать номинальный состав на полевой с учетом влажности заполнителей и затем определить расход материалов на один замес бетоносмесителя.

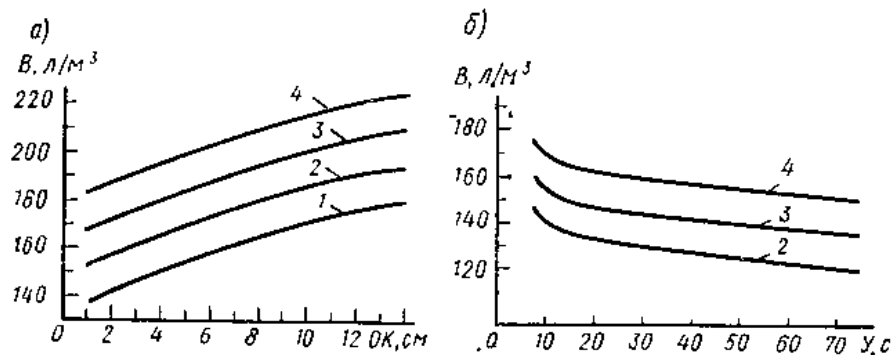


Рис 5.11 Графики водопотребности  $V$  пластичной (а) и жесткой (б) бетонной смеси, изготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности (водопотребность 7%) и гравия наибольшей крупности: 1 — 80 мм; 2 — 40 мм; 3 — 20 мм; 4 — 10 мм,  $U$  — удобоукладываемость (по способу Б. Г. Скрамтаева)

● **Водоцементное отношение** вычисляют по заданным марке и сроку твердения бетона, активности цемента и роду заполнителей на основании формул (5.2) и (5.3) или по опытам на месте работ. Если задан расчетный срок  $n$ , не равный 28 сут, то сначала вычисляют  $R_{28}$  по формуле (5.7) и затем из формулы (5.2) определяют водоцементное отношение.

● **Расход воды** на 1 м<sup>3</sup> бетона определяют по графику (рис. 5.11) в зависимости от требуемой подвижности или жесткости бетонной смеси, вида и крупности заполнителя.

● Зная  $V/C$  и  $V$ , находят **расход цемента** на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$C = V / (V/C) \text{ или } C = V \cdot C/V. \quad (5.8)$$

● Для определения **расхода песка и щебня** (гравия) составляют два уравнения. По первому уравнению сумма абсолютных объемов

всех составных частей бетона (в л) равна 1 м<sup>3</sup> (1000 л) готового уплотненного бетона, если в бетоне нет вовлеченного воздуха:

$$C/\rho_c + V + П/\rho_n + Ш/\rho_{ш} = 1000, \quad (5.9)$$

где  $C$ ,  $V$ ,  $П$ ,  $Ш$  — масса материалов, кг и 1 м<sup>3</sup> бетона;  $\rho_c$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_{ш}$  — истинные плотности материалов, кг/л.

По второму уравнению цементно-песчаный раствор должен заполнить все пустоты между щебнем (в рыхлом состоянии) с некоторой раздвижкой зерен:

$$C/\rho_c + V + П/\rho_n = П_{пц} \alpha Ш/\rho'_{ш}, \quad (5.10)$$

где  $П_{пц}$  — пустотность щебня;  $\alpha$  — коэффициент раздвижки зерен щебня;  $\rho_{ш}$  — плотность щебня.

Решая совместно эти два уравнения, получают формулы для определения количества щебня и песка в 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Ш = \frac{1000}{\alpha П_{пц}/\rho_{ш} + 1/\rho_{ш}}; \quad (5.11)$$

$$П = [1000 - (C/\rho_c + V + Ш/\rho_{ш})] \rho_n. \quad (5.12)$$

● Коэффициент раздвижки зерен щебня  $\alpha$  принимают для подвижной бетонной смеси по табл. 5.6.

Таблица 5.6 Значение коэффициента  $\alpha$  для подвижных бетонных смесей

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент $\alpha$ при $V/C$				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	1,30	1,36	1,42	—
350	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,40	1,46	—	—	—
500	1,5	1,56	—	—	—

Для жесткой бетонной смеси коэффициент  $\alpha$  принимают:

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	До 400	400. 500	500. 600
Коэффициент $\alpha$	1,05. 1,1	1,1. 1,2	1,2. 1,25

Коэффициент  $\alpha$  определяет соотношение между песком и щебнем в бетоне. При излишне высоких коэффициентах  $\alpha$  бетонная смесь содержит избыточное количество песка, обладает повышенной водопотребностью и соответственно требует большего расхода цемента. При слишком малых значениях  $\alpha$  в бетонной смеси будет недоста-

ток песка, что приведет к ее расслоению и снижению прочности бетона, ухудшению его морозостойкости и других свойств. Таким образом, правильный выбор коэффициента  $\alpha$  обеспечивает получение экономичного по расходу цемента прочного и плотного бетона.

Физический смысл изменения коэффициента  $\alpha$  заключается в следующем. В жесткой бетонной смеси при умеренных расходах цемента содержится относительно небольшое количество цементного теста высокой вязкости. Такая смесь хорошо удерживает воду, и опасность водоотделения и расслоения здесь отсутствует. Требуемая жесткость бетонной смеси обеспечивается при минимальной раздвижке зерен щебня раствором, при этом достигается возможный минимальный расход песка, а следовательно, наименьшие водопотребность бетонной смеси и расход цемента.

С увеличением количества воды для придания бетонной смеси большей подвижности объем цементного теста возрастает, а вязкость его понижается. Чтобы избежать водоотделения и расслоения бетонной смеси и обеспечить ее связанность, приходится увеличивать коэффициент  $\alpha$ , сохраняя и даже увеличивая (при высоких значениях В/Ц) соотношение между песком и щебнем, так как более высокая удельная поверхность песка, мелкие поры и капилляры между его частицами способствуют удержанию воды в жидком цементном тесте.

При применении для бетона щебня или гравия нескольких фракций вначале устанавливают оптимальное соотношение между ними, подбирая смесь с минимумом пустот.

Полученный расчетом состав бетона проверяют опытом в лаборатории и при необходимости корректируют способом последовательного приближения, как это показано ниже.

**Пример.** Задана средняя прочность бетона 30 МПа (300 кг/см<sup>2</sup>), подвижность бетонной смеси ОК=4 см. Требуется определить состав бетонной смеси, если применять материалы портландцемент М500; песок средней крупности с истинной плотностью 2,65 кг/дм<sup>3</sup>; гранитный щебень с предельной крупностью 40 мм, истинной плотностью 2,60 кг/дм<sup>3</sup> и плотностью 1,4 кг/дм<sup>3</sup>.

$$P_{щ} = (2,6 - 1,4) / 2,6 = 0,46.$$

Определяют Ц/В по формуле  $(5,2) \cdot 300 = 0,6 \cdot 600 (Ц/В - 0,5)$ ; Ц/В = 1,5.

По графику на рис 5.11 расход воды: В = 170 + 10 = 180 л.

Расход цемента: Ц = 180 · 1,5 = 270 кг/м<sup>3</sup>.

Необходимо, чтобы этот расход был не ниже минимально допускаемого по нормам, в данном случае 180 кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $\alpha$  в соответствии с табл. 5.7 по интерполяции принимают 1,35 (Ц = 270 кг/м<sup>3</sup>, В/Ц = 0,67).

Тогда расход щебня

$$Щ = \frac{1000}{0,46 \cdot 1,35 / 1,40 + 1 / 2,60} = 1210 \text{ кг};$$

расход песка

$$П = \left[ 1000 - \left( \frac{270}{3,1} + 180 + \frac{1210}{2,6} \right) \right] 2,65 = 710 \text{ кг}.$$

Плотность бетонной смеси

$$P_{б.см} = 170 + 180 + 710 + 1210 = 2370 \text{ кг}.$$

Изготавливают пробную порцию бетонной массы и определяют осадку конуса. Из-за особенностей данного цемента и местных заполнителей осадка конуса может отличаться от заданной. Предположим, что она оказалась 1 см. Это говорит о том, что бетонная смесь недостаточно подвижна. Для повышения подвижности и удобоукладываемости увеличивают в данном замесе расход цемента примерно на 10%, т. е. до 300 кг на 1 м<sup>3</sup>, одновременно прибавляют 10% воды, чтобы не изменить В/Ц; снова перемешивают бетонную смесь, измеряют осадку конуса (жесткость) до тех пор, пока не получат требуемые показатели.

Реже бывают случаи, когда бетонную смесь получают слишком подвижной. Тогда необходимо добавить небольшое количество песка и крупного заполнителя. После этого уточняют состав бетона, так как первоначальный объем порции бетонной смеси увеличивается и расчет не будет соответствовать 1 м<sup>3</sup> бетона.

Для проверки правильности расчета после изготовления окончательного замеса необходимо уложить бетон на виброплощадке в 10-литровую форму и определить плотность бетонной смеси. При плотно уложенной бетонной смеси плотность должна совпадать с расчетной; допускаемое отклонение  $\pm 2\%$ . Кроме того, нужно изготовить образцы бетона для проверки прочности в заданные сроки (обычно 7 и 28 сут).

Лабораторный состав бетона, полученный для сухих заполнителей, пересчитывают на рабочий с учетом влажности материалов. Для этого, зная расход заполнителей и их влажность, находят количество воды, содержащейся в песке и щебне, и вычитают его из необходимого общего объема воды, найденного расчетом. Для сохранения неизменной плотности бетонной смеси соответственно увеличивают количество влажного песка и щебня. Объем бетонной смеси всегда меньше, чем сумма насыпных объемов исходных сухих материалов.

● **Коэффициент выхода бетона** — это отношение объема полученной бетонной смеси в уплотненном состоянии к суммарному объему сухих исходных компонентов:

$$\beta = 1000 / (Ц / \rho'_{ц} + П / \rho'_{п} + Щ / \rho'_{щ}), \quad (5.13)$$

где  $\rho'_{ц}$ ,  $\rho'_{п}$  и  $\rho'_{щ}$  — насыпная плотность цемента, песка и щебня (гравия), кг/л.

Для крупнозернистых бетонов  $\beta = 0, \dots, 0,7$ , для мелкозернистых —  $\beta = 0,7 \dots 0,8$ .

Коэффициент выхода бетонной смеси учитывают при расчете расхода материалов на замес бетоносмесителя, если емкость последнего указана по объему сыпучих материалов. Например, расход цемента в этом случае рассчитывают по формуле

$$Ц_з = Ц \beta V_6 / 1000,$$

где  $V_6$  — объем бетоносмесителя, л.

Аналогично рассчитывают расходы и других материалов.

● **Высокопрочные быстротвердеющие бетоны** — это бетоны с пределом прочности при сжатии не менее 50 МПа. Прочность этих бетонов равна или выше активности исходного цемента. Основными условиями получения высокопрочных бетонов являются применение низких водоцементных отношений (0,25...0,40) и использование эффективных добавок пластификаторов, в частности суперпластификаторов. Способствует повышению прочности бетона также максимально возможное насыщение его крупным заполнителем за счет подбора оптимального зернового состава и уменьшения доли песка. Прочность крупного заполнителя должна быть в 1,5 раза выше проектируемой марки бетона. Для обеспечения высокой адгезии цементного теста к заполнителям важно обеспечить отсутствие пылевидных и других вредных включений. При выполнении необходимых технологических условий прочность цементного бетона может быть повышена до 80...100 МПа. Применение высокопрочного бетона способствует уменьшению массы конструкции.

Высокопрочные бетоны одновременно являются и быстротвердеющими, что позволяет значительно сократить длительность тепловлажностной обработки или вовсе отказаться от нее. Эти бетоны отличаются высокой плотностью и являются более долговечными и стойкими к агрессивным и атмосферным воздействиям, что увеличивает срок службы конструкций и позволяет применять их в тяжелых условиях эксплуатации.

● **Мелкозернистые бетоны** — это бетоны с наибольшей крупностью заполнителей 10 мм. Более высокая, чем в обычном бетоне, удельная поверхность заполнителей и межзерновая пустотность вызывают потребность в большем расходе цементного теста. Вместе с тем мелкозернистые бетоны имеют более однородное строение, чем крупнозернистые, и большую прочность при растяжении.

● **Армоцемент** является разновидностью мелкозернистого бетона. Он представляет собой бетон с максимальной крупностью заполнителя 2,5...3 мм, армированный по всему сечению тканями металлическими сетками. Этот материал обладает высокой несущей способностью и используется в тонкостенных пространственных конструкциях сложной конфигурации.

Повышенное содержание в мелкозернистых бетонах цементного теста является причиной их более значительных усадочных деформаций и ползучести. Модуль упругости у мелкозернистых бетонов ниже, чем у обычных. При уплотнении мелкозернистых бетонов вовлекается большое количество воздуха, удаление которого затруднено вследствие значительной структурной вязкости мелкозернистых смесей.

В мелкозернистых бетонах имеет особенно важное значение сцепление между цементным камнем и заполнителем. Для них желательно применять обогащенный песок или песок в виде плотной

смеси из нескольких фракций. Для получения высокопрочных и морозостойких бетонов из умеренно жестких мелкозернистых смесей эффективно применение соответствующих химических и молотых добавок, интенсивных способов перемешивания и уплотнения бетонной смеси.

● **Жаростойкие бетоны** — это бетоны, способные длительно выдерживать нагревание до температуры свыше 1000°C. В процессе нагревания обычного бетона при температуре более 100°C происходит постепенное снижение прочности сначала (150...400°C) из-за дегидратации алюминатов кальция, а затем (400...600°C) в результате дегидратации гидроксида кальция. Образцы, прогретые до 600...900°C, разрушаются при последующем выдерживании их в воздушно-сухих условиях вследствие вторичной гидратации оксида кальция. В связи с этим обычный тяжелый цементный бетон применяют для изготовления строительных конструкций, подвергающихся длительному воздействию температур лишь до 200°C. При более высоких рабочих температурах (200...1800°C) используют жаростойкие бетоны.

Жаростойкие бетоны различают в зависимости от огнеупорности, вида применяемого вяжущего и плотности. При огнеупорности ниже 1600°C бетоны называют жароупорными, от 1600...1800°C — огнеупорными и свыше 1800°C — высокоогнеупорными.

В качестве вяжущих веществ в жаростойких бетонах применяют портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент, фосфатное вяжущее и жидкое стекло. Для улучшения структуры цементного камня и сохранения прочности в вяжущее вводят минеральные добавки (хромитовую руду, бой шамотного, магнезитового или обычного кирпича, андезит, пемзу, лёссовидный суглинок, гранулированный доменный шлак, топливный шлак и золу-унос). Тонкость помола добавок должна быть такой, чтобы через сито № 009 проходило не менее 70% добавок для бетонов на портландцементе и не менее 50% для бетонов на жидком стекле.

В качестве мелкого и крупного заполнителей в жаростойких бетонах применяют следующие дробленые материалы: хромитовую руду, бой магнезитового, шамотного и обыкновенного керамического кирпича, кусковой шамот, доменный отвальный шлак, базальт, диабаз, андезит, арктический туф. Для получения бетонов высокой огнеупорности применяют магнезитовые, хромитовые, корундовые и другие заполнители.

Выбор вида жаростойкого бетона производят на основании тщательного анализа конкретных условий службы материалов в тепловом агрегате. При этом стремятся обеспечить максимально возможную марку бетона за счет наименьшего водоцементного отношения.

Оптимальный расход вяжущего устанавливают из условия получения наибольшей прочности и огнеупорности при допустимой огневой усадке.

Жаростойкие бетоны позволяют возводить тепловые агрегаты индустриальными методами и повышать долговечность сооружений.

● **Бетоны для защиты от радиоактивных излучений** применяют в качестве защитных экранов ядерных реакторов. Из всех радиоактивных излучений наибольшей проникающей способностью обладают  $\gamma$ -лучи и нейтроны. Способность материала поглощать  $\gamma$ -лучи пропорциональна его плотности. Для ослабления потока нейтронов в материале, наоборот, должны присутствовать элементы с малой атомной плотностью, как, например, водород. Бетон является эффективным материалом для биологической защиты ядерных реакторов, поскольку в нем удачно сочетаются при сравнительно низкой стоимости высокая плотность и содержание определенного количества водорода в химически связанной воде. Для уменьшения толщины защитных экранов при возведении атомных электростанций и предприятий по производству изотопов наряду с обычными применяют особо тяжелые бетоны с плотностью 2500 ... 7000 кг/м<sup>3</sup> и гидратные бетоны с высоким содержанием химически связанной воды.

Для особо тяжелых бетонов применяют портландцемент, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый цемент. В гидратных бетонах для максимального увеличения содержания в бетоне связанной воды рекомендуется использовать глиноземистый цемент. В качестве заполнителей в особо тяжелых бетонах применяют материалы с высокой плотностью: магнетит, гематит, барит, металлический скрап и т. д.; в гидратных бетонах — лимонит и серпентит.

Для улучшения защитных свойств особо тяжелых бетонов от нейтронного потока в них вводят добавки, содержащие легкие элементы, например карбид бора, хлористый литий, сернистый кадмий и др.

Кроме защиты от радиации бетон, применяемый в защитных экранах ядерных реакторов, должен обладать и другими свойствами: повышенной температуростойкостью, высокой теплопроводностью, низкими значениями усадки, коэффициента термического расширения и ползучести.

● **Бетонополимеры** — это бетоны, поры которых заполнены полимером или другим твердым веществом. Существенным недостатком обычных бетонов является наличие разветвленной сети пор, капилляров, различных микродефектов, образующихся при формировании бетонных и железобетонных изделий, в процессе их твердения и эксплуатации. Дефекты и поры понижают прочность бетона, а также его долговечность и стойкость к воздействию агрессивных сред, так как открывают последним доступ внутрь бетона.

Свойства бетона можно изменить, если поры и капилляры заполнить другим веществом. Для этого готовые бетонные или железобетонные изделия или конструкции подвергают специальной обработке. Эта обработка включает сушку изделий, вакуумирование, про-

питку специальным составом и полимеризацию, если для пропитки используют мономеры. Окончательные свойства материала будут зависеть как от свойств обрабатываемого бетона и применяемого для заполнения пор вещества или состава, так и от технологии обработки.

Увеличения долговечности и непроницаемости бетона достигают, если его пропитывают вязкими составами без их последующей полимеризации и упрочнения, например битумами; новые материалы, по свойствам значительно превосходящие бетон, получают, если его пропитывают мономером с последующей его полимеризацией в теле бетона.

Прочность бетонополимера при сжатии по сравнению с исходным контрольным бетоном повышается в 2 ... 10 раз и может достигать 200 МПа. Прочность бетонополимера возрастает с увеличением содержания полимера в бетоне. Прочность бетонополимера при растяжении по сравнению с исходным бетоном увеличивается в 3 ... 10 раз, достигая 18 МПа.

Введение полимера в бетон удорожает материал, поэтому применение бетонополимера должно обосновываться технико-экономическим расчетом.

● **Полимерцементные бетоны** — это цементные бетоны с добавками различных высокомолекулярных органических соединений в виде водных дисперсий полимеров: винилацетата, винилхлорида, стирола, латексов или водорастворимых коллоидов: поливинилового и фурилового спиртов, эпоксидных водорастворимых смол, полиамидных и мочевиноформальдегидных смол. Добавки вводят в бетонную смесь при ее приготовлении.

Полимерцементные бетоны характеризуются наличием двух активных составляющих: минерального вяжущего и органического вещества. Вяжущее вещество с водой образует цементный камень, склеивающий частицы заполнителя в монолит. Полимер по мере удаления воды из бетона образует на поверхности пор, капилляров, зерен цемента и заполнителя тонкую пленку, которая обладает хорошей адгезией и способствует повышению сцепления между заполнителем и цементным камнем, улучшает монолитность бетона и работу минерального скелета под нагрузкой. В результате полимерцементный бетон приобретает особые свойства: повышенную по сравнению с обычным бетоном прочность при растяжении и изгибе, более высокую морозостойкость, хорошие адгезионные свойства, высокую износостойкость, непроницаемость. В то же время полимерная составляющая определяет и другие особенности полимерцементного бетона: несколько повышенную деформативность, снижение прочности при водном хранении.

Наиболее распространенными добавками полимеров в цементные бетоны являются поливинилацетат (ПВА), латексы и водорастворимые смолы.

Основным фактором, определяющим влияние добавки на свой-

ства полимерцементного бетона, является полимерцементное отношение. Обычно оно составляет 0,15... 20. При применении латекса, чтобы не было коагуляции полимера, вводят стабилизатор (казеинат аммония, соду и др.).

Полимерцементные бетоны готовят по той же технологии, что и обычный цементный бетон. Наиболее целесообразно применять эти бетоны для тех конструкций и изделий, где можно использовать особенности их свойств, например для полов, дорог, отделочных составов, коррозионно-стойких покрытий.

● **Бетон для дорожных покрытий** работает на изгиб, как плита на упорном основании. Поэтому бетон должен иметь требуемую прочность при изгибе, а также достаточные прочность на сжатие и морозостойкость. В зависимости от класса дорог и строения дорожного покрытия прочность бетона при изгибе составляет 3,5... 5,5 МПа, а прочность при сжатии — 25... 50 МПа. Для оснований усовершенствованных капитальных покрытий применяют бетоны с прочностью при изгибе 2... 3,5 МПа и при сжатии 10... 25 МПа.

Марки бетона по морозостойкости назначают в соответствии с климатическими условиями района строительства. Для верхнего слоя двухслойных покрытий и однослойных дорог применяют бетон с морозостойкостью F100 при среднемесячной температуре воздуха наиболее холодного месяца не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , F150 при температуре  $-10... -20^{\circ}\text{C}$  и F200 при среднемесячной температуре ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для оснований применяют бетон с морозостойкостью F50 или (при температуре меньше  $-10^{\circ}\text{C}$ ) с ненормируемым показателем по морозостойкости.

Для обеспечения стойкости бетона против совместного действия замораживания и хлористых солей, применяемых для борьбы с гололедом, для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий принимают водоцементное отношение не более 0,5, для нижнего слоя — не более 0,6, для оснований — не более 0,75.

Для повышения морозостойкости бетона и удобоукладываемости бетонной смеси в нее вводят суперпластификаторы или пластификаторы в сочетании с воздухововлекающими добавками. Расход добавок должен быть таким, чтобы обеспечить вовлечение в бетонную смесь 4... 6% воздуха по объему.

На производстве используют бетонные смеси различной консистенции: литые смеси с суперпластификаторами, значительно повышающие производительность бетонирования; для основания жесткие смеси с пониженным содержанием цемента, уплотняемые укаткой; для бетоноукладочных машин пластичные смеси с осадкой конуса 1... 2 см. Для повышения связанности смеси несколько увеличивают содержание песка в составе бетона.

● **Декоративный бетон** готовят, используя белые и цветные цементы и специальные заполнители. В зависимости от состава и назначения декоративные бетоны можно подразделить на цветные и бетоны, имитирующие природные камни или сами по себе обладаю-

щие особо выразительной структурой. При необходимости поверхность бетона подвергают специальной обработке, чтобы получить особую декоративную фактуру, или формируют изделия с рельефной поверхностью.

Для получения цветных бетонов применяют белые и цветные цементы и различные минеральные и органические пигменты. Пигменты должны обладать высокой свето-, атмосферо- и щелочестойкостью. Наиболее часто используют минеральные пигменты, которые в большинстве своем являются оксидами или солями различных металлов. Эти пигменты вводят в количестве 1... 5% от массы цемента в зависимости от их укрывистости, плотности и других свойств.

Для формирования изделий из цветных бетонов используют пластичные, достаточно жирные, как правило, мелкозернистые бетонные смеси, которые хорошо формируются и менее подвержены расслоению. Для повышения долговечности изделий и борьбы с высоломи, которые могут появляться на поверхности цветных бетонов в период их эксплуатации в результате сложных физико-химических процессов и попеременного увлажнения и высыхания, совместно с пластификаторами и суперпластификаторами в цветные бетоны добавляют гидрофобизаторы и тонкомолотые добавки, способствующие связыванию гидроксида кальция, выделяющегося при твердении цемента. Для уменьшения расслоения и повышения равномерности окраски используют воздухововлекающие добавки, а также вводят в небольших количествах жирную известь, тонкомолотый известняк и другие тонкодисперсные добавки. В качестве мелкого заполнителя используют чистые кварцевые пески и отходы камнедробления (высевки мрамора, гранита, туфа и др.). При необходимости выявить структуру бетона его поверхность подвергают шлифовке и полировке. В этом случае используют легкополирующиеся заполнители, например мрамор. Для изготовления изделий со вскрытой структурой заполнителя на поверхность бетона или формы наносят специальные составы, проникающие в поверхностный слой и замедляющие твердение цементного камня. После затвердевания основной массы изделия поверхностный слой легко удаляется с помощью водо- или пескоструйной обработки или жесткими стальными щетками.

Декоративные бетоны применяют для различных строительных конструкций: ограждающих конструкций зданий, полов, декоративных элементов фасада, в изделиях малых архитектурных форм, для барельефов и скульптуры и др. При изготовлении изделий с использованием декоративных бетонов в целях экономии цветного цемента и пигментов часто применяют сложные конструкции, в которых лицевой слой выполняется из цветного бетона, а основные несущие слои — из обычного бетона. Иногда детали из декоративного бетона сочетают с другими материалами: камнем, эмалированной сталью, керамикой, декоративными стекломатериалами.

● **Фибробетоном** называют бетон, армированный дисперсными волокнами (фибрами). Фибробетон обладает повышенной трещиностойкостью, прочностью на растяжение, ударной вязкостью. Изделия из этого бетона в ряде случаев можно изготавливать без армирования сетками и каркасами, что упрощает технологию и снижает ее трудоемкость.

Для армирования применяют различные металлические и неметаллические волокна. Металлические фибры имеют диаметр 0,1...0,5 мм и длину 10...50 мм. Из неметаллических волокон могут применяться стеклянные, базальтовые, полимерные и угольные волокна. Стеклянные волокна имеют диаметр от нескольких микрометров до долей миллиметра, длину до 10...20 мм, обладают высокой прочностью на растяжение (1500...3000 МПа). Однако обычные стеклянные волокна постепенно разрушаются под действием щелочной среды твердеющего цементного камня и требуется применение особых мероприятий, предохраняющих изделие от коррозии (глиноземистый цемент, пропитка полимерами, добавка в бетон и др.). Для полимерных фибр используют специальные материалы с повышенным модулем упругости, чаще эти волокна применяют в гипсовых и других низкомолекулярных бетонах.

Стальные фибры вводят в бетонную смесь в количестве 1...2,5%, стеклянные — 1...4% от объема бетона. Это обеспечивает повышение прочности бетона при растяжении на 10...30%. Фибры вводят, как правило, в мелкозернистые бетоны. Для приготовления фибробетона применяют специальные технологические регламенты и даже иногда особые смесители, так как фибробетонная смесь при небрежном приготовлении склонна к комкованию и образованию «ежей» из фибр, что резко ухудшает условия формирования изделий и качество фибробетона. В некоторых случаях при изготовлении тонкостенных конструкций используют одновременный набрызг волокон и мелкозернистой бетонной смеси.

● **В многокомпонентные бетоны** наряду с цементом и заполнителем входят пластифицирующие и тонкомолотые добавки. В последнее время в строительстве расширяется применение многокомпонентных бетонов, так как они дают значительную экономию цементного клинкера.

Пластификаторы и особенно суперпластификаторы позволяют снизить расход цемента. Эффективность этого приема возрастает, если одновременно повышают дисперсность цемента путем дополнительного помола. Однако для обеспечения плотности и долговечности бетона цементное тесто должно полностью заполнять пустоты между заполнителем и его содержание не должно быть менее приблизительно 200 кг/м<sup>3</sup>. Для обеспечения прочности в бетонах низких и средних марок часто достаточно бывает 120...160 кг/м<sup>3</sup>. Поэтому целесообразно обеспечивать плотность не за счет дополнительного расхода цемента, а за счет введения в бетон различных тонкомолотых добавок: молотого шлака, песка, золы и др.

Введение пластификаторов и тонкомолотых добавок может осуществляться на цементных заводах, где приготавливают специальные смешанные цементы: ВНВ (вяжущие низкой водопотребности) и ТМЦ (тонкомолотые цементы). Эти цементы имеют повышенную удельную поверхность (около 4000...4500 см<sup>2</sup>/г) и содержат разное количество тонкомолотых добавок. В ВНВ одновременно вводят суперпластификаторы, в результате нормальная густота цемента снижается до 17...18% вместо 26...28%, как у обычного цемента.

При необходимости домол цемента с минеральными добавками и введение пластификаторов могут осуществляться непосредственно на заводах железобетонных изделий. В этом случае наряду с сухим домолом может применяться мокрая активация в специальных аппаратах.

При применении в бетоне суперпластификаторов прямая зависимость  $R_b = f(C/V)$  сохраняется до значений  $C/V = 4$  (в обычных бетонах до 2,5), что позволяет готовить высокопрочные бетоны при низких водоцементных отношениях. ВНВ и ТМЦ позволяют получать в производственных условиях бетоны прочностью до 100 МПа и выше и изготавливать на их основе эффективные конструкции пониженной материалоемкости.

Количество вводимых в состав бетона пластификаторов и тонкомолотых добавок определяется требованиями к бетону и качеством исходного цемента. В ряде случаев применение многокомпонентных бетонов позволяет экономить до 30...50% цементного клинкера.

?

1. Чем обусловлено широкое распространение бетона и железобетона?
2. Каковы основные разновидности бетонов?
3. Перечислите компоненты бетонной смеси и охарактеризуйте роль каждого из них.
4. Сравните возможности работы в бетоне щебня и гравия.
5. В каких случаях рекомендуется использование гравитационных бетоносмесителей?
6. Охарактеризуйте макро- и мезоструктуру бетона.
7. Как повысить морозостойкость бетона?
8. Назовите основные разновидности бетонов на плотных заполнителях.



## § 6.1. Общие сведения

● К легким относятся все виды бетонов, имеющие среднюю плотность в воздушно-сухом состоянии менее  $1800 \text{ кг/м}^3$ . В настоящее время легкие бетоны относятся к основным материалам индустриального строительства. Применение их позволяет уменьшить толщину и массу строительных конструкций, укрупнить монтируемые элементы, снизить трудоемкость строительства и сроки возведения сооружений. Подсчитано, что при уменьшении массы бетона на каждые 10% стоимость конструкции снижается примерно на 3%. Применение легких бетонов позволяет уменьшить стоимость строительства в среднем на 5%, а в некоторых районах на 30...40%.

● Легкие бетоны классифицируют в зависимости от структуры, вида вяжущего, пористости и заполнителей, области применения.

Различают *плотные* и *поризованные легкие бетоны*, в которых межзерновая пустотность крупного заполнителя полностью заполнена обычным или поризованным раствором; *малопесчаные бетоны* — с частичным заполнителем межзерновых пустот крупного заполнителя и *беспесчаные (крупнопористые) бетоны*, изготавливаемые без мелкого заполнителя. Особой разновидностью легких бетонов являются *ячеистые бетоны*, имеющие равномерно распределенные поры в виде сферических ячеек, диаметр которых составляет обычно 1...3 мм.

Легкие бетоны производят как на *минеральных*, так и *органических вяжущих материалах*. Из минеральных вяжущих широко применяют цементы, вяжущие автоклавного твердения (на их основе изготавливают силикатные бетоны), гипсовые вяжущие.

*Заполнители* легких бетонов, так же как и вяжущие, могут иметь *минеральное* или *органическое происхождение*. В строительной практике более распространены легкие бетоны с применением *природных* или *искусственных пористых минеральных заполнителей*. Разновидностями легких бетонов на природных заполнителях являются *пемзобетон*, *туфобетоны*, *опокобетоны* и др., на искусственных пористых заполнителях — *керамзитобетоны*, *аглопоритобетоны*, *шлакопемзобетоны*, *золобетоны* и др. Для производства легких бетонов возможно применение одновременно различных видов пористых заполнителей. Так получают керамзитоперлитобетон, керамзитоввермикулитобетон и др. (в названии бетона сначала отражается вид крупного заполнителя, а затем мелкого).

Разновидностями легких бетонов на органических заполнителях являются *арболит*, *опилкобетоны*, изготавливаемые с применением продуктов переработки древесины и другого растительного сырья, *бетон на пенополистирольных заполнителях* и др.

По назначению легкие бетоны подразделяют на *теплоизоляционные* (особо легкие) со средней плотностью не более  $500 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью, не превышающей  $0,17 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ; *конструктивно-теплоизоляционные* с плотностью  $500 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью  $0,23 \dots 0,64 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , а также *конструктивные* с плотностью  $1400 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$ . Прочность теплоизоляционных легких бетонов на сжатие обычно не превышает 1,5 МПа, конструктивно-теплоизоляционных — 2,5...10 МПа и конструктивных — 15...50 МПа. Наибольший объем выпускаемых легких бетонов приходится на долю конструктивно-теплоизоляционных.

Выделяют также специальные легкие бетоны, к которым предъявляют особые требования, обусловленные условиями их эксплуатации: *жаростойкие*, *дорожные*, *гидротехнические*, *химические стойкие* и т. д.

Из легких бетонов изготавливают разнообразные конструкции. Из конструктивно-теплоизоляционного бетона делают панели и блоки стен зданий, плиты совмещенных кровель и другие конструкции. Стеновые панели выпускают с наружными (фасадными) поверхностями, не требующими дополнительной отделки в построечных условиях. Отделку панелей плитками, декоративным бетоном, окраской производят непосредственно на заводе. Из конструкционного легкого бетона изготавливают несущие конструкции: плиты перекрытий и покрытий, другие элементы жилых и общественных зданий. Используют легкобетонные конструкции и изделия в различных областях строительства: для мостовых конструкций — в транспортном строительстве, в элеваторостроении и элементах животноводческих помещений; для дренажных труб — в водохозяйственном строительстве; для ряда конструкций промышленных зданий.

## § 6.2. Пористые заполнители

Ведущая роль в формировании свойств и структурных особенностей легких бетонов принадлежит пористым заполнителям.

● **Пористые заполнители** в виде щебня или гравия характеризуются насыпной плотностью не более  $1000 \text{ кг/м}^3$  и песка — не более  $1200 \text{ кг/м}^3$ .

При классификации пористых заполнителей различают *пористые природные заполнители вулканические* и *осадочные*, а также *искусственные* — специально изготовленные и твердые отходы промышленности. В группу заполнителей вулканического происхождения входят щебень и песок из пемзы, вулканического шлака, туфа и туфовых лав. К *заполнителям осадочного происхождения* относятся

пористые известняки и известковые туфы, опока, трепел, диатомиты. В качестве пористых заполнителей могут служить разнообразные отходы промышленности: топливные и металлургические шлаки, зола-унос и золошлаковые смеси и т. д.

Специально изготовленными пористыми заполнителями являются *керамзит* и его разновидности (шунгизит, зольный гравий, глинозольный керамзит и др.), *аглопорит*, *шлаковая пемза*, *гранулированный шлак*, *вспученный перлит* и *вермикулит*. Их специально получают в виде гравия, щебня и песка в результате термической обработки глинистого, зольного, шлакового и другого минерально-го сырья.

Таблица 61. Основные свойства пористых заполнителей

Наименование показателей	Керамзит и его разновидности	Аглопоритовый щебень	Шлаковая пемза	Вспученный перлитовый щебень
Насыпная плотность отдельных фракций, кг/м <sup>3</sup> : гравия (щебня)	185..850	370..750	475..900	360..520
песка	430..1100	750..900	500..1400	60..300
Плотность зерен, г/см <sup>3</sup>	0,31..1,54	1,04..1,69	1,0..1,8	0,7..1,0
Прочность (в цилиндре), МПа	0,3..6	0,7..1,5	0,4..2,6	0,9..1,0
Объем межзерновых пустот, %	40..49	48..56	50..63	47..48
Плотность легкого бетона, кг/м <sup>3</sup>	900..1300	1300..1450	1400..1800	900..1000

В результате выделения газообразных продуктов за счет выгорания органических примесей и добавок, парообразования или других процессов происходит вспучивание минерального сырья при обжиге. При этом в процессе обжига его значительная часть переходит в расплав, который должен иметь определенную вязкость для удерживания газообразных продуктов. Технологический процесс получения искусственных пористых заполнителей включает подготовку исходного сырья, его термическую обработку, дробление и сортировку.

Важнейшими показателями свойств пористых заполнителей является насыпная плотность, плотность и прочность зерен, зерновой состав, водопоглощение, деформативность, морозостойкость, стойкость против распада, теплопроводность. Значения некоторых основных свойств распространенных пористых заполнителей приведены в табл. 6.1.

Наиболее широко в легких бетонах применяют крупный пористый заполнитель фракции 10...20 мм, а также возможно использование фракций 5...10 и 20...40 мм. Объем межзерновых пустот уменьшается по мере приближения к единице коэффициента формы

заполнителя — отношения наибольшего размера зерна к наименьшему. Для гравия объем межзерновых пустот меньше, чем для щебня.

Водопоглощение заполнителя зависит как от величины общей пористости, так и от структуры порового пространства; значительно снижает водопоглощение наличие на поверхности зерен оплавленной корочки. Для керамзитового гравия, имеющего такую корочку, объемное водопоглощение почти в 2 раза ниже, чем для щебня, который такой корочки не имеет.

Прочность пористых заполнителей определяют сдавливанием зерен в цилиндре стальным пуансоном на заданную глубину. При этом находят величину напряжения, которая и принимается в качестве показателя условной прочности. Однако этот показатель зависит от формы зерен и пустотности смеси, поэтому применяют специальные коэффициенты для перевода условной прочности заполнителя к действительной прочности заполнителя, характеризующей его марку. Для пористых заполнителей установлено 11 марок по прочности: П25, П35, П50, П75, П100, П125, П150, П200, П250, П300 и П350.

Модуль упругости пористых заполнителей значительно ниже, чем плотных. Это обуславливает одну из более существенных особенностей легких бетонов — их повышенную деформативность.

● **Керамзит** занимает первое место по объему производства из всех искусственных пористых заполнителей. Для его изготовления наиболее пригодны легкоплавкие глинистые породы, характеризующиеся способностью вспучиваться при обжиге. Химический состав этих пород находится в следующих пределах: 50...55% SiO<sub>2</sub>, 15...25% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 3% CaO, до 4% MgO, 6,5...10% (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO), 3,5...5% (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O). В них не должно содержаться более 30% песчаных и пылеватых частиц, а также карбонатных частиц крупнее 0,2 мм, гилса и более 1...2% тонкодисперсных органических примесей. В качестве сырья для производства керамзита применяют также золу ТЭС или золошлаковую смесь.

Керамзитовое сырье должно иметь коэффициент вспучиваемости (отношение объема вспученной к объему сырьевой гранулы) не менее 2, температуру обжига не выше 1250°C, интервал вспучивания не менее 50°C.

Различают *сухой*, *пластический* и *мокрый* способы производства *керамзита*. Сухой способ применяют при использовании камнеподобного глинистого сырья (сланца, шунгита, аргиллита и др.), мокрый — хорошо размокаемого сырья, разводимого до влажности пульпы около 50%.

Наибольшее распространение получил пластический способ (рис. 6.1), при котором из рыхлого глинистого сырья после предварительной переработки до состояния пластичной массы формируются гранулы влажностью до 20%, последние после подсушки или сразу направляют во вращающуюся печь. Для улучшения свойств керамзи-

та в глиняную массу иногда вводят железистые и органические добавки. Гранулы направляют во вращающиеся печи, где сначала постепенно нагревают до 200...600°C, а затем быстро поднимают температуру до 1400°C. После обжига керамзит охлаждается, фракционируется и поступает на склад готовой продукции.

Керамзитовый гравий выпускают первой и высшей категории качества десятки марок по насыпной плотности: 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800. Каждой марке по плотности соответствует определенная марка керамзита по прочности. Заполнитель не должен содержать известковых и других включений, обусловли-

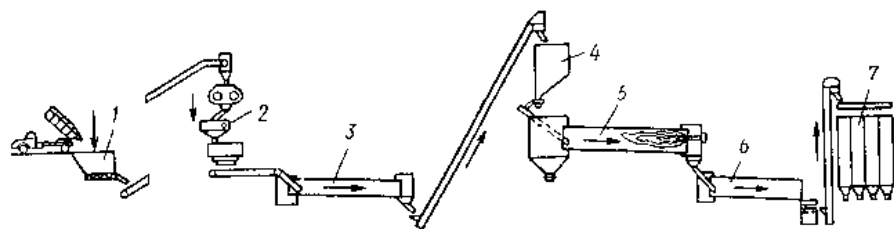


Рис. 6.1. Технологическая схема пластического способа производства керамзитового гравия:

1 — питатель, 2 — глиноперерабатывающий агрегат; 3 — сушильный барабан; 4 — бункер печи, 5 — вращающаяся печь, 6 — холодильник, 7 — бункера гравия

вающих потерю в массе пробы при кипячении более 5%, должен выдержать не менее 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания с потерей массы не более 8% (для гравия высшей категории качества 5%). Среднее значение коэффициента формы заполнителя для керамзита должно быть 1,5. Водопоглощение за 1 ч для керамзита с плотностью до 400 кг/м<sup>3</sup> должно составлять не более 25%, 450...600 кг/м<sup>3</sup> — 20%, 700...800 кг/м<sup>3</sup> — 15%. Для гравия высшей категории качества нормируется коэффициент вариации по насыпной плотности и прочности соответственно 5 и 15% за 12 предыдущих месяцев.

● **Аглопорит** получают в виде щебня спеканием малопластичных глинистых пород, которые при обжиге не вспучиваются, или промышленных отходов добычи и обогащения углей, топливных шлаков и золы ТЭС. В шихту для производства аглопорита вводят топливную добавку — каменный уголь. Содержание топлива в шихте может колебаться от 6 до 12%. При подготовке шихты сырье дробят, смешивают, увлажняют и гранулируют. Зерновой состав шихты должен обеспечивать ее оптимальную газопроницаемость.

Основная технологическая операция при производстве аглопорита — спекание шихты на решетке агломерационной машины непрерывного (рис. 6.2) или периодического действия. Под решеткой в вакуум-камере создают разрежение, благодаря которому происходит просос воздуха через шихту. За счет горения угля в шихте раз-

вивается температура до 1000°C и выше, что приводит к ее спеканию в виде пористой остеклованной массы. Спекшийся аглопоритовый корж дробят на щебень и песок.

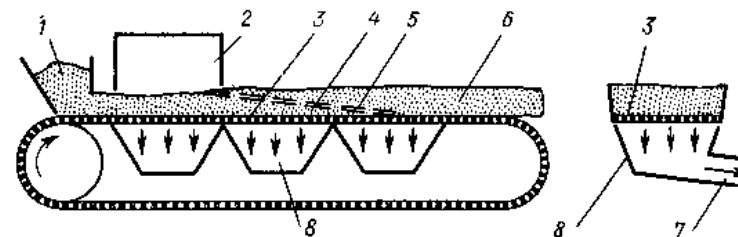


Рис. 6.2. Схема агломерационной машины:

1 — загрузка шихты, 2 — зажигательный гор, 3 — колосниковая решетка, 4 — слой спекаемой шихты, 5 — зона горения топлива, 6 — спекшийся корж; 7 — отсос газов; 8 — вакуум-камера

Аглопоритовый щебень выпускается крупностью 5...40 мм шести марок по насыпной плотности (кг/м<sup>3</sup>): 400, 500, 600, 700, 800 и 900. Прочность аглопоритового щебня при одинаковой плотности значительно меньше, чем керамзита (табл. 6.2).

Таблица 6.2 Марки по прочности пористых заполнителей в зависимости от насыпной плотности

Марка по насыпной плотности	Керамзитовый гравий		Аглопоритовый щебень		Шлакоцепазовый щебень		Перлитовый щебень	
	первой категории качества	высшей категории качества	первой категории качества	высшей категории качества	обычный	со Знаком качества	первой категории качества	со Знаком качества
250	П25	П35	—	—	—	—	—	—
300	П35	П50	—	—	П25	П35	П35	П50
350	П50	П75	—	—	П35	П50	—	—
400	П150	П75	П25	П35	П35	П50	П50	П75
450	П75	П100	—	—	—	—	—	—
500	П75	П125	П50	П75	П50	П75	П75	—
550	П100	П150	—	—	—	—	—	—
600	П125	П150	П100	П125	П75	П100	П100	—
700	П150	П200	П150	П200	П100	П125	—	—
800	П200	П250	П250	П300	П125	П150	—	—

Требования к морозостойкости аглопорита аналогичны требованиям к керамзитовому гравию. Среднее значение коэффициента формы аглопоритового щебня составляет 2...2,5, потеря массы пробы аглопоритового щебня при прокаливании — не более 3%. Для аглопорита дополнительно предъявляется требование к стойкости против силикатного и железистого распада.

Разработана технология производства аглопоритового гравия из золы ТЭС, по которой в результате агломерации сырья образуются не спекшийся корж, а обожженные гранулы. Сущность технологии производства аглопоритового гравия заключается в получении сырьевых зольных гранул крупностью 10...20 мм, укладке их на колосники ленточной агломерационной машины слоем толщиной 200...300 мм и в термической обработке. Горн агломерационной машины состоит из двух секций — подсушки и зажигания. Слой гранул сначала подсушивается и подогревается, а затем производится зажигание и обжиг. Благодаря высокой газопроницаемости шихты сквозь слой просасывается большое количество воздуха, в результате чего создается окислительная среда и гранулы между собой не спекаются. Для производства аглопоритового гравия используются золы с интервалом плавкости не менее 50...100°C и содержанием оксидов железа не менее 4%.

Аглопоритовый гравий выпускают четырех марок по насынной плотности — 500, 600, 700 и 800 и семи марок по прочности — от П50 (предел прочности при сжатии в цилиндре 1...1,29 МПа) до П250 (3 МПа и более). Расчеты показывают, что замена 1 млн. м<sup>3</sup> привозного природного щебня аглопоритовым гравием из золы местной ТЭС лишь за счет сокращения транспортных расходов при перевозках на расстояние 500...1000 км дает экономию около 2 млн. руб.

● **Шлаковая пемза** (тормозит) — один из наиболее эффективных видов искусственных пористых заполнителей. Ее получают поризацией шлаковых расплавов в результате их быстрого охлаждения водой, воздухом или паром (см. § 9.7).

Размер пор шлаковой пемзы в зависимости от способа получения составляет 0,04...4,5 мм, пористость — 52...78%, а подпоглощение — 10...55%. Щебень выпускают с насынной плотностью 300...800 и марками по прочности 25...150 (см. табл. 6.2).

Трудозатраты на изготовление 1 м<sup>3</sup> шлаковой пемзы в 5 раз меньше, чем на другие пористые заполнители, а производительность труда в 4...5 раз выше.

● **Вспученный перлит.** Перлит — вулканическая стекловидная порода, содержащая 65...75% аморфного кремнезема и около 1...2% связанной воды. При термической обработке в диапазоне температур 970...1270°C перлит размягчается и вспучивается в основном в результате интенсивного выделения паров воды. Коэффициент вспучивания перлита достигает 10...12. Для термической подготовки перлита применяют в основном противоточные вращающиеся печи длиной 5...8 м и внутренним диаметром 0,7...1,2 м. До обжига сырье часто подвергают предварительной термической обработке с целью предотвращения последующего растрескивания породы и получения вспученного перлита с наименьшей плотностью (рис. 6.3). В этом случае при температуре 250...450°C удаляется свободная и слабо связанная вода.

На качество готового продукта, характер и степень его вспучивания влияет размер зерен. Оптимальным размером зерен обжигаемого перлита считают 5...15 мм.

Перлитовый щебень выпускают четырех марок по плотности: 300, 400, 500 и 600. Потеря его массы при 15-кратном замораживании и оттаивании должна быть не более 10%. По мере увеличения плотности с 300 до 600 допустимое водопоглощение за 1 ч для перлитового щебня уменьшается от 75 до 30%.

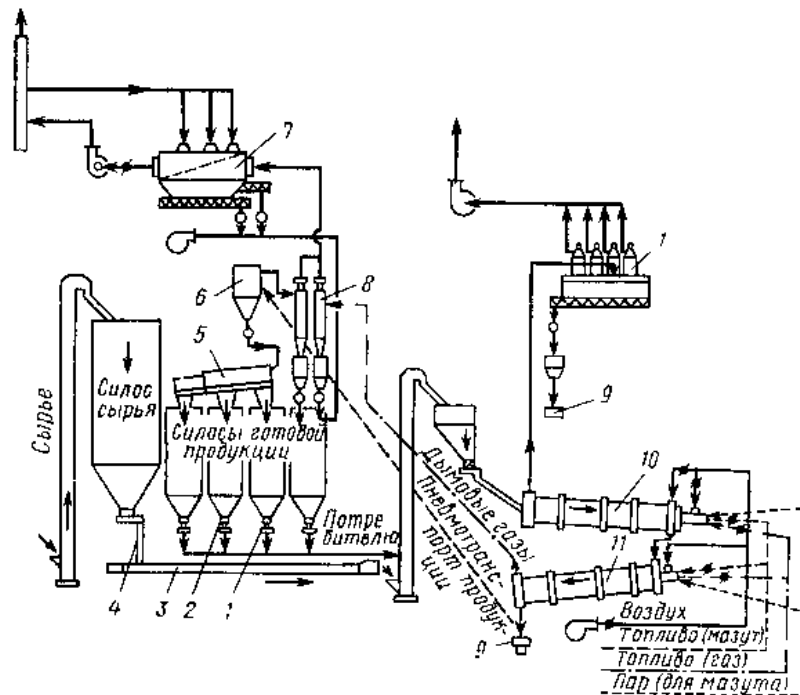


Рис. 6.3 Технологическая схема производства вспученного перлитового щебня и песка:

1 — тарельчатый питатель; 2 — шиберный затвор; 3 — скребковый конвейер; 4 — тарельчатый питатель; 5 — гравесортировка; 6 — осадительная камера; 7 — зернистые фильтры; 8 — наклон; 9 — контейнеры для отходов и пыли; 10 — вращающаяся печь термоподготовки; 11 — вращающаяся печь вспучивания

Перлитовый песок — наиболее легкий из пористых песков. Для легких бетонов пригоден перлитовый песок с минимальной насынной плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>. Содержание пылевидных фракций в нем не должно превышать 10%.

### § 6.3. Технология производства легких бетонов и изделий из них

Технология производства легких бетонов и изделий из них значительно отличается от технологии изготовления изделий из обычных тяжелых бетонов.

● **Хранение** пористых заполнителей осуществляют в крытых складах отдельно по фракциям в условиях, исключающих увлажнение. Для предупреждения засорения и смешивания фракций склады оборудуют сортировочными установками. Смеси фракций пористых заполнителей склонны к расслоению, что вызывает недопустимое колебание гранулометрического состава заполнителей в бетонной смеси.

● **Транспортирование** пористых заполнителей производят способами, исключающими их разрушение, увлажнение и перемешивание. При транспортировании заполнителей со склада к месту дозирования применяют ленточные конвейеры, элеваторы, скиповые устройства. Вспученный перлитовый песок транспортируют и дозируют для предотвращения пылевыведения пневмотранспортом.

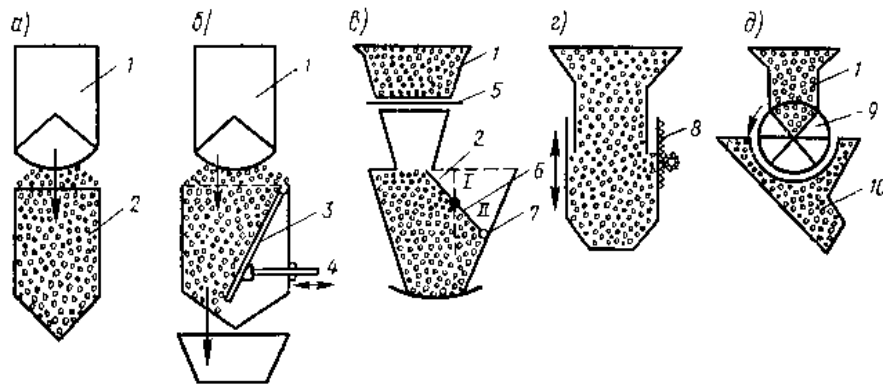


Рис. 6.4. Схема объемно-весовых дозаторов:

а — с постоянным объемом; б — с шарнирной перегородкой; в — с качающейся стенкой; г — телескопические; д — с секторным питателем; 1 — расходный бункер; 2 — дозатор; 3 — перегородка; 4 — рычаг; 5 — питатель; 6 — качающаяся стенка (I — начальное положение, II — конечное положение); 7 — концевой выключатель; 8 — привод; 9 — секторный питатель; 10 — разгрузочная воронка

● При дозировании пористых заполнителей по массе могут иметь место значительные колебания свойств бетонов за счет изменения объемной концентрации заполнителя. В производстве легких бетонов распространено объемно-весовое дозирование заполнителей. С помощью объемно-весовых дозаторов (рис. 6.4) крупный заполнитель дозируют по объему с точностью  $\pm 3\%$  с одновременным фиксированием его массы. Мелкий заполнитель и цемент дозируют по массе с точностью  $\pm 2\%$ .

При изменении плотности крупного заполнителя с помощью имеющих таблиц изменяют количество, а при необходимости и вид мелкого заполнителя.

● **Приготавливают** легкие бетонные смеси обычно в смесителях принудительного действия, где предотвращается расслоение компонентов. Смесители сначала загружают крупным, затем мелким за-

полнителем и цементом. Вода подается в течение всего времени загрузки. Время перемешивания зависит от емкости смесителя, числа оборотов, подвижности и плотности смеси. Для смесителей емкостью до 1000 л и подвижностью бетонной смеси 1...3 см время перемешивания при плотности 1400...1700 кг/м<sup>3</sup> составляет не менее 150 с, 1000...1400 кг/м<sup>3</sup> — 180 с и менее 1000 кг/м<sup>3</sup> — 210 с. При большей емкости смесителей время перемешивания дополнительно увеличивают на 30 с.

● **Основным способом** уплотнения легких бетонных смесей, как и тяжелых, является вибрирование. В бетоне на пористых заполнителях, особенно при избытке растворной части, при вибрировании возможно всплывание крупного заполнителя. С увеличением продолжительности вибрирования расслоение возрастает, особенно при применении подвижных смесей. Снизить расслоение легких бетонных смесей можно, уменьшая крупность и улучшая гранулометрию заполнителей. Эффективно применение пригрузки. Применение пригрузки 40 г/см<sup>2</sup> при уплотнении керамзитобетонной смеси снижает расслаиваемость ее примерно на 20...40%.

● **Твердение** изделий из легких бетонов, как и из тяжелых, происходит при тепловлажностной обработке в среде насыщенного пара. Для легких бетонов эффективным методом ускорения твердения является беспаровой прогрев в среде пониженной влажности, который обеспечивает значительное снижение влажности легких бетонов и не приводит к понижению его конечной прочности.

#### § 6.4. Свойства легких бетонов

Легкие бетоны отличаются от тяжелых наличием в зернах заполнителя пор разной величины. Прочность пористых заполнителей обычно ниже прочности цементного камня. Вместе с тем благодаря пористой структуре заполнителя лучше сцепляются с цементным камнем. Обычно поры в пористых заполнителях имеют диаметр 0,1...1 мм. В них проникают влага и цементное тесто, что способствует сцеплению заполнителей с цементным камнем. Особенно повышенной адгезией по отношению к цементному камню обладают пористые заполнители с развитой открытой пористостью.

● Для легких бетонов характерны процессы **самовакуумирования**. В результате отсасывания воды из цементного теста зернами пористого заполнителя в последних защемляется определенное количество воздуха. Объем отсасываемой воды оказывается больше объема, вытесненного из заполнителей воздуха. Пузырьки защемленного в капиллярах воздуха в результате всестороннего сжатия имеют повышенное давление, от чего развивается градиент, способствующий уплотнению бетона, повышению сил сцепления в контактной зоне и прочности бетона.

● Вследствие большой близости значений пористости и прочности заполнителей и цементного камня и их деформативных свойств на-

пряжение, вызываемое внешними механическими воздействиями в легких бетонах, часто распределяются более равномерно, чем в тяжелых. Большая однородность легких бетонов достигается, если нет четко выраженной границы между раствором и зернами крупного заполнителя. Это характерно, например, для аглопорито- и шлакопемзобетонов. В отличие от них для керамзитобетона характерны три зоны с различной пористостью: цементный камень, поверхностная оболочка и ядро заполнителя. По мере повышения однородности легких бетонов при прочих равных условиях возрастает

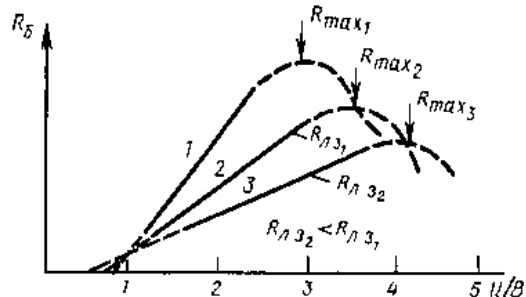


Рис. 6.5 Зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения для обычного (1) и легкого (2, 3) бетонов на пористом заполнителе:

$R_{лз}$  — прочность легкого заполнителя

основными показателями его качества: прочностью, проницаемостью и др.

● **Прочность** легких бетонов, как и обычных, зависит от активности цемента, водоцементного отношения, условий и длительности твердения, прочности заполнителей и некоторых других факторов. Как установлено Н. А. Поповым, прочность легкого бетона может быть выражена общим уравнением

$$R_δ = k_0 R_{лз} (Ц/В - A_0), \quad (6.1)$$

где  $k_0$  и  $A_0$  — коэффициенты, зависящие от прочности и пористости заполнителя и ряда технологических факторов.

Введение в бетон пористых заполнителей приводит к снижению его прочности и тем в большей степени, чем больше содержание заполнителя и меньше его плотность. Кривые зависимости прочности легких бетонов от цементно-водного отношения располагаются ниже кривых для обычного бетона (рис. 6.5).

В отличие от тяжелых бетонов, прочность которых пропорциональна прочности растворной части, у легких бетонов соответствующая зависимость имеет криволинейный характер с двумя участками. На первом участке повышение прочности раствора, например, за счет уменьшения В/Ц приводит к прямолинейному росту проч-

ность и улучшаются деформативные свойства.

● **Плотность** является важнейшим показателем качества легких бетонов. Различают плотность в сухом состоянии и при различной влажности. Первый показатель является стандартным и для данного вида легкого бетона величиной постоянной, второй зависит от условий приготовления и эксплуатации бетонов. Значение плотности легкого бетона связано с

ности бетона, на втором (рис. 6.6) — дальнейшее повышение прочности раствора не приводит уже к заметному росту прочности бетона. Таким образом, на одном и том же пористом заполнителе при неизменном его содержании в бетоне можно приготовить легкий бетон лишь с определенной предельной прочностью. Для получения легкого бетона разных марок следует выбирать прочность заполнителя такой, чтобы обеспечить рациональное использование цемен-

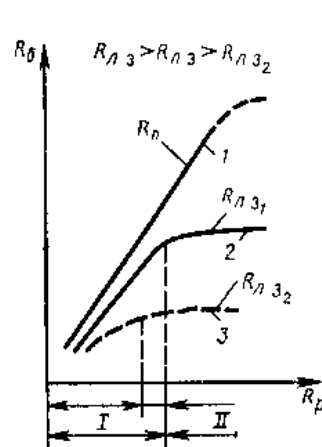


Рис. 6.6. Влияние прочности  $R_p$  растворной составляющей на прочность  $R_δ$  легкого бетона:

1 — тяжелый бетон на плотном заполнителе прочностью  $R_{лз}$ ; 2, 3 — легкий бетон на пористых заполнителях прочностью  $R_{лз1}$  и  $R_{лз2}$

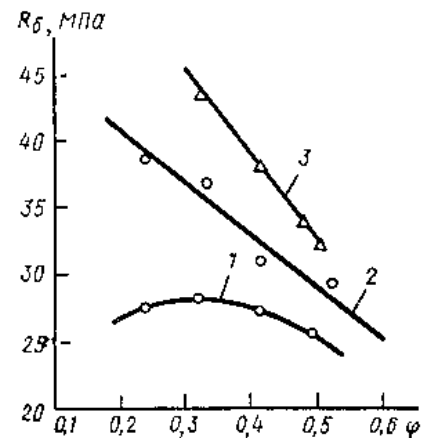


Рис. 6.7. Влияние концентрации  $\phi$  легкого заполнителя на прочность бетона  $R_δ$ :

1 —  $R_p/R_{лз} = 5,7$ , 2 —  $R_p/R_{лз} = 7,5$ ; 3 —  $R_p/R_{лз} = 10,6$  ( $R_p$  — прочность растворной составляющей,  $R_{лз}$  — прочность керамзита и цилиндра)

та, т. е. получать бетоны, соответствующие первому участку кривой. Лишь в случае предъявления к бетону особых требований по плотности рационально применение составов, соответствующих второму участку кривой. Критерием эффективности пористого заполнителя в бетоне является расход цемента, необходимый для получения требуемой прочности. Чем меньше прочность заполнителя и больше его пустотность, тем в большей мере ощущается повышение количества цемента для достижения бетоном максимальной прочности.

Существенное влияние на прочность легких бетонов оказывает содержание в нем крупного пористого заполнителя. Влияние концентрации заполнителя зависит от соотношения его прочности и прочности раствора. Обычно при достаточно высокой прочности раствора в конструктивных легких бетонах увеличение концентрации заполнителя приводит к уменьшению прочности бетона. При малом различии в прочности раствора и бетона, например в конструктивно-теплоизоляционных легких бетонах, максимальная прочность дости-



гается при определенной оптимальной концентрации заполнителя (рис. 6.7).

Для плотных легких бетонов, изготовленных с применением пористого песка, характерна более значительная прочность при осевом растяжении, чем для обычных тяжелых бетонов. Для конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов отношение прочности при растяжении к прочности при сжатии колеблется в пределах 0,12 ... 0,17, для конструктивных 0,06 ... 0,1.

Эффективность легкого бетона в значительной мере определяется величиной коэффициента конструктивного качества, представляющего отношение предела прочности и плотности. Для легких бетонов на различных пористых заполнителях этот показатель колеблется от 0,025 до 0,26. По мере повышения прочности и с переходом к конструктивным бетонам различие в величине коэффициента конструктивного качества постепенно уменьшается.

● **Особенности деформативных свойств** легких бетонов обусловлены их относительно низким модулем упругости. При равных напряжениях деформации конструкций из легких бетонов могут превышать деформации тех же конструкций из тяжелого бетона в 1,5 ... 2 раза. Предельная сжимаемость и растяжимость легких плотных бетонов примерно в 1,5 ... 2 раза больше, чем у равнопрочных тяжелых бетонов. Более высокие деформативные свойства легких бетонов обуславливают повышенную трещиностойкость конструкций на их основе. В легких бетонах пористые заполнители вследствие большей деформативности в меньшей мере уменьшают усадку цементного камня, поэтому полная усадка легких бетонов обычно на 15 ... 20% больше, чем тяжелых, и достигает 1,5 мм/м. Применение плотных песков позволяет снизить усадку до 40%.

● **Водонепроницаемость** легких бетонов не снижается с применением пористых заполнителей. Низкой скорости фильтрации воды через легкие бетоны способствует высокая плотность их контактной зоны, наличие уплотненной оболочки цементного камня вокруг зерен заполнителя. При создании необходимой плотности структуры легкие бетоны, так же как и тяжелые, надежно защищают от коррозии арматуру. Если бетон имеет недостаточную плотность, то арматуру необходимо покрывать защитными покрытиями: цементно-битумными, цементно-казеиновыми и др.

● **Морозостойкость** легких бетонов при правильно подобранном составе не ниже морозостойкости тяжелых.

## § 6.5. Разновидности легких бетонов

● **Поризованный бетон** отличается от обычного плотного легкого тем, что содержит в цементном камне большое количество воздушных пор. Поризация позволяет снизить плотность и улучшить теплотехнические свойства легкого бетона на пористых заполнителях. Она полезна в случае, когда отсутствует пористый песок или свой-

ства заполнителей не позволяют получить легкий бетон заданной плотности.

В строительстве находит преимущественное применение поризованный керамзитобетон прочностью 3,5 ... 10 МПа. Бетон с прочностью 3,5 МПа используется для устройства теплоизоляционного слоя многослойных ограждающих конструкций, бетон более высокой прочности — для однослойных изделий. Плотность поризованного керамзитобетона составляет 700 ... 1200 кг/м<sup>3</sup>. Из поризованного керамзитобетона изготавливают стеновые панели и крупные блоки, совмещенные кровельные плиты и другие изделия. В зависимости от условий службы изделий нормируют их морозостойкость: для стеновых панелей и блоков, не подвергаемых систематическому увлажнению водой, — F25, для цокольных панелей и блоков — F35. При использовании изделий в условиях относительной влажности воздуха более 70% на их внутреннюю поверхность наносят защитное пароизоляционное покрытие и применяют меры для защиты арматуры от коррозии.

Поризацию бетонной смеси осуществляют непосредственно в смесителе в процессе перемешивания исходных компонентов. Для поризации применяют обычные воздухововлекающие добавки: омыленный древесный пек (ЦНИИПС-1), смолу воздухововлекающую нейтрализованную (СНВ), омыленную канифоль и др. Добавки приготавливают в виде водных растворов определенной концентрации и дозируют с помощью специальных дозаторов.

При поризации легких бетонов максимальный объем вовлеченного воздуха достигает 12%. На объем вовлеченного воздуха влияют вид и количество добавки, свойства заполнителей, условия и режим приготовления смеси. С увеличением содержания крупного пористого заполнителя до определенного предела объем вовлеченного воздуха резко возрастает и тем в большей мере, чем меньше и легче зерна. Воздухововлечение увеличивается также с уменьшением плотности песка и снижением количества мелких и пылевидных зерен. С уменьшением крупности и повышением плотности песка размер воздушных пузырьков уменьшается, повышается их устойчивость. Оптимальными для поризации являются составы с минимальным количеством добавки, при которых достигается требуемое воздухововлечение и однородная структура поризованного раствора. Для лучшей поризации легких бетонных смесей применяют более интенсивное перемешивание, при котором уменьшается размер пузырьков и повышается стабильность смеси.

При объеме вовлеченного воздуха 12% плотность керамзитобетона уменьшается на 100 ... 150 кг/м<sup>3</sup> при керамзитовом песке и на 200 ... 250 кг/м<sup>3</sup> — при кварцевом. Воздухововлечение не только снижает плотность бетона, оно позволяет пластифицировать бетонные смеси и при объеме воздуха 8 ... 12% уменьшить расход воды на 30 ... 40 л/м<sup>3</sup>. Поризация растворной составляющей способствует получению более связанной и нерасслаивающейся бетонной смеси.

● **Керамзитобетон повышенной прочности** (20 МПа и выше) применяют в основном для конструкций покрытий и перекрытий гражданских и промышленных зданий, а также трехслойных стеновых панелей, балок, опор ЛЭП и других конструкций.

При его производстве желательна применение керамзита повышенной прочности. Обычно используют керамзит фракций 5...10 или 2,5...10 мм. При повышенной прочности керамзита применяют фракцию 5...20 мм. Для достижения минимальной межзерновой пустотности в ней желательно около 70% зерен 10...20 мм и 30% — 5...10 мм. Марку керамзита по прочности выбирают в зависимости от прочности керамзитобетона. Для получения керамзитобетона, например, с прочностью 20 МПа марка керамзита по прочности может быть в пределах П100...П250, а с прочностью 40 МПа — марка керамзита П250...П350.

Для получения высокопрочного керамзитового гравия применяют глины с содержанием не более 70%  $\text{SiO}_2$ , 12%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 10% ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ ). По мере повышения в сырье содержания оксида алюминия улучшается его качество. Для увеличения в сырье содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шихту вводят добавки зол, тугоплавких глин. При необходимости вводят также железосодержащие добавки, а также катализаторы кристаллизации стеклофазы (диоксид титана, пирит и др.). Особенно важно при получении керамзита высокой прочности подобрать оптимальный режим обжига, обеспечивающий получение вспученного гравия без остаточных напряжений и с максимально закристаллизованной стеклофазой.

Керамзитобетон повышенной прочности приготавливают при низких значениях В/Ц на высокопрочных цементах. Для уменьшения расхода воды применяют пластификаторы и суперпластификаторы.

Легкие бетоны с прочностью 20...50 МПа можно получать с использованием не только керамзитового гравия, но и щебня из аглопорита, шлаковой пемзы, а также естественных заполнителей из туфа, пемзы, вулканических шлаков и пористых известняков.

● **Крупнопористый бетон** характеризуется полным или частичным отсутствием песка и ограниченным расходом цемента, достаточным лишь для обволакивания зерен крупного заполнителя тонким слоем цементного теста. Структура этого бетона отличается наличием открытых пор, образующихся из межзерновых пустот крупного заполнителя, не заполненных вяжущим веществом. Такая структура предопределяет особые свойства бетона: сравнительно небольшие плотность, прочность, но одновременно малую теплопроводность.

Крупнопористые легкие бетоны применяют для ограждающих конструкций, дренажей, фильтров и других элементов гидротехнических сооружений. Толщина стен из крупнопористого бетона уменьшается по сравнению с кирпичными в 1,5...2 раза, а масса 1 м<sup>2</sup> стены — в 3...4 раза. Дренажи и фильтры из крупнопористого бетона примерно на 30% дешевле аналогичных конструкций из сыпучих материалов.

Для изготовления крупнопористого бетона желательно применять однофракционный заполнитель, прочность зерен которого в 1,5...2 раза превышает прочность бетона. Причем предпочтение отдают природным и искусственным пористым заполнителям с низким модулем упругости, близким к модулю упругости цементного камня.

Для каждого состава крупнопористого бетона, отличающегося расходом цемента, существует оптимальное значение В/Ц, отклонения от которого снижают прочность в большей степени, чем для обычного бетона. В бетонной смеси с оптимальным В/Ц цементное тесто должно полностью обволакивать зерна заполнителя и не стекать с них при укладке бетона. Крупнопористый бетон укладывают в форму или опалубку легким трамбованием, штыкованием или кратковременным вибрированием, не вызывающим расслоения.

Плотность крупнопористого бетона определяется в основном плотностью заполнителя, расходом составляющих на 1 м<sup>3</sup> и составляет 400...1200 кг/м<sup>3</sup>. Однофракционный заполнитель в среднем на 10% легче заполнителя с непрерывной гранулометрией. С увеличением крупности заполнителя плотность бетона также уменьшается. Прочность этого вида бетона при сжатии обычно не превышает 5...7 МПа и, как и для обычного тяжелого, прямо пропорциональна активности цемента. Увеличение количества цементного камня в крупнопористом бетоне сказывается положительно на прочности до тех пор, пока приводит к упрочнению контактов соединяющих зерно заполнителей. Избыточное содержание цементного камня, находящегося в межзерновых пустотах, прочность бетона не увеличивает.

Крупнопористые бетоны имеют достаточно высокую морозостойкость, чему способствует наличие плотной оболочки цементного камня вокруг зерен заполнителя. При использовании различных заполнителей морозостойкость крупнопористого бетона достигает 50...100 циклов.

## § 6.6. Ячеистые бетоны

● **Ячеистые бетоны** — разновидность легкого бетона, отличительной особенностью структуры которого является значительное количество искусственно созданных пор в виде ячеек, заполненных воздухом или другим газом. Ячейки имеют, как правило, сферическую форму и диаметр 0,5...3 мм, они равномерно распределены в теле бетона, снижая его плотность и теплопроводность.

Различают ячеистые бетоны по виду применяемого порообразователя, вяжущего и добавок, характеру твердения, области применения.

● В зависимости от способа порообразования выделяют *газобетоны*, полученные вспучиванием бетонной смеси газом, выделяющимся в результате взаимодействия газообразующей добавки и вяжущего.

щего, и *пенобетоны*, полученные при смешивании бетонной смеси с технической пеной. Газобетоны в современном строительстве находят более широкое применение, что объясняется их преимуществами при выпуске особенно крупноразмерных изделий (отсутствие отслоений, уменьшение выдержки до автоклавной обработки и др.).

● По виду вяжущего различают: бетоны на основе портландцемента или смешанных цементов (*газо- и пенобетоны*), известково-кремнеземистых вяжущих (*газо- и пеносиликаты*), шлаковых вяжущих (*газо- и пеношлакобетоны*), гипсовых вяжущих (*газо- и гипсобетоны*). В названии ячеистого бетона учитывается также вид кремнеземистой добавки (*газо-, пенозолобетоны, газо-, пенозолосиликаты* и др.).

● По характеру твердения различают *автоклавные* и *безавтоклавные* ячеистые бетоны. Автоклавные бетоны твердеют в среде насыщенного водяного пара в автоклавах, а безавтоклавные — в естественных условиях, при атмосферном давлении в пропарочных камерах, термореактивных формах, специальных формах с электропрогревом и т. п. Безавтоклавные ячеистые бетоны находят ограниченное распространение. Автоклавная обработка при давлении пара 0,8...1,2 МПа способствует получению ячеистых бетонов с высокими показателями механических свойств. Высокая температура пара и влажная среда в значительной степени ускоряют процессы твердения вяжущего, способствуют взаимодействию его с кремнеземистым компонентом с образованием гидросиликатов кальция.

● По области применения ячеистые бетоны делят на *теплоизоляционные* с плотностью в высушенном состоянии до 500 кг/м<sup>3</sup> и общей пористостью 75...80%; *конструктивно-теплоизоляционные* с плотностью 500...900 кг/м<sup>3</sup>; *конструкционные* с плотностью 900...1200 кг/м<sup>3</sup>, с объемом пор 40...55%. Наиболее широко распространены конструктивно-теплоизоляционные и теплоизоляционные ячеистые бетоны. Их применяют для изготовления панелей наружных и внутренних стен и покрытий зданий, стеновых и теплоизоляционных блоков и т. д. Панели из ячеистого бетона нельзя использовать для цоколей и подвалов и помещений с мокрым режимом эксплуатации. Для повышения долговечности фасадную поверхность панелей обрабатывают гидрофобными кремнийорганическими жидкостями или наносят на нее защитно-декоративные покрытия из каменных или плиточных материалов и полимерных составов. Стены из ячеистобетонных панелей на 20...40% легче и дешевле крупнопанельных стен из крупных панелей с применением пористых заполнителей. Из ячеистого бетона изготавливают также плиты для бесчердачных крыш и чердачных перекрытий жилых зданий и плиты покрытий промышленных зданий.

● **Арматура и закладные детали** в конструкциях из ячеистого бетона должны иметь надежное антикоррозийное покрытие, например цементно-казеиновое. Кроме того, толщину внешнего защитного слоя бетона для арматуры принимают не менее 25 мм.

Для производства ячеистых бетонов применяют вяжущее, кремнеземистый компонент, газо- или пенообразователь, специальные добавки, заполнители и воду. Роль вяжущего в ячеистых бетонах могут выполнять портландцемент, шлакопортландцемент, нефелиновый цемент, известь, бесклинкерные и малоклинкерные шлаковые и зольные вяжущие.

● Наиболее распространенным кремнеземистым компонентом является песок. В песке не должно быть более 3% илистых и глинистых примесей. До введения в бетонную смесь песок измельчают для повышения реакционной способности до удельной поверхности 2000...3000 г/см<sup>2</sup>. Помол обычно ведут мокрым способом.

● В качестве кремнеземистых компонентов широко используют **золу-унос ТЭС и молотые гранулированные шлаки**. Зола-унос ТЭС от сжигания бурых и каменных углей должна содержать стекловидных и оплавленных частиц не менее 50%, потерь при прокаливании для золы бурых углей — не более 3% и каменных — 5%, иметь удельную поверхность 3000...5000 см<sup>2</sup>/г.

При изготовлении крупных изделий для уменьшения усадочных деформаций рекомендуется дополнительно вводить до 25% немолотого песка от общей массы кремнеземистого компонента.

● Наиболее распространенным **порообразователем** при производстве газобетонов является алюминиевая пудра. Алюминиевая пудра покрыта тончайшей пленкой парафина и поэтому не смачивается водой. Для придания пудре гидрофильных свойств ее обрабатывают водным раствором поверхностно-активных веществ (капифольное мыло, сульфанол, СДБ).

● В качестве **пенообразователей** используют несколько видов поверхностно-активных веществ, способствующих получению устойчивых пен. Клееканифольный пенообразователь готовят из мездрового или костного клея, канифоли и водного раствора едкого натра. Этот пенообразователь при длительном взбивании эмульсии дает большой объем устойчивой пены.

Смолосапониновый пенообразователь готовят из мыльного корня и воды. Введение в него жидкого стекла в качестве стабилизатора увеличивает стойкость пены. Этот пенообразователь сохраняет свои свойства около 1 мес при нормальной температуре и влажности воздуха. Алюмосульфонафтенный пенообразователь получают из керосинового контакта, сернокислого глинозема и едкого натра. Он сохраняет свои свойства до 6 мес при положительной температуре.

Пенообразователь ГК готовят из гидролизованной боенской крови марки ПО-6 и сернокислого железа. Его можно применять с ускорителями твердения. Этот пенообразователь сохраняет свои свойства до 6 мес при нормальной температуре.

Расход пенообразователей для получения пены составляет: клееканифольного — 8...12%; смолосапонинового — 12...16%; алюмосульфонафтенного — 16...20% и пенообразователя ГК — 4...6%

от количества воды. Смесь из двух пенообразователей (например, ГК и эмульсии мыльного корня в соотношении 1:1) позволяет получить более устойчивую пену, но это несколько усложняет технологию.

● **Технология производства ячеистых бетонов** включает следующие этапы: подготовку сырьевых материалов, приготовление бетонной смеси, формирование изделий и тепловлажностную обработку. Подготовка сырьевых материалов осуществляется с целью активизации их последующего взаимодействия в процессе тепловлажностной обработки. Для этого подвергают тонкому измельчению кремнеземистый компонент и известь мокрым или сухим способом. Дополнительное измельчение целесообразно также для активизации цемента, повышения однородности смеси.

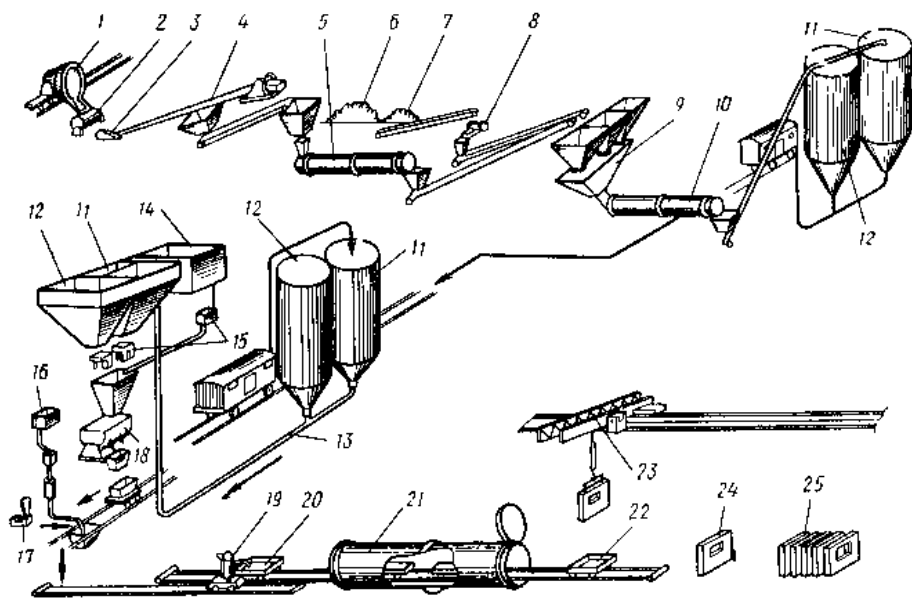


Рис. 6.8. Технологическая схема производства стеновых панелей из автоклавного газшлакобетона:

1 — шлаковозный ковш; 2 — грануляционный барабан; 3 — скреперная установка; 4 — бункер с решеткой; 5 — сушильный барабан; 6 — известь; 7 — гипс; 8 — дробилка для извести и гипса (шаковая); 9 — тарельчатые питатели; 10 — мельница; 11 — бункер для известково-шлакового порошка; 12 — то же, для золы; 13 — пневмотрубопровод; 14 — бак для воды; 15 — дозаторы; 16 — бак для СДБ; 17 — весы для алюминиевой пудры; 18 — растворосмеситель; 19 — смеситель-раздатчик; 20 — вагонетка с формой; 21 — автоклав; 22 — место расплублики изделий; 23 — мостовой кран; 24 — участок отделки изделий; 25 — склад готовой продукции

Газобетонные изделия изготавливают тремя способами: *литьевым, вибрационным и резательным*. Наиболее распространена в настоящее время литевая технология (рис. 6.8). Ячеистобетонную смесь из отдозированных компонентов перемешивают в газобетоносмесителях. Первоначально загружают песчаный или зольный шлам, за-

тем воду, вяжущее и суспензию газообразователя. При вибрационной технологии перемешивание осуществляют в процессе вибрации корпуса смесителя. По окончании перемешивания смесь в возможно более короткий срок загружают в формы. Температура смеси для приготовления газобетона должна быть не ниже 35°C. При литевой технологии изделия формируют из жидкотекучих смесей, содержащих до 50...60% воды от массы сухих компонентов. На стадии формования образуется поризованная масса: при литевой технологии ее получают в неподвижных формах в течение 25...30 мин, при вибровспучивании — в вибрируемых формах в течение 3...6 мин.

Вспучивание смесей кремнеземистого компонента с известесодержащими вяжущими или цементом при введении алюминиевой пудры происходит в результате выделения водорода при взаимодействии ее с гидроксидом кальция. Вследствие незначительной растворимости водорода в воде раствор быстро пересыщается и частички алюминиевой пудры становятся центрами образования пузырьков. По мере газовыделения пузырьки увеличиваются в размере. На газообразующую способность смеси влияет ряд факторов. Основные из них — начальная вязкость, текучесть смеси, ее температура, скорость образования структуры с определенными механическими свойствами, дисперсность алюминиевой пудры и ее количество, химический состав среды.

Жидкотекучие смеси, формируемые по литевой технологии, обладают недостаточной газодерживающей способностью, что ухудшает структуру бетона. Вибрационное воздействие при изготовлении ячеистых смесей способствует увеличению поверхности взаимодействия частиц сырьевых компонентов, интенсифицирует процессы гидратации вяжущего и сокращает длительность газовыделения. Вибрационная технология позволяет использовать высоковязкие смеси с низким водотвердым отношением (0,35...0,4), использовать более грубодисперсные композиции, повысить плотность и прочность бетона, его трещиностойкость. Для оптимизации структуры газобетона важно привести в соответствие скорости процессов вспучивания и схватывания смеси. При преждевременном схватывании не достигается требуемая плотность, в бетоне образуются микротрещины.

Изготовление изделий с помощью литевой технологии осуществляют поточно-агрегатным методом. Формы устанавливают вдоль пути передвижения газобетоносмесителя, в результате создаются условия, предотвращающие их перемещение или сотрясение после заливки смесью до завершения ее вспучивания и схватывания. При вибрационной технологии изделия формируют стендовым или конвейерным способом.

На заводах ячеистого бетона применяют также резательную технологию формования изделий. Она предусматривает формование больших объемов — 10...12 м<sup>3</sup> (высотой до 2 м). После приобретения бетоном структурной прочности массив разрезают в гори-

зонтальном и вертикальном направлениях на прямоугольные элементы, направляемые на тепловлажностную обработку. При резательной технологии обеспечивается высокая точность размеров, прямолинейность граней, ровность поверхностей без масляных пятен; повышается заполнение автоклавов; снижается металлоемкость производства; резко уменьшается количество ручных операций. Из готовых элементов собирают на клею или растворе плоские или объемные конструкции, используя стяжную арматуру. Составные стеновые панели изготавливают размером на одну или две комнаты и высотой на этаж.

Технологический процесс получения пенобетона отличается тем, что поризация производится на стадии получения смеси, т. е. до формования изделий. Пену получают в специальном пеновзбивателе, куда заливают необходимое количество пенообразователя. Техническая пена возникает в результате значительного снижения поверхностного натяжения воды вследствие адсорбции мельчайших частиц поверхностно-активных веществ на поверхностях раздела твердой, жидкой и газообразной фаз. Пену перемешивают с предварительно-подготовленным раствором и направляют на формование.

Эффективным способом *тепловлажностной обработки* ячеистых бетонов является их автоклавирование при давлении 0,8...1,3 МПа и температуре 175...191 °С в среде насыщенного или перегретого пара. Различают три стадии автоклавной обработки (запаривания).

В *первой стадии* по мере повышения температуры в автоклаве изделия подвергают комплексу деструктивных физических процессов. В первый период запаривания одновременно с повышением температуры происходит дополнительное насыщение ячеистого бетона влагой за счет конденсации на его поверхности насыщенного пара. Первая стадия заканчивается при выравнивании температуры теплоносителя и изделий. При этом изделия нагревают как за счет теплопроводности, так и теплоты, выделяющейся при конденсации пара.

*Вторая стадия* автоклавной обработки — изобарическая выдержка. При достижении бетоном максимальной температуры происходит интенсивное взаимодействие вяжущего с кремнеземистым компонентом с образованием цементирующих новообразований. В результате возрастает прочность, которая через определенное время достигается примерно одинаковой величины по всему сечению. Продолжительность изобарической выдержки зависит от дисперсности, активности и соотношения компонентов, водотвердого отношения, температуры. Уменьшение влажности изделий можно достичь применением насыщенного пара в сочетании с перегретым. Перегретый пар с температурой до 400 °С подают в автоклав за 3,5 ч до окончания выдержки. Кроме того, уменьшения влажности в изделиях можно достичь путем вакуумирования после автоклавной обработки.

В течение *третьей стадии* температура и давление снижаются. В результате процесса интенсивного парообразования в бетоне развиваются значительные напряжения, которые могут вызывать образование трещин. Для предотвращения трещинообразования при коротких режимах охлаждения применяют ступенчатые режимы снижения давления. Продолжительность сброса давления на одну ступень уравнивают с учетом плотности и размеров изделий. Перед каждым последующим снижением давления производится выдержка, в течение которой уменьшается перепад давления по сечению изделия.

● **Свойства ячеистых бетонов** определяются их структурой и в первую очередь *плотностью* (рис. 6.9). Прочность ячеистого бетона определяют при сжатии образцов-кубов с длиной ребра 150 мм, прошедших автоклавную обработку и имеющих влажность 10% по массе. Для испытания прочности одновременно с изделиями изготавливают контрольные неармированные блоки, высота которых равна высоте изделия, а длина и ширина (при горизонтальном формовании) — не менее 40 см, толщина (при вертикальном формовании) — толщине изделия. Из контрольных блоков выпиливают образцы необходимых размеров. Вследствие характерной для ячеистых бетонов анизотропии свойств прочность образцов при испытании нагрузкой перпендикулярно направлению вспучивания на 15...20% выше предела прочности при испытании нагрузкой, приложенной параллельно направлению вспучивания. Испытания образцов при сжатии производят в положении, соответствующем работе изделия в конструкции. Контрольные образцы испытывают не ранее 12 ч после тепловлажностной обработки. Прочность ячеистых бетонов может быть 1,5; 2,5; 3,5; 7,5; 10; 15 МПа.

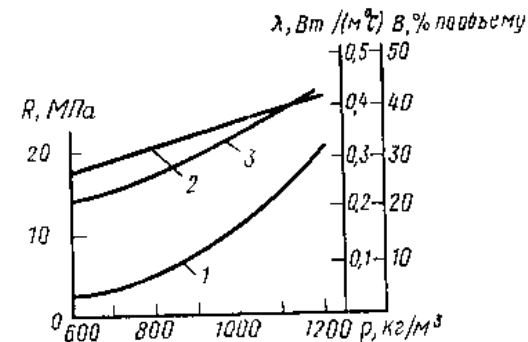


Рис. 6.9. Кривые, характеризующие изменение свойств ячеистого бетона в зависимости от плотности:

1 — прочность  $R$ , 2 — водопоглощение по объему; 3 — теплопроводность

Для ячеистых бетонов характерным критерием качества является коэффициент  $A = R_{сж}/\rho^2$ . Обычно для бетонов автоклавного твердения  $A = 130...150$ , безавтоклавных 70...85. Средний коэффициент вариации прочности автоклавного ячеистого бетона на цементных вяжущих равен 0,18, на известковых — 0,2.

По *морозостойкости* для ячеистых бетонов установлены марки F 15, 25, 35, 50, 75 и 100. Морозостойкость зависит от особенностей поровой структуры бетона.

Равномерное распределение пор, уменьшение капиллярной пористости способствуют увеличению морозостойкости. Бетоны на цементе обладают большей морозостойкостью, чем на извести. Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости в ячеистой структуре желательна создание преимущественно замкнутых пор. Этому способствует вибрационная технология, позволяющая повысить однородность материала, разрушить крупные поры, снижающие морозостойкость.

*Теплопроводность* ячеистых бетонов зависит в основном от плотности и влажности. У наиболее легких бетонов с плотностью до  $200 \text{ кг/м}^3$  теплопроводность составляет  $0,065 \dots 0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , а у бетонов с плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  она возрастает до  $0,21 \dots 0,26 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . Прирост теплопроводности на каждый процент влажности равен примерно  $7 \dots 8,5\%$ .

Влажность ячеистых бетонов после автоклавной обработки составляет обычно  $15 \dots 35\%$ . При эксплуатации в сухих условиях она постепенно снижается до равновесной. Сорбционное увлажнение ячеистых бетонов зависит в первую очередь от их структуры, величины и расположения пор, температурно-влажностных условий.

Для всех ячеистых бетонов, в том числе и на шлаковых вяжущих, характерны сравнительно высокие значения сорбционной влажности, паро- и воздухопроницаемости. Эти показатели здесь в  $5 \dots 10$  раз выше, чем у тяжелого бетона, что обуславливает необходимость применения защитных покрытий в ограждающих конструкциях для предохранения ячеистых бетонов от увлажнения. При относительной влажности воздуха  $60\%$  сорбционная влажность для бетона с плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  примерно равна  $1,1\%$ , а с плотностью  $1200 \text{ кг/м}^3$  —  $4,5\%$ .

Автоклавная обработка ячеистых бетонов лишает их способности пассивировать сталь. Это в сочетании с высокой проницаемостью приводит к необходимости принятия специальных мер по защите арматуры в конструкциях из ячеистых бетонов, в частности к использованию защитных покрытий арматуры типа цементно-казеиновых с ингибиторами, цементно-латексных, битумных и полимерных.

Для ячеистых бетонов характерны высокие звукоизолирующие свойства. По мере повышения плотности звукоизоляционная способность возрастает.

1. Охарактеризуйте различия технологии производства и свойств основных разновидностей пористых заполнителей. 2. В чем особенности приготовления легкобетонных смесей и режимов их уплотнения? 3. Какие преимущества дает поризация бетонных смесей? 4. Какие известны способы формирования ячеистой структуры бетонов и в чем особенности технологии и свойств ячеистых бетонов? 5. В чем состоят особенности резательной технологии?

### § 7.1. Общие сведения

● В нашей стране создана самая мощная в мире промышленность сборного железобетона, выпускающая в год более  $140 \text{ млн. м}^3$  различных видов изделий и конструкций. Широкое применение сборного железобетона повысило производительность труда в строительстве более чем в 3 раза. Это было достигнуто благодаря тому, что применение крупноразмерных железобетонных элементов позволило основную часть работ по возведению зданий и сооружений перенести на завод с высокомеханизированным технологическим процессом.

Сборные железобетонные детали отличаются высоким качеством и долговечностью, упрощают производство работ на строительной площадке, способствуют сокращению сроков строительства. Однако они имеют значительную массу и размеры, что требует специализированного транспорта при их перевозке и грузоподъемных средств при монтаже. По условиям транспортного и грузоподъемного оборудования длина изделий, как правило, не превышает  $25 \text{ м}$ , ширина  $3 \text{ м}$  и масса  $25 \text{ т}$ . Допускаемые отклонения от номинальных размеров типовых сборных конструкций не должны превышать  $\pm 5 \dots 10 \text{ мм}$ .

Сборные железобетонные изделия могут быть *линейными, плоскостными, блочными и пространственными*. К первым относятся колонны, балки, прогоны, сваи; ко вторым — плиты покрытий и перекрытий, панели стен и перегородок, стенки бункеров и резервуаров; к третьим — массивные изделия фундаментов, стены подвалов; к четвертым — объемные элементы санитарных кабин, лифтов, блок-комнат, кольца колодцев.

Сборные железобетонные и бетонные изделия для *жилых, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений* составляют около  $90\%$  общего объема производства изделий. Основными изделиями для крупнопанельных жилых домов являются панели наружных и внутренних стен, перекрытий, а для промышленных зданий — фундаменты, колонны, стеновые панели, балки, фермы и плиты перекрытий. Наиболее широкую номенклатуру составляют изделия плитного типа (панели внутренних и наружных стен, перекрытий и покрытий) длиной до  $12 \text{ м}$  и шириной до  $3 \text{ м}$  с обычной или предварительно напряженной арматурой.



Сборные железобетонные изделия изготавливают на домостроительных комбинатах и заводах сборного железобетона. На ДСК обычно выпускают комплекты изделий, необходимых для возведения зданий определенной типовой серии, на ЗЖБИ — определенную номенклатуру изделий для гражданского, промышленного, сельскохозяйственного, гидротехнического, транспортного и других видов строительства.

### § 7.2. Технология производства железобетонных изделий

● Изготовление сборных железобетонных изделий включает следующие основные технологические передель: приготовление бетонной смеси; изготовление арматурных элементов; установку арматурных элементов в форму; формование (бетонирование) изделий; твердение бетона; распалубку изделий и подготовку форм к следующему циклу; укрупнительную сборку и отделку поверхностей с целью повышения степени заводской готовности изделий.

Организация производства строится на принципах поточности производственного процесса и возможно большей специализации отдельных потоков или технологических линий по виду выпускаемой продукции.

● **Поточность** предусматривает ритмичность процесса и синхронизацию длительности циклов рабочих операций на каждом рабочем посту и непрерывность потока при передаче изделий от поста к посту, как правило, без какого-либо промежуточного складирования материалов и полуфабрикатов. Весь процесс производства расчленяется на отдельные операции, которые выполняются в строгой последовательности на рабочих местах, оснащенных специальным оборудованием.

Производство изделий может быть организовано как без перемещения, так и с перемещением изделий. В первом случае имеет место стендовый метод, во втором — агрегатный.

● При **стендовом способе** (рис. 7.1) основные процессы производства сборного железобетона выполняются в неподвижных формах на стендах. Изделия до приобретения бетоном необходимой прочности остаются на месте, в то время как технологическое оборудование для выполнения отдельных операций последовательно перемещается от одной формы на стенде к другой. Стендовый способ наиболее распространен на полигонах — открытых специально оборудованных для производства железобетонных изделий площадках. В большинстве случаев формование изделий и основные вспомогательные операции выполняются непосредственно в камерах пропаривания. Тепловлажностную обработку осуществляют за счет теплоты пара, подаваемого в полости форм. Стендовый способ применяют и в условиях высокомеханизированного заводского производства преимущественно для изготовления крупногабаритных и

массивных конструкций. На стендах изготавливают также предварительно напряженные железобетонные элементы.

Разновидностью стендового является кассетный способ, при котором одновременно изготавливается несколько изделий в вертикальных формах-кассетах.

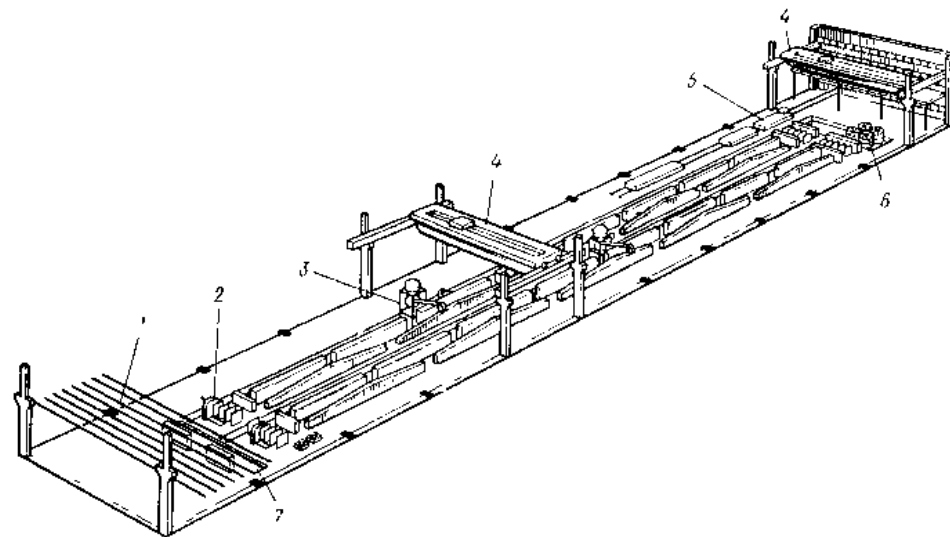


Рис. 7.1 Схема технологической линии по производству длинномерных изделий стендовым способом:

1 — астахада для подачи бетона; 2 — гидравлические домкраты; 3 — бетонораздатчик; 4 — мостовой край; 5 — самоходная тележка для вывозки готовых изделий на склад; 6 — бухтодержатель; 7 — лебедка для протягивания проволоки

● При **поточно-агрегатном способе** (рис. 7.2, 7.3) все операции (распалубка, очистка, сборка и смазка форм, армирование, кладка и уплотнение бетонной смеси, тепловлажностная обработка и др.) осуществляются в перемещаемых формах на специализированных рабочих местах. Поточно-агрегатный способ допускает высокий уровень механизации и автоматизации процесса, характеризуется сравнительно малой трудоемкостью и вместе с тем достаточно гибко к ассортименту выпускаемой продукции. Этот способ нашел широкое применение в промышленном, гражданском и гидротехническом строительстве.

● **Конвейерный способ** (рис. 7.4) в отличие от поточно-агрегатного характеризуется максимальной расчлененностью операций и строго определенным принудительным ритмом движения на поточной линии. Конвейерный способ позволяет создать мощный механизированный поточный процесс и эффективен при серийном выпуске однотипных изделий. Различают пульсирующие и непрерывные конвейеры.

Выбор метода изготовления различных изделий зависит от их номенклатуры, технологических особенностей и объема производства. Важнейшее значение имеют технико-экономические показатели производства изделий тем или иным методом.

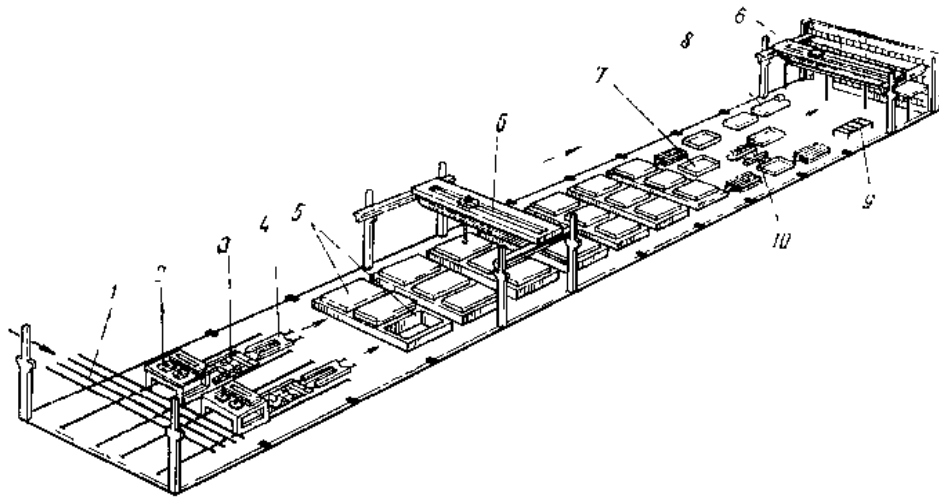


Рис. 7.2. Схема размещения технологического оборудования в цехе по производству сборных железобетонных изделий агрегатно-поточным методом:

1 — эстакада для подачи бетонной смеси; 2 — самоходный бетоноукладчик; 3 — виброплощадка; 4 — пустообразователи; 5 — пропарочные камеры ямного типа; 6 — мостовой кран; 7 — пост распалубки; 8 — самоходные тележки для транспортирования готовых изделий на склад; 9 — стенд для отделки и контроля готовых изделий; 10 — установка для натяжения стержней

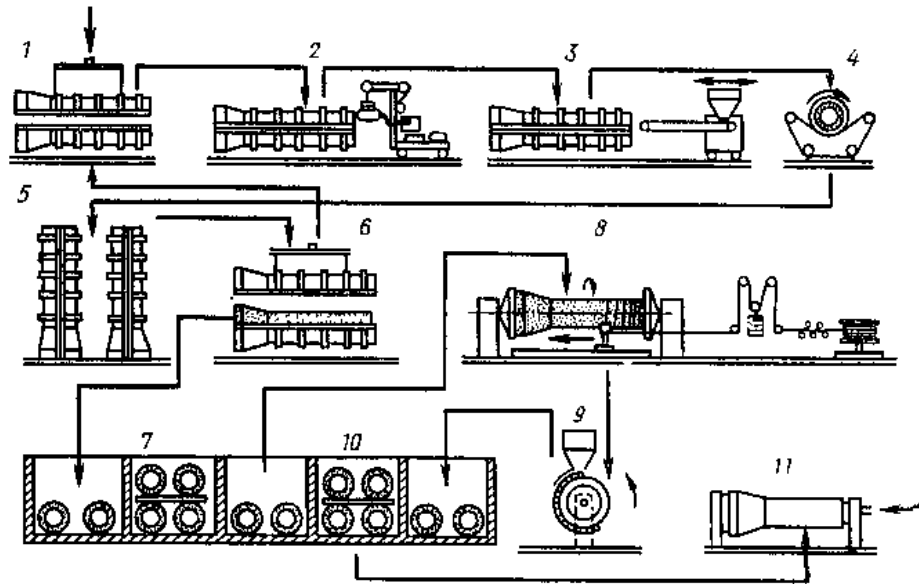


Рис. 7.3. Технологическая схема производства напорных труб:

1 — сборка формы; 2 — натяжение продольной арматуры; 3 — подача в форму бетонной смеси трубы; 4 — уплотнение на центрифуге; 5 — тепловлажностная обработка в форме; 6 — распалубка трубы; 7 — водная тепловлажностная обработка; 8 — навивка напряженной спиральной арматуры; 9 — нанесение защитного слоя; 10 — тепловлажностная обработка; 11 — испытание трубы

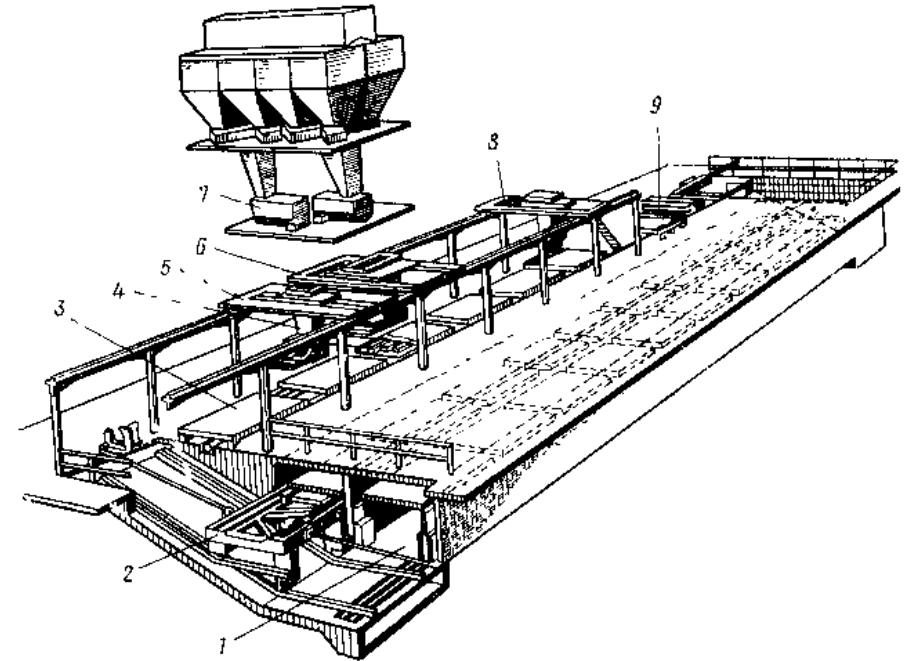


Рис. 7.4. Схема наклонно-замкнутого конвейера-стана:

1 — шелловые камеры тепловой обработки; 2 — передаточная тележка; 3 — поддон с изделием; 4 — виброплощадка резонансная; 5 — расвороукладчик с затирочными устройствами; 6 — двухбункерный бетоноукладчик; 7 — локальный бетонорастворный узел автомат; 8 — раствороукладчик нижнего слоя; 9 — шлакловочная машина

### § 7.3. Виды арматуры и способы армирования

Армирование бетона производят из углеродистых и низколегированных сталей.

● Стальную арматуру классифицируют по методу обработки на горячекатаную, термически упрочненную и холоднодеформированную, по условиям применения — на ненапрягаемую и напрягаемую и по профилю — на гладкую и периодического профиля. В зависимости от механических свойств арматурную сталь делят на классы (табл. 7.1).

● Для армирования железобетонных конструкций применяют отдельные арматурные элементы, сварные плоские сетки и каркасы, пространственные каркасы (рис. 7.5). Кроме того, для подъема сборных железобетонных изделий используют монтажные петли, а для соединения сборных конструкций — закладные детали.

● Изготовление ненапрягаемой арматуры складывается из следующих операций: подготовки проволочной и прутковой стали — чистки, правки, резки, стыкования, гнутья; сборки стальных стержней в виде плоских сеток и каркасов; изготовления объемных арматурных каркасов, включая приварку монтажных петель, закладных

Таблица 71 Основные механические характеристики арматурной стали

Класс стали	Предел текучести $\sigma_{тл}$ , МПа, не менее	Временное сопротивление разрыву, МПа, не менее	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	Диаметр стержня, мм
<i>Горячекатаная арматурная сталь</i>				
A-I	240	380	25	6..40
A-II	300	500	19	10..90
A-III	400	600	14	6..40
A-IV	600	900	6	10..32
A-V	800	1050	7	10..18
<i>Арматурная сталь, упрочненная вытяжкой</i>				
A-IIв	450	500	8	10..90
A-IIIв	550	600	6	6..40
<i>Арматурная сталь, термически упрочненная</i>				
At-IV	600	900	7..8	10..40
At-V	800	1000	6..7	10..40
At-VI	1000	1200	5..6	10..32
At-VII	1200	1400	5	10..32
<i>Арматурная проволока</i>				
B-I, Bp-I	—	450..850	—	3..10
B-II	1120..1520	1400..1900	4..6	3..8
Bp-II	1040..1440	1300..1800	4..6	3..8

частей, фиксаторов. Стержневую арматурную сталь диаметром до 10 м поставляют на завод в бухтах, а диаметром 10 мм и более — в прутках длиной 6..12 м или мерной длины, оговариваемой в заказах. Арматурную проволоку поставляют в бухтах, причем каждая бухта состоит из одного отрезка проволоки.

Прутковую арматурную сталь разрезают на стержни заданной длины, а также стыкуют сваркой в целях уменьшения отходов. Стыкуют стержни посредством стыковой электросварки и только в отдельных случаях при использовании стержней больших диаметров применяют дуговую сварку. Контактную стыковую сварку осуществляют методом оплавления электрическим током торцов стержней в местах их будущего стыка. При этом стержни сильно сжимают и сваривают между собой.

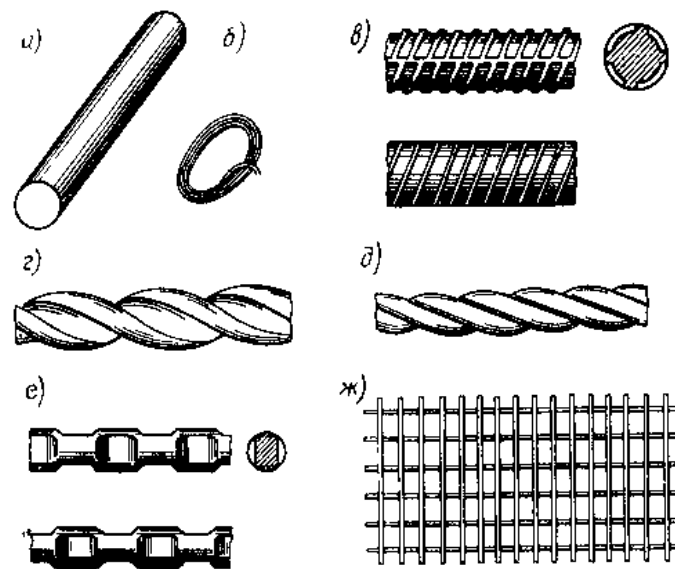


Рис 75. Виды арматуры:

a — гладкая стержневая; б — гладкая проволочная; в — горячекатаная периодического профиля; г, д — пряди из проволоки; е — холоднотянутая, ж — сварная сетка

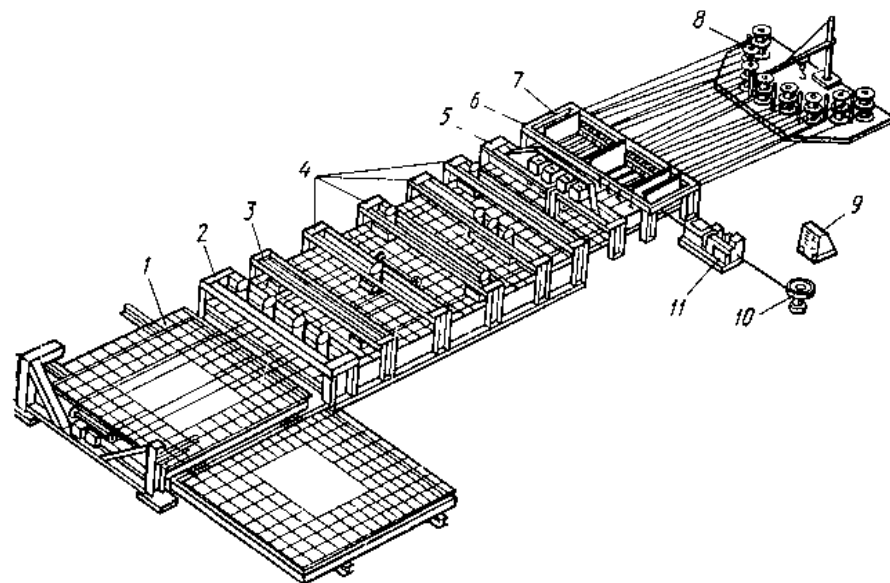


Рис. 7.6 Автоматизированная линия для сварки широких сеток:

1 — передвижной приемный стол сеток; 2 — устройство для приварки и изгиба фиксаторов; 3 — агрегат для приварки закладных деталей; 4 — устройство для вырубки отверстий; 5 — пневматические ножницы; 6 — сварочная машина МТМС 18Х75; 7 — механизм подачи продольной арматуры; 8 — бухтодержатели с консольным краном; 9 — стыковая сварочная машина; 10 — бухтодержатель для поперечной арматуры; 11 — станок для правки и резки арматуры

При изготовлении монтажных петель, хомутов и других фигурных элементов арматуры прутковую и проволочную арматурную сталь после разрезки подвергают гнущю.

Сборку сеток и каркасов из стальных арматурных стержней производят посредством точечной контактной электросварки. Такую сварку осуществляют с помощью специальных сварочных аппаратов, отличающихся мощностью трансформатора, количеством одновременно свариваемых точек (одно- и многоточечные), характером используемых устройств для сжатия свариваемых стержней. Сварочные машины позволяют создавать в комплексе с другими машинами и установками поточные автоматические линии изготовления плоских сеток как готового арматурного элемента, так и полуфабрикатов для изготовления пространственных каркасов.

На рис. 7.6 показана автоматическая линия для сварки широких сеток. В состав линии входят групповые бухтодержатели продольной и поперечной подачи, правильные устройства, сварочная машина МТМС с отрезным устройством. Предусмотрена электромагнитная система программирования подачи поперечных и дополнительных продольных стержней. Пневматические ножницы для поперечной резки сетки, посты для приварки закладных деталей и устройство для крепления фиксаторов.

Изготовление пространственных арматурных каркасов производят в основном из плоских сеток, соединяемых между собой на специальных сварочных машинах. Каркасы можно собирать в горизонтальном и вертикальном положениях. При необходимости (например, для ребристых плит) плоские сетки и каркасы можно гнуть на специальных гибочных станках.

● При изготовлении предварительно напряженных изделий необходимо создать по всему сечению бетона или только в зоне растягивающих напряжений предварительное обжатие, величина которого должна превышать напряжение растяжения, возникающее в бетоне при эксплуатации. Обычно предварительное обжатие бетона 5...6 МПа, а при изготовлении железобетонных напорных труб 10...12 МПа. Обжатие достигается силами упругого последствия натянутой арматуры, которые передаются бетону за счет сцепления арматуры с ним с помощью анкерных устройств.

Для обжатия бетона упругие деформации применяемой арматурной стали должны составлять 85...90% предела ее текучести, а для углеродистых сталей, не имеющих четко выраженного предела текучести, 65...70% предела прочности на разрыв.

В качестве основной напрягаемой арматуры применяют проволочную и прутковую арматурные стали, а в качестве вспомогательной ненапрягаемой арматуры, если она имеется в напряженных изделиях, — сварные сетки и каркасы.

При изготовлении предварительно напряженных изделий пользуются одноосным обжатием бетона отдельными стержнями или пучками проволок, располагаемых в изделии вдоль его продольной

оси, и объемным обжатием путем навивки напряженной проволоки в двух или нескольких направлениях. Можно навивать проволоку и на готовое изделие с последующей защитой арматуры слоем бетона.

Арматурные элементы, применяемые в конструкциях, состоят из арматуры, устройств для закрепления арматуры при натяжении и приспособлений для сохранения проектного расположения отдельных стержней и проволок, из которых комплектуется арматурный элемент. Конструкция устройств для закрепления арматуры связана с технологией изготовления арматурного элемента и с типом машин и приспособлений для натяжения. Применяют два вида этих устройств — зажимы и анкеры, которые подразделяют по способу закрепления арматуры на клиновые, плоские, конические, волновые, петлевые, резьбовые, штифтовые и глухие. В приведенных устройствах концы арматурных пучков опрессовываются в обойме из мягкой стали. Все они, за исключением резьбовых, применяются для закрепления круглых стержней и стержней периодического профиля.

Для захвата и закрепления стержневой арматуры применяют наконечники с винтовой нарезкой или различные «клиновидные сухари» с профилем, обратным профилю натягиваемой арматуры. Прогрессивной конструкцией зажимных устройств являются групповые зажимы, применяемые при предварительной механизированной сборке проволочных пакетов. Зажимы применяются для закрепления каждого стержня, нити проволоки или группы их.

Анкеры для проволочных пучков различают по способу натяжения и закрепления концов. Для закрепления пучков применяют два типа анкеров: конический с натяжением арматуры домкратом двойного действия и гильзовый с натяжением арматуры стержневым домкратом.

Передачу предварительного напряжения арматуры на бетон осуществляют тремя способами: *первый* — посредством сцепления арматуры диаметром 2,5...3 мм с бетоном; при большем диаметре арматуры сцепление достигается устройством вмятин на поверхности проволоки или свивкой прядей из двух-трех проволок, либо применением арматуры периодического профиля; *второй* — посредством сцепления арматуры с бетоном, усиленного анкерными устройствами; *третий* — посредством передачи усилий натяжения на бетон через анкерные устройства на концах арматурного элемента без учета сцепления арматуры и бетона.

Способы натяжения арматуры подразделяют на *механические* и *электротермические*. При механическом способе арматура растягивается осевой нагрузкой, создаваемой домкратами. Сначала арматуру натягивают до усилия, равного 50% проектного напряжения, при этом производят осмотр зажимных устройств и расположения арматуры. Затем натяжение арматуры доводят до значения, превышающего на 10% проектное натяжение, но не более 85%

предела прочности проволоки при растяжении, и в таком состоянии выдерживают в течение 5 мин, после чего натяжение снижают до проектной величины. Отпуск напряженной арматуры (обжатие бетона) производят после достижения бетоном изделия необходимой прочности и проверки заанкеривания концов проволоки в бетоне. Фактическую прочность бетона определяют испытанием контрольных образцов. Прочность бетона ко времени отпуска арматуры составляет обычно 70% проектной прочности. Отпуск натяжения на стендах осуществляется постепенно, в два-три этапа. Разгрузку натянутых проволок при невозможности постепенного отпуска натяжения производят симметрично относительно оси поперечного сечения с числом одновременно разрезаемых проволок не более 10...15% общего числа проволок. При механическом способе арматуру натягивают, как правило, на специальных стендах.

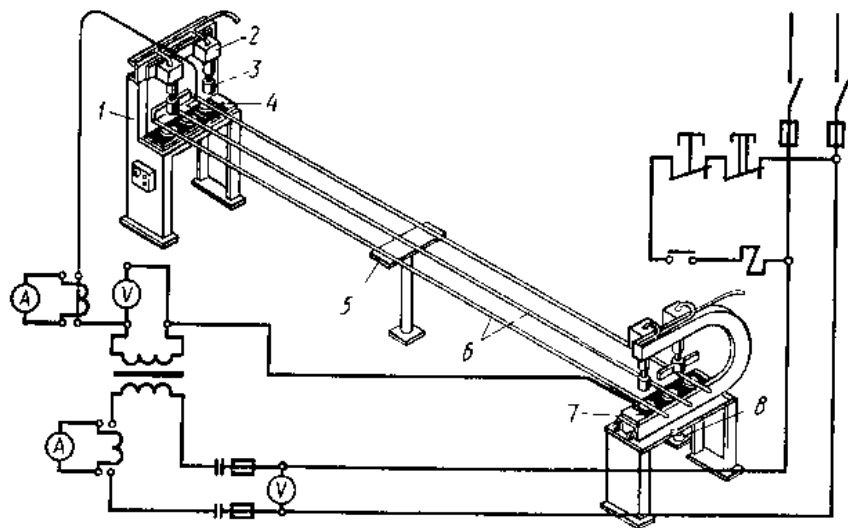


Рис. 7.7. Установка для электронагрева стержневой арматуры вне формы.

1 — неподвижная опора; 2 — пневмоцилиндр, 3 — прижимная губка, 4 — токопроводящая губка; 5 — средняя опора; 6 — нагреваемые стержни; 7 — подвижная опора, 8 — конечный выключатель

Электрический способ не требует дорогостоящего оборудования (домкратов) и менее трудоемок. Такой способ применяют для натяжения стержневой арматурной стали класса А-III, проволочной и прядевой арматуры из высокопрочной стальной проволоки, холоднотянутой, периодического профиля диаметром 4...5 мм и семипрядевой проволоки.

Для натяжения арматуры электротермическим способом применяют установки с последовательным и одновременным натяжением нескольких стержней. Кроме того, установки могут быть с нагревом

стержней вне формы или непосредственно в ней. На установке для электронагрева стержневой арматуры вне формы (рис. 7.7) можно нагревать три-четыре арматурных стержня диаметром 12...14 мм, что соответствует числу стержней в изделии. Установка состоит из двух контактных опор (неподвижной и подвижной) и средней поддерживающей. Каждый контакт имеет две губки: токопроводящую и прижимную. Нагрев стержней контролируется по их удлинению автоматически. Нагретые стержни снимают с установки и укладывают в упоры форм, которые препятствуют укорочению стержня при его охлаждении. После бетонирования конструкции и твердения бетона арматуру освобождают от упоров и усилие натяжения арматуры передается на бетон.

*Непрерывное механическое и электромеханическое натяжение* арматуры сводится к тому, что проволоку, предварительно напряженную до заданной величины, укладывают на поддон формы в соответствии с принятой схемой армирования. Фиксация натянутой проволоки производится навивкой ее вокруг штырей, расставленных по периметру поддона. Усилие от натяжения арматуры передается через штыри на стенд или форму до затвердевания бетона в изделии. После достижения бетоном необходимой прочности проволоку обрезают и усилие натяжения передается с арматуры на бетон. Арматура может располагаться продольно или поперечно по отношению к оси изделия, перекрестно или по диагонали. Бетон в изделии получает двух-, трехслойное и даже объемное предварительное обжатие.

При высокой пористости, наличии трещин и недостаточном защитном слое бетона возможна коррозия арматуры. Наиболее интенсивно идет процесс коррозии при влажности воздуха около 80%, а также в условиях влажного и жаркого климата морских районов. Коррозию арматуры могут вызвать хлористые соли, вводимые в бетон как антиморозные добавки, или ускорители твердения. Содержание хлоридов в железобетонных конструкциях должно быть не более 2%, а в предварительно напряженных конструкциях, в конструкциях с проволочной арматурой диаметром менее 5 мм, а также в конструкциях, предназначенных для эксплуатации при относительной влажности воздуха более 60%, они не допускаются.

Закладные детали подвергают специальной обработке для защиты от коррозии. В ряде случаев, например, в ячеистых бетонах, арматуру защищают от коррозии специальными обмазками и покрытиями.

#### § 7.4. Формование изделий

● Для формования железобетонных изделий применяют, как правило, **металлические формы**. Эти формы выдерживают до 1000 оборотов и наилучшим образом соответствуют требованиям, предъявляемым к формам для изготовления железобетонных изделий:

достижение заданных размеров изделий, сохранность их в процессе последующих технологических операций; простота сборки и разборки; высокая жесткость, исключая деформацию изделий при изготовлении и транспортировании.

Недостаток металлических форм — их высокая металлоемкость. Удельная металлоемкость форм зависит от вида формовых изделий и схемы организации производства. Наименьшая металлоемкость при стендовой технологии 0,3...0,5 т/м<sup>3</sup> объема выпускаемых изделий, при поточно-агрегатной схеме 1...3 т/м<sup>3</sup>, при конвейерной 6...8 т/м<sup>3</sup>. Минимальную металлоемкость достигают рациональной конструкцией форм.

● Перед укладкой в форму арматурного каркаса и бетонной смеси форму очищают, собирают и смазывают специальными составами, препятствующими сцеплению бетона с металлом формы. Правильный выбор смазки имеет важное значение для качества изделий и сохранности форм. Смазка должна хорошо удерживаться на поверхности формы в процессе укладки, уплотнения, тепловлажностной обработки бетонной смеси, создавать возможность ее механизированного нанесения (распылением), не портить внешний вид изделия. Для смазки обычно используют масляные эмульсии с добавкой кальцинированной соды; смесь солярового (75%) и веретенного (25%) масел, смесь машинного масла (50%) и керосина (50%) и др.

● Формование изделий проводят после установки в формы арматурного каркаса. Процесс формования включает укладку бетонной смеси в форму и ее уплотнение.

● Укладку бетона в формы производят бункерами, бетоноукладчиками или бетонораздатчиками. Бункера с бетонной смесью транспортируют к постам формования и разгружают в подготовленную форму или отсек кассеты.

В бетонораздатчиках бункера устанавливают на самоходной раме, которая передвигается над формируемым изделием. Бетоноукладчики не только выдают смесь в форму, но и разравнивают ее. Для этого их оборудуют бункерами, способными передвигаться в поперечном направлении, или оснащают дополнительными устройствами, распределяющими смесь по форме. При отделке изделий непосредственно на формовочном посту укладчики снабжают отделочными навесными устройствами. Укладку смеси производят при высоте падения в горизонтально расположенную форму не более 1 м.

● Основным способом уплотнения бетонной смеси при производстве сборного железобетона является **вибрирование**. При изготовлении отдельных видов изделий применяют прессование, прокат, штампование, трамбование, центрифугирование, набрызг. Иногда используют одновременно два способа, например уплотняют бетонную смесь вибропрокатом, виброштампованием или вибровакуумированием.

Высокая степень уплотнения бетонной смеси вибрированием достигается при применении оборудования незначительной мощности. Например, бетонные массивы в несколько кубометров уплотняют вибраторами с мощностью всего 1...1,5 кВт.

Способность бетонных смесей переходить временно в текучее состояние под действием вибрации зависит от подвижности смеси и скорости перемещения ее частиц относительно друг друга. Подвижные смеси легко переходят в текучее состояние и требуют небольшой скорости перемещения. Но с увеличением жесткости (уменьшением подвижности) бетонная смесь все более утрачивает это свойство или требует соответствующего увеличения скорости колебаний, т. е. необходимы более высокие затраты энергии на уплотнение.

При постоянной частоте колебаний вибромеханизма (для большинства виброплощадок 3000 кол/мин) изменение скорости колебаний может быть достигнуто изменением амплитуды. Практика показала, что подвижные бетонные смеси эффективно уплотняются при амплитуде колебаний 0,3...0,35 мм, а жесткие 0,5...0,7 мм.

На качество виброуплотнения оказывают влияние не только параметры работы вибромеханизма (частота и амплитуда), но также продолжительность вибрирования. Для каждой бетонной смеси в зависимости от ее подвижности существует своя оптимальная продолжительность виброуплотнения, до которой смесь уплотняется эффективно; выше этой продолжительности затраты энергии возрастают в большей степени, чем происходит уплотнение смеси. Дальнейшее уплотнение вообще не дает прироста плотности. Более того, чрезмерно продолжительное вибрирование может привести к расслаиванию смеси, разделению ее на отдельные компоненты (цементный раствор и крупные зерна заполнителя), что в конечном счете приведет к неравномерной плотности изделия по сечению и снижению прочности в отдельных его частях. Продолжительное вибрирование невыгодно и в экономическом отношении; возрастают затраты электроэнергии и трудоемкость, снижается производительность формовочной линии.

Виброуплотнение бетонной смеси производят переносными и стационарными вибромеханизмами. Применение переносных вибромеханизмов в технологии сборного железобетона ограничено. Их используют в основном при формовании крупногабаритных массивных изделий на стендах.

На заводах, работающих по поточно-агрегатной и конвейерной схемам, применяют виброплощадки. Виброплощадки отличаются большим разнообразием типов и конструкций вибраторов — электромеханические, электромагнитные, пневматические; характером колебаний — гармонические, ударные, комбинированные; формой колебаний и их направлением — круговые, вертикальные, горизонтальные; конструктивными схемами стола — со сплошной верхней рамой, образующей стол с одним или двумя вибрационными вала-



ми, и собранные из отдельных виброблоков, в целом образующих общую вибрационную плоскость, на которой располагается форма с бетонной смесью. Для прочности крепления формы к столу площадки предусматриваются пневматические устройства, электромагниты или механические прижимы.

Виброплощадка (рис. 7.8) чаще всего представляет собой плоский стол, опирающийся через пружинные опоры или специальные амортизаторы на неподвижные опоры или раму (станину) виброплощадки. Пружины предназначены гасить колебания стола и предупреждать этим их воздействие на опоры, иначе произойдет их разрушение. В нижней части к столу жестко прикреплен вибровал с расположенными на нем эксцентриками. При вращении вала от электродвигателя эксцентрики возбуждают вынужденные колебания стола виброплощадки, передающиеся затем форме с бетонной смесью, в результате происходит ее уплотнение. Мощность виброплощадки оценивается ее грузоподъемностью (массой изделия вместе с формой).

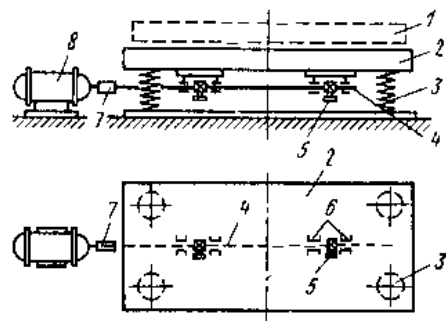


Рис. 7.8. Одновальная виброплощадка:

1 — форма; 2 — вибрационная рама; 3 — пружины; 4 — вал; 5 — эксцентрик; 6 — подшипник; 7 — муфта сцепления; 8 — электродвигатель

Заводы сборного железобетона оборудованы унифицированными площадками грузоподъемностью 2, 24 т с частотой 3000 кол/мин и амплитудой колебаний 0,3...0,6 мм. Эти виброплощадки хорошо уплотняют жесткие бетонные смеси с расходом воды 130...150 л/м<sup>3</sup>. Применение жестких бетонных смесей снижает расход цемента, ускоряет твердение бетона, повышает качество готовых изделий. На виброплощадках формируют конструкции длиной до 15 м и шириной до 3,5 м.

Для лучшего уплотнения жестких бетонных смесей на виброплощадках, особенно при применении легких пористых заполнителей, сила тяжести которых, способствующая уплотнению бетона при вибрировании, невелика, используют различные пригрузы: статический, вибрационный, пневматический, вибропневматический. Лучшими являются пневматический и вибропневматический пригрузы, которые, повышая эффективность вибрирования, существенно не увеличивают нагрузку на виброплощадку и не снижают ее полезной грузоподъемности. Величина пригруза назначается в зависимости от свойств бетонной смеси и составляет 2...5 кПа.

При формировании изделия форма заполняется бетонной смесью из бункера бетоноукладчика постепенно по мере уплотнения ее в

процессе вибрирования. Оптимальная продолжительность вибрирования определяется опытным путем и составляет 1,5...5 мин.

При формировании изделий в неподвижных формах для уплотнения бетонной смеси используют поверхностные и глубинные вибраторы, а также навесные вибраторы, которые крепят к форме. Подвижность бетонной смеси выбирается в зависимости от конструкции формы и характера армирования изделия. При изготовлении деталей в горизонтальных формах используют жесткие и малоподвижные бетонные смеси. При формировании изделий в вертикальных формах, например при изготовлении панелей стен и перегородок в вертикальном положении, применяют бетонные смеси с подвижностью 8...10 см, так как малоподвижной смесью трудно хорошо заполнить глубокую и узкую форму.

● Основными методами безвибрационного формирования, редко применяемого, является центрифугирование, обычное и роликовое пресование, торкретирование или набрызг и трамбование. Применяют также комбинированные способы уплотнения бетонных смесей: вибропресование, виброштампование, вибропрокат, вибровакуумирование.

Для изготовления труб и опор линий электропередачи используют центрифугирование, которое состоит в том, что бетонная смесь, загруженная в форму, подвергается быстрому вращению. Распределение и уплотнение бетонной смеси при этом происходят под действием не только центробежной силы, но и вибрирования, вызываемого сотрясанием формы при вращении. При центрифугировании часть воды отжимается из бетона. Поэтому остаточное водоцементное отношение меньше первоначально взятого и затвердевший бетон имеет высокую плотность (водопоглощение не более 3%). Для центрифугирования применяют подвижные бетонные смеси с осадкой конуса 7...10 см и расходом цемента 350...450 кг/м<sup>3</sup>.

## § 7.5. Тепловлажностная обработка

Тепловлажностная обработка — наиболее эффективный из существующих способов ускорения твердения бетона. Она является важнейшей технологической операцией при производстве сборных железобетонных изделий.

Из различных видов тепловлажностной обработки (пропаривание, автоклавное твердение, контактный обогрев, электропрогрев) основное место занимает пропаривание при атмосферном давлении. Пропаривание осуществляют в камерах периодического или непрерывного действия (рис. 7.9). Периодические камеры различают ямного и туннельного типов. Последние применяют при производстве мелкогабаритных изделий, устанавливаемых на вагонетках.

Пропаривание изделий обычно ведут до получения не менее 50...70% проектной марочной прочности бетона. На современных заводах сборных железобетонных конструкций длительность пропаривания в температурном диапазоне 80...100°C составляет в большинстве случаев 8...15 ч. Интенсивное твердение бетона при сокращенном режиме пропаривания может быть обеспечено за счет применения быстротвердеющих высокопрочных портландцементов, жестких смесей с малым водосодержанием и низким В/Ц, а также ускорителей твердения.

Полный цикл тепловлажностной обработки складывается из четырех периодов: предварительного выдерживания до пропаривания, подъема температуры в камере, изотермического прогрева, охлаждения изделий.

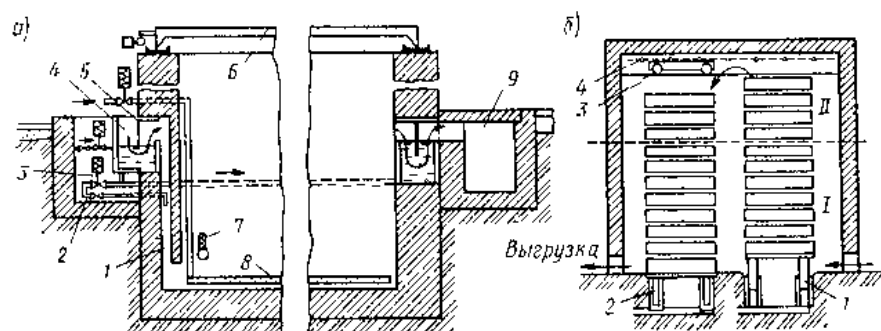


Рис. 7.9. Схемы пропарочных камер:

а — камера ямного типа 1 — канал для выхода паровоздушной смеси; 2 — труба для слива воды из водяного затвора; 3 — электромагнитные клапаны системы автоматики; 4 — водяные затворы; 5 — гидравлический затвор; 6 — съемная крышка камеры; 7 — термометр сопротивления; 8 — труба для подачи пара; 9 — вентиляционный канал; б — многоярусная камера непрерывного действия: 1 — подъемник; 2 — сцижатель; 3 — перегрузочная тележка; 4 — перфорированные трубы для подачи пара; I — паровоздушная среда; II — среда чистого насыщенного пара

расширению бетона, которое достигает 3...6 мм/м и вызывает понижение его плотности и стойкости. Одним из основных факторов, вызывающих деструкцию бетона в процессе тепловлажностной обработки, является воздух, растворенный в воде затворения, адсорбированный на поверхностях твердых частичек и захваченный в процессе приготовления бетонной смеси. При тепловлажностной обработке воздух переходит в свободное состояние с коэффициентом термического расширения в 200...300 раз больше, чем у твердых компонентов бетона. К числу деструктивных факторов относятся также температурный градиент между наружными и внутренними слоями бетона в период прогрева, частичное испарение воды, миграция влаги к центру изделия. При медленном подъеме температуры складываются более благоприятные условия для формирования структуры, так как бетон приобретает определенную прочность до достижения им значительного температурного расширения. Влияние скорости нагревания изделий существенно снижается при пропаривании их в жестких и особенно закрытых формах, которые препятствуют развитию температурных деформаций.

Таблица 7.2. Ориентировочная скорость подъема температуры при пропаривании

Время предварительного выдерживания, ч	Жесткость смеси, с	Скорость подъема температуры, град/ч, при пропаривании в		
		жестких закрытых формах	Открытых формах	На поддоне
>4	>30	Не ограничивается	30	20
	<30		25	—
<4	>30	>	20	15
	<30	>	15	—

● **Предварительное выдерживание изделий до пропаривания** способствует образованию структуры бетона в условиях отсутствия температурных деформаций и миграции влаги, что положительно отражается на прочности и стойкости готовых изделий. Оптимальное время предварительного выдерживания колеблется от 2 до 10 ч и соответствует началу схватывания бетона, при котором он приобретает прочность около 0,3...0,5 МПа. Достаточное предварительное выдерживание особенно важно для изделий, подвергаемых затем ускоренному нагреву в камере, а также содержащих добавки ПАВ, замедляющие рост структурной прочности.

● **При подъеме температуры** в бетоне протекают как конструктивные, так и деструктивные процессы. Первые заключаются в ускорении процессов гидратации цемента, а вторые — в температурном

В табл. 7.2 приведены рекомендуемые значения скорости подъема температуры при пропаривании бетонов.

Пропаривание при максимальных температурах 95...100°C особенно эффективно для смесей на смешанных цементах и в ряде случаев нецелесообразно для бетонов на обычных и высокопрочных портландцементах.

● **Электропрогрев бетона** отличается интенсивным разогревом бетона без термических напряжений и низкими капиталовложениями. Различают электродный электропрогрев, основанный на преобразовании электрической энергии в тепловую при прохождении переменного тока через бетонную смесь, и обогрев электроприборами с применением печей сопротивления, инфракрасных лучей и т. д. При электродном прогреве для обеспечения требуемой температу-

ры бетона по мере твердения увеличивается напряжение электрического тока. Эффективность электропрогрева повышается по мере снижения плотности бетона за счет применения пористых заполнителей.

● **Способ электротермоса** используется в гидротехническом строительстве для разогрева массивных изделий и поддержания в течение определенного времени требуемой температуры после отключения тока.

Существенный эффект ускорения твердения бетона дает применение горячих бетонных смесей, быстро разогретых до 60...70°C непосредственно в процессе изготовления. Изделия, отформованные из горячих смесей, можно выдерживать способом термоса или подвергать дальнейшей ускоренной тепловой обработке. Положительной особенностью горячего формования является снижение деструктивных явлений при последующем форсированном режиме тепловой обработки.

### § 7.6. Контроль качества бетона

Для получения бетонов высокого качества и экономичности необходимо проводить постоянный контроль за их производством и на его основе управлять технологическими процессами, внося в них необходимые изменения и коррективы, учитывающие колебания свойств исходных материалов и условий производства и гарантирующие получение заданных свойств бетона при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах.

Контроль организуется на всех стадиях производства бетона и изделий из него и включает контроль свойств исходных материалов, приготовление бетонной смеси и ее уплотнение, структурообразование и твердение бетона и свойства готового материала или изделия (табл. 7.3). Для контроля используют различные способы и приборы. По полученным результатам вносят коррективы в состав бетона, параметры и режимы технологических операций на основе закономерностей, учитывающих влияние на свойства готового бетона различных технологических факторов. Для большей точности и надежности управления качеством бетона используют зависимости, полученные для условий конкретного производства. Эти зависимости должны постоянно корректироваться по результатам статистического контроля свойств бетона.

Для управления производством и качеством бетона используют вычислительную технику и автоматизированные системы управления. Для их работы требуется соответствующее математическое обеспечение, в частности использование математических моделей, которые связывают свойства бетона с качеством используемых материалов, составом бетона и условиями производства.

Таблица 7.3. Производственный контроль на заводе сборного железобетона

№ п/п	Этапы производственного фонда	Объект контроля	Этапы контроля
1	Приемка материалов	Цемент, добавки, заполнители	Определение физико-механических свойств
2	Производство полуфабрикатов	Бетонная смесь	Контроль за точностью дозирования, продолжительностью перемешивания и степенью подвижности (жесткости)
3	Формование изделий	Арматурные каркасы	Проверка размера каркасов, прочности сварных стыков
		Формы и опалубка	Проверка правильности сборки форм, качества опалубки и смазки форм
		Подготовка к бетонированию	Проверка положения арматурных каркасов и закладных частей, контроль степени напряжения арматуры
4	Тепловлажностная обработка	Бетонирование	Контроль за укладкой, продолжительностью и степенью уплотнения бетонной смеси
		Режим теплообработки	Контроль температуры, влажности и продолжительности теплообработки
5	Распалубка изделий	Готовое изделие	Контроль формы и размеров изделия, качества отделки
6	Прием изделий ОТК на склад готовой продукции. Выдача потребителю	Контрольные кубы	Определение прочности бетона, водонепроницаемости и морозостойкости
		Готовые изделия	Определение прочности бетона приборами без разрушения; прочности, жесткости натурными испытаниями; толщины защитного слоя

Управление качеством бетона осуществляется на основе пооперационного контроля производства. Для его проведения используют экспресс-методы, позволяющие быстро оценить свойства материала или параметры процесса, разрабатываются специальные полуавтоматические и автоматические средства, а также используется выборочная проверка объектов контроля. Для оценки свойств

цемент предложены рентгенографические и другие методы экспресс-анализа его минералогического состава и способы быстрого определения удельной поверхности цемента. По их результатам прогнозируется возможное влияние качества цемента на свойства приготовляемой бетонной смеси и бетона и при необходимости производятся изменения состава бетона и режима технологических операций.

Качество заполнителя может определяться электрофизическими и радиационными методами. Влияние заполнителя на свойства бетонной смеси сравнительно просто можно установить по результатам непосредственного испытания смеси: по ее сопротивлению перемешиванию или по оценке ее подвижности.

● При производстве железобетонных конструкций контролируются: 1) **отпускная прочность бетона** — для сборных конструкций без предварительного напряжения и сборных конструкций с предварительным напряжением, если отпускная прочность выше передаточной; 2) **передаточная прочность бетона** — для предварительно напряженных конструкций; 3) **прочность бетона в установленном проектной документацией промежуточном возрасте** — для монолитных конструкций (при снятии несущей опалубки и т. д.); 4) **прочность бетона в проектном возрасте** — для сборных и монолитных конструкций. Если отпускная или передаточная прочность более 90% от установленной для данного класса, то контроль прочности в проектном возрасте не производят. Контроль прочности ведут с использованием данных контроля предыдущих партий. На основе этого контроля определяют характеристики однородности прочности бетона и требуемую прочность бетона для последующего контролируемого периода. Прочность бетона в контролируемой партии  $R_{к.п}$  сравнивают с требуемой  $R_t$ . Если  $R_{к.п} \geq R_t$ , то партия конструкций принимается.

В настоящее время широко используют неразрушающие методы контроля прочности бетона, которые позволяют ориентировочно определить прочность в любой конструкции или на отдельном участке конструкции или изделия без их разрушения. Неразрушающие методы контроля прочности бетона условно можно разделить на две группы: механические, или поверхностные, и физические. В механических методах поверхность изделия или образца подвергают определенному виду механического воздействия, а о прочности бетона судят по сопротивлению, которое он оказывает этому воздействию. Для проведения подобных испытаний обычно применяют сравнительно несложные приборы и приспособления. Физические методы основываются на оценке прочности бетона по скорости прохождения через него ультразвука или по регистрации колебаний и других физических факторов. Эти методы позволяют определить прочность не только поверхностных, но и глубинных слоев бетона, выявлять внутренние дефекты в изделии, возникшие в процессе производства, при эксплуатации или в ходе испытания. Использо-

мые при испытании приборы обладают быстродействием и легко могут быть соединены с электронно-вычислительными машинами в единый испытательный комплекс.

?

1. Сопоставьте преимущества и недостатки стандового, поточного и конвейерного способов производства железобетона 2. Какие цели преследует предварительное натяжение арматуры? 3. Как зависит способ натяжения арматуры от вида выпускаемых изделий? 4. Выделите особенности разных способов уплотнения бетонных смесей. Почему наибольшее распространение получило уплотнение вибрацией? 5. Какую роль играет тепловлажностная обработка в производстве железобетонных изделий и как она осуществляется? 6. Как зависит режим тепловлажностной обработки от подвижности исходной бетонной смеси? 7. Какова схема производственного контроля качества изделий на заводе сборного железобетона?

## § 8.1. Общие сведения

● Строительный раствор — материал, полученный в результате затвердения рационально подобранной смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя и воды. От бетонов он отличается меньшей крупностью заполнителя и, как следствие, более высоким водосодержанием и пористостью. Для него справедливы закономерности, которые определяют подвижность бетонных смесей и прочность бетона, однако с учетом его структуры и состава.

Главной особенностью применения строительных растворов является укладка их тонкими слоями чаще всего на пористые основания без интенсивного механического уплотнения. Это предъявляет особые требования к свойствам раствора, который должен не только обладать высокой подвижностью, но и не терять ее быстро из-за отсоса части воды пористым основанием.

Для строительных растворов в большинстве случаев требуется сравнительно невысокая прочность. В связи с этим при их производстве особенно эффективно использование смешанных цементов, местных вяжущих материалов, разнообразных отходов производства (зол, шлаков, известе- и гипсосодержащих продуктов и т. д.).

● По виду вяжущих различают *известковые, гипсовые, цементные и смешанные растворы* (цементно-известковые, цементно-глиняные и др.). Выбор вяжущих при изготовлении растворов производится с учетом их назначения и марки, а также условий эксплуатации конструкций. Портландцемент и его разновидности рекомендуются для растворов М25 и выше. Известь и смешанные вяжущие на ее основе принимают в основном для растворов М10 и ниже. Независимо от марки раствора цементы служат в качестве вяжущих для растворов, эксплуатируемых при высокой влажности (более 60%).

Как и в бетонах, для улучшения свойств раствора и экономии вяжущего используют химические и тонкомолотые добавки.

● По плотности в сухом состоянии растворы делят на *тяжелые* средней плотностью 1500 кг/м<sup>3</sup> и более и *легкие* — плотностью менее 1500 кг/м<sup>3</sup>. В тяжелых растворах применяют природные кварцевые пески, гранулированные шлаки, продукты дробления плотных горных пород и металлургических шлаков. Легкие растворы изготавливают с использованием пористых песков из природных

(ракушечник, пемза и др.), искусственных материалов (перлита, вермикулита, керамзита, шлаковой пемзы и др.).

● По назначению основные виды строительных растворов — *кладочные* для каменных кладок, монтажа крупнопанельных стен и других конструкций зданий и сооружений; *отделочные* для обычных и декоративных штукатурок; *специальные* (инъекционные, тампопажные, гидроизоляционные, жароупорные, кислотоупорные и др.). Наибольшее применение в строительстве находят кладочные и отделочные растворы.

## § 8.2. Технология производства строительных растворов

Приготовление строительных растворов производится централизованно на специализированных заводах, а при малых объемах работ — на приобъектных передвижных установках. При большом сосредоточении строительных объектов создают районные бетоно-растворосмесительные заводы производительностью 100...200 тыс. м<sup>3</sup> товарного раствора в год.

● В последние годы получили развитие *автоматизированные предприятия* по выпуску растворных смесей (рис. 8.1), на которых по заданным программам не только изготавливают растворы различных видов и марок, но и с помощью ЭВМ выбирают оптимальные маршруты и графики доставки их на объекты. При комплексной автоматизации все механизмы снабжены автоматическим управлением, средствами контроля и связи, собранными на одном пульте. Регулирование основных процессов осуществляется с помощью специальной программы, зашифрованной на перфокарте. На централизованных заводах растворы изготавливают в виде пластичных или сухих смесей. В последнем случае смеси, имеющие влажность не более 1%, затворяются на месте производства работ. Для предохранения сухих смесей от комкования и потери активности цементом, а также улучшения ряда свойств в их состав вводят гидрофобизирующие добавки.

В состав растворного завода входят смесительные установки, склады сырьевых материалов, транспортное и вспомогательное оборудование.

● Для приготовления растворных смесей применяют *смесители принудительного действия*, работающие циклично или непрерывно. Цикличные растворосмесители выпускают производительностью: 30, 65, 125, 250, 400, 800, 1200 л готового замеса. Растворосмесители емкостью до 250 л по готовому замесу выпускают в передвижном исполнении, большей емкости — в стационарном. Емкость циклических смесителей может иметь корытообразную форму с горизонтальным расположением лопастных валов или чашеобразную с вертикальным валом. Легче всего смешиваются растворы, состоящие из песка и цемента или жидкого известкового теста. Продолжительность смешивания этих растворов 1,5...2 мин. Растворы на

легких песках, имеющих шероховатые зерна (например, на шлаковых песках), смешиваются труднее и не менее 2,5 мин, а растворы с тонкодисперсными добавками — 3...5 мин.

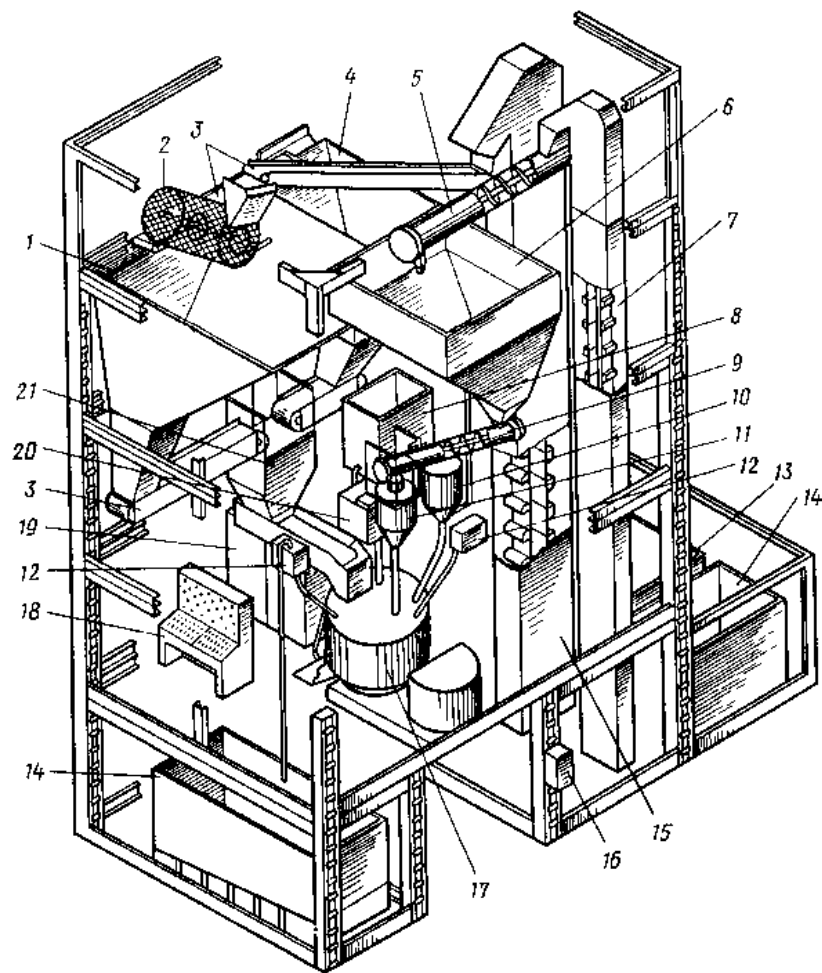


Рис. 8.1. Автоматизированная бетонорастворосмесительная установка:

1, 4, 6, 8, 13, 14 — расходные бункера песка, щебня, цемента, воды, извести и жидких добавок; 2 — пескосейлка; 3 — ленточные конвейеры; 5, 9 — винтовые конвейеры; 7, 15 — элеваторы для цемента и заполнителей; 10, 11, 12, 20, 21 — дозаторы извести, цемента, жидких добавок, воды и заполнителей; 16 — хвостовый аппарат; 17 — смеситель; 18 — пульт управления; 19 — масляная станция

В процессе приготовления растворных смесей дозировка компонентов производится по массе и корректируется при изменении вида, плотности и активности вяжущего, влажности и плотности заполнителя, вида пластифицирующей добавки. В растворосмеси-

тель сначала подают воду, затем заполнитель, вяжущее и пластификатор. Продолжительность перемешивания до получения однородной смеси зависит от типа смесителя, характеристики смеси, вида заполнителя, климатических условий и подбирается опытным путем.

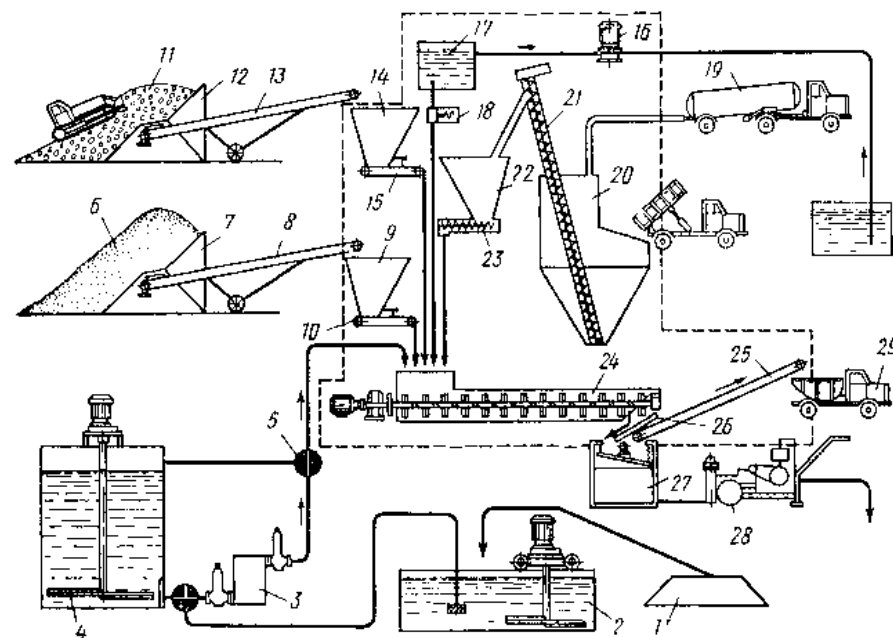


Рис. 8.2. Технологическая схема бетонорастворосмесительной установки непрерывного действия

1 — склад извести; 2 — бак известкового молока; 3 — насос-дозатор; 4 — бак известкового молока; 5 — кран; 6 — склад песка; 7, 12 — загрузочные устройства; 8, 13 — конвейеры; 9, 14, 22 — расходные бункера; 10, 15 — дозаторы заполнителей; 11 — склад щебня; 16 — насос; 17 — расходный бак воды; 18 — дозировочный вентиль; 19 — автоцементовоз; 20 — присыпный бункер цемента; 21 — винтовой конвейер; 23 — дозатор цемента; 24 — смеситель; 25 — конвейер выдачи бетонной смеси; 26 — лоток выдачи раствора; 27 — бункер с виброситом; 28 — растворонасос; 29 — автобетоновоз

Наряду со смесителями циклического действия для приготовления строительных растворов применяют машины непрерывного действия. Они позволяют процессы загрузки, перемешивания и выдачи готовых растворов производить непрерывно.

Циклические бетонорастворосмесительные установки оснащаются весовыми порционными дозаторами порошкообразных материалов, песка, воды и жидких добавок.

В установках непрерывного действия (рис. 8.2) для дозирования цемента и порошкообразных добавок при производительности до 5 м<sup>3</sup>/ч применяют объемные винтовые дозаторы, при большей производительности — дозаторы, состоящие из барабанных питателей и ленточных весовых конвейеров. Песок дозируется с помощью



конвейера, изменение дозировки регулируют высотой слоя на ленте конвейера. Жидкости дозируют с помощью специальных насосов.

При использовании в растворе извести ее предварительно разбавляют водой до получения известкового молока. Химические добавки также вводят в виде водных растворов. Глину добавляют в виде жидкого глиняного теста. Если песок содержит крупные включения, то его просеивают.

В зимних условиях растворы приготавливают в отапливаемых помещениях или вводят в них противоморозные добавки. Для получения заданной температуры растворной смеси песок и воду перед дозированием подогревают. Песок подогревают обычно с помощью регистров или непосредственно острым паром. Продолжительность перемешивания растворных смесей в зимних условиях увеличивают не менее чем на 25%. Температура песка должна быть не выше 60°C.

В качестве противоморозных химических добавок применяют поташ, нитрит натрия, нитрит кальция с мочевиной и другие вещества, снижающие температуру замерзания воды и не вызывающие вредных последствий при эксплуатации конструкций. Использование хлористых солей для понижения температуры замерзания растворов из-за образования высолов и коррозионного воздействия на арматуру допускается лишь для подземной неармированной кладки (фундаментов, подпорных стен и т. д.). Количество добавок назначают с учетом суточной температуры воздуха. При температуре  $-5...0^{\circ}\text{C}$  оно примерно равно 4...6%, при температуре  $-20...-6^{\circ}\text{C}$  равно 6...8% и при температуре  $-21...-30^{\circ}\text{C}$  равно 8...10% от массы цемента.

Растворы с добавкой поташа в количестве до 15% применяют при температуре воздуха до 35°C. Предельное содержание нитрита натрия составляет 10%, а температура, при которой его применяют,  $-20^{\circ}\text{C}$ , нитрата кальция с мочевиной (в соотношении 3:1 по массе) 15% и температура  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Строительные растворы с добавкой поташа сравнительно быстро загустевают. Для замедления их схватывания вводят добавку СДБ в количестве 0,3...1% от массы цемента, повышают подвижность смеси или снижают ее температуру до 1...5°C. Удобноукладываемость растворов с добавкой поташа повышают также введением глиняного теста до 40% объема цемента. Применение извести в этих растворах не рекомендуется. Эффективно приготовление сухих растворных смесей с затворением их раствором поташа на приобъектной установке.

При перевозке растворных смесей наряду с обычными транспортными средствами используют специальные авторастворовозы, позволяющие перемешивать (добуждать) раствор в пути. Для транспортирования растворов к месту работы и нанесения их на поверхность применяют растворонасосы производительностью 1...6 м<sup>3</sup>/ч. Растворонасосные установки включают, кроме насоса, бун-

кер с виброситом для приема и процеживания раствора, металлический трубопровод и форсунки для механизированного нанесения раствора на обрабатываемую поверхность. Подвижность перекачиваемых растворных смесей должна быть не ниже 6...10 см по стандартному конусу.

### § 8.3. Свойства растворных смесей и растворов

● Качество свежеприготовленной растворной смеси определяется в первую очередь ее **удобоукладываемостью**, т. е. способностью раствора укладываться на основании (кирпиче и т. д.) тонким однородным слоем. Удобноукладываемый (мягкий) раствор хорошо заполняет все неровности основания и равномерно сцепляется со всей его поверхностью; неудобноукладываемый (жесткий) раствор соприкасается с основанием лишь на отдельных участках, давая плохое сцепление и слой неодинаковой плотности.

Растворы, транспортируемые к месту укладки растворомасосами, должны перекачиваться легко и без расслоения по стальным трубам и резиновым шлангам.

Удобноукладываемость раствора зависит: от степени подвижности свежизготовленного раствора и его водоудерживающей способности. *Степень подвижности растворов* определяют по глубине проникания (в см) металлического стандартного конуса установленной формы и массы (300 г), который при погружении раздвигает песчинки. *Водоудерживающая способность* предохраняет раствор от расслоения на составные части при транспортировании и от потери слишком большого количества воды при укладке на пористые основания (кирпич, шлакоблоки и т. п.). Раствор с недостаточной водоудерживающей способностью будет садиться, т. е. очень быстро делаться жестким. Такая потеря удобоукладываемости затрудняет работу, понижает производительность труда каменщиков и уменьшает прочность кладки на 10...25%. Отсасывание воды пористым основанием может привести к такому «обезвоживанию» и усадке раствора, что он не будет иметь достаточного сцепления с основанием.

Раствор, обладающий водоудерживающей способностью, отдает пористому основанию излишнюю часть воды постепенно, от чего становится плотнее и, следовательно, прочнее. Укладывать кирпич на таком растворе удобно, швы получаются плотными и имеют хорошее сцепление.

Раствор получается удобноукладываемым, если все пустоты между зернами песка заполнены тестом, состоящим из вяжущего и воды, причем поверхность песчинок равномерно покрыта тонким слоем этого теста.

Так как поверхность зерен песка в 1 м<sup>3</sup> раствора весьма велика (при крупном песке около 5000 м<sup>2</sup>, а при мелком до 15000 м<sup>2</sup>),

то вяжущего теста (цементного, известкового и т. п.) на  $1 \text{ м}^3$  раствора требуется гораздо больше, чем на  $1 \text{ м}^3$  бетона. Практически для получения удобоукладываемого раствора на  $1 \text{ м}^3$  мелкого песка требуется около  $0,5 \text{ м}^3$  вяжущего теста, а на  $1 \text{ м}^3$  крупного песка — около  $0,35 \text{ м}^3$ . Однако сильно увеличивать объем теста путем добавления к нему воды нельзя, так как частицы вяжущего могут удерживать лишь определенное количество воды, зависящее от увеличения поверхности частиц и от способности их адсорбировать воду. Вода начинает сравнительно быстро отделяться от цементного раствора, если содержание ее больше 70...80% от массы цемента.

Хорошо погашенная известь может удерживать в строительном растворе около 200% воды. Поэтому известковый раствор оказывается гораздо более удобоукладываемым, чем цементный. В большинстве случаев от раствора требуется невысокая прочность — 0,2...10 МПа, а чаще 1,0...2,5 МПа. Для получения раствора такой прочности достаточно сравнительно небольшое количество цемента. Например, раствор, имеющий прочность при сжатии 2,5 МПа, можно получить, вводя на  $1 \text{ м}^3$  песка лишь 100 кг цемента М300. Однако при таком небольшом количестве цемента раствор будет неудобоукладываемым и легко расслаивающимся.

● Для получения нужной удобоукладываемости необходимо в 4...5 раз больше цемента, это экономически недопустимо, поэтому в растворы обычно вводят кроме цемента **специальные добавки — пластификаторы**, придающие смесям надлежащую удобоукладываемость.

Эти добавки бывают двух видов: а) *неорганические дисперсные* (тонкомолотые), способные хорошо удерживать воду и дающие с ней пластичное тесто (например, глины, известь, зола, молотые шлаки, диатомиты, молотые известняки и т. п.); б) *поверхностно-активные пластифицирующие в воздухововлекающие* добавки, позволяющие получить удобоукладываемый раствор при значительно меньшем количестве воды. Растворы с тонкомолотыми добавками называют смешанными цементно-известковыми, цементно-глиняными, гипсо-известковыми и т. п.

Даже к сравнительно «жирным» (т. е. содержащим много цемента) растворам, в которых на 1 ч. по объему цемента приходится 3,5...4 ч. песка, желательнее добавлять глиняное или известковое тесто в количестве 10...20% от объема цемента. Более же тощие растворы (содержащие на 1 ч. цемента свыше 4 ч. песка) всегда следует готовить с добавками.

Недостатком смешанных растворов является необходимость введения в них больших количеств дисперсных добавок (20...30% от массы цемента). Работы ряда советских исследователей (П. А. Ребиндера, Н. А. Попова, В. И. Сорокера и др.) показали, что удобоукладываемые растворы можно получить, вводя в них взамен дисперсных добавок весьма малые количества (0,03...0,2% от массы цемента) поверхностно-активных веществ.

При приготовлении растворов используют сульфитно-дрожжевую бражку (СДБ), мылонафт, омыленный древесный пек, подмыльный щелок, кубовые остатки синтетических жирных кислот и др. Сульфитно-дрожжевую бражку применяют в жирных растворах, так как при малых количествах цемента раствор с этой добавкой отделяет воду. Гидрофобизирующие добавки (мылонафт, омыленный древесный пек, подмыльный щелок и др.) улучшают удобоукладываемость и водоудерживающую способность как жирных, так и тощих растворов, причем последних даже в большей степени. Иногда применяют комплексные добавки, например сульфитно-дрожжевую бражку и кубовые остатки синтетических жирных кислот.

Улучшение удобоукладываемости раствора с добавками позволяет уменьшить расход воды и вяжущего вещества. Например, расход извести в известково-песчаных растворах уменьшается в 1,5...2 раза, а в цементно-известковых — в 3...4 раза; расход цемента уменьшается на 10...15%.

● Важнейшими свойствами растворов в затвердевшем состоянии являются: способность приобретать требуемую **прочность** при сжатии (марку раствора) к заданному сроку твердения; **морозостойкость**; хорошее сцепление раствора с основанием; малая величина и **равномерность деформаций** затвердевшего раствора под действием нагрузки, изменений влажности и температуры среды. Такие свойства раствор приобретает только при правильно подобранном зерновом составе и заполнителях размером не больше  $\frac{1}{4}... \frac{1}{8}$  толщины шва в кладке.

Поскольку отсасывание воды пористым основанием заметно влияет на прочность раствора, повышая ее иногда в 1,5...2 раза, для определения марки раствора образцы изготавливают в металлических формах без дна, устанавливаемых на кирпич. Водопоглощение кирпича должно быть более 10%, а влажность в момент приготовления образцов не выше 2%. Образцы до момента испытания хранят в условиях, соответствующих условиям будущей эксплуатации: после предварительной выдержки в течение 3 сут в камере нормального хранения образцы цементных или смешанных растворов для наземных конструкций хранят в помещении с относительной влажностью  $(65 \pm 10)\%$  и температурой 15...20°C, а для подводных и подземных конструкций — в воде. За марку раствора принимают предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут кубов  $7 \times 7 \times 7$  см или концов балочек  $4 \times 4 \times 16$  см.

Растворы делят на марки ( $\text{кгс/см}^2$ ): М4, 10, 25, 50, 75, 100 (в особых случаях, например для опор мостов, принимают растворы М150, 200, 300). Растворы М4, 10, 25 изготавливают преимущественно на местных вяжущих.

Основное значение для прочности кладки из камней правильной формы имеет прочность камней, а не марка раствора. Например, изменение прочности раствора при сжатии вдвое меняет проч-

ность кладки в среднем лишь на 10...15%. Поэтому подбор составов растворов не требует такой точности, как подбор состава бетонов, и может производиться по таблицам.

По морозостойкости растворы делят на марки: F10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и 300, зависящие от тех же факторов, что и морозостойкость бетонов. Более высокой морозостойкостью обладают растворы с поверхностно-активными добавками.

#### § 8.4. Растворы для каменных кладок и монтажа крупных элементов стен

Вид и состав растворов выбирают в зависимости от расчетных напряжений в кладке и условий эксплуатации.

● Для кладки, находящейся ниже уровня грунтовых вод, применяют вяжущее, хорошо твердеющее в воде: портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент. Кладку в сухих грунтах при небольших напряжениях ведут на известково-песчаных растворах.

● Для надземной кладки стен многоэтажных зданий используют портландцемент и шлакопортландцемент. Растворы для надземной кладки при небольших напряжениях приготавливают преимущественно на самых дешевых и недефицитных местных вяжущих: воздушной и гидравлической извести (составы раствора 1:4...1:6 по объему), известково-зольном, известково-шлаковом и др.

Растворы невысоких марок экономически выгодно готовить на цементах, имеющих относительно невысокую активность: портландцементе М300, шлакопортландцементе и пуццолановом цементе М200, 300. Для экономии цемента и получения надлежащей удобоукладываемости в кладочные растворы вводят неорганические (известь, глина) или органические пластификаторы.

Наибольший размер зерен песка в растворах для кладки из кирпича и крупных блоков 2,5 мм, для кладки из бутовых камней — 5 мм.

● Состав раствора выбирают на основе заданной марки раствора и степени подвижности раствора, необходимой по условиям производства работ.

Для кладки наружных стен зданий I степени долговечности при относительной влажности помещений менее 60% применяют цементно-известковые и цементно-глиняные растворы не ниже М10, при влажности помещений 60...75% — не ниже М25, при влажности свыше 75% — не менее М50. Для подземной кладки в маловлажных грунтах используют раствор не ниже М25, для кладки в очень влажных и насыщенных водой грунтах — М50. Для менее долговечных зданий наименьшая марка растворов может быть снижена на одну ступень.

Раствор для заполнения горизонтальных швов при монтаже здания из бетонных панелей в летних условиях применяют в осн-

ном не ниже М100 — для панелей из тяжелого бетона и не ниже М50 — для панелей из легкого бетона. Для расшивки швов в стенах из крупных блоков и панелей используют раствор М50.

Подвижность раствора, определяемую стандартным конусом, применяют в зависимости от назначения раствора: для заполнения и расшивки швов при монтаже стен из панелей и крупных блоков 5...7 см; кладки из кирпича и бетонных камней — 9...13 см; бутовой кладки — 4...6 см.

Кладку пористого кирпича ведут на более жидких растворах, плотного кирпича в холодную погоду — на более густых растворах.

В табл. 8.1 приведены примерные составы растворов для каменной кладки. Окончательный состав раствора устанавливают после опытной проверки выбранного по таблице состава.

Таблица 8.1. Ориентировочные составы растворов (в объемных частях)

Марка цемента	Требуемые марки растворов			
	25	50	75	100

*Растворы без добавок поверхностно-активных веществ — цемент : известковое или глиняное тесто : песок*

300	1 : 1,7 : 12	1 : 0,7 : 6	1 : 0,3 : 4	1 : 0,2 : 3
400	—	1 : 1 : 8	1 : 0,5 : 5	1 : 0,3 : 4

*Растворы с добавками мылонафта — цемент : известковое тесто : песок*

300	1 : 0,5 : 13	1 : 0,15 : 7	1 : 0,4 : 5	1 : 0,3 : 3
400	—	1 : 0,3 : 9	1 : 0,15 : 5,5	1 : 0,4 : 5

Данные табл. 8.1 относятся к песку средней крупности, имеющему влажность 2% и более. С применением мелких песков прочность растворов уменьшается на 25...35%, поэтому для получения растворов заданной марки приходится увеличивать относительное содержание цемента на 20...25%. Сухой песок требует больше цемента, чем влажный, так как при увлажнении песка до определенного предела его объем увеличивается.

В теплое время года, когда растворы твердеют быстрее, можно изготовить их с меньшим содержанием цемента; в холодное же время приходится вводить цемента на 10...20% больше, чем летом.

Для обеспечения достаточной долговечности материала расход цемента в цементно-известковых растворах должен быть не менее 75 кг на 1 м<sup>3</sup> песка, в цементно-глиняных — 100 кг. Для кладки ниже уровня грунтовых вод в зданиях с влажностью воздуха в помещениях более 60% этот минимальный расход цемента увеличивают на 25 кг.

При производстве работ в зимних условиях марку раствора обычно повышают на одну ступень, для заполнения горизонтальных

швов при монтаже панелей и крупных блоков применяют раствор М100. В растворы для заполнения и расшивки швов вводят добавку поташа или нитрита натрия. При температуре ниже  $-10^{\circ}\text{C}$  в раствор вводят 10% поташа или 5% нитрита натрия от массы воды затворения, при температуре ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  количество добавки увеличивают еще на 5%.

### § 8.5. Штукатурные растворы

● Штукатурка чаще всего состоит из нескольких слоев, причем каждый слой имеет особое назначение: 1) **подготовительный слой** (обрызг или набрызг толщиной 3... 8 мм обеспечивает сцепление штукатурных слоев с поверхностью основания; этот слой с силой набрасывают на увлажненное основание и не разравнивают, чтобы увеличить поверхность его сцепления со следующим слоем; 2) **основной слой грунта или намета** (5... 12 мм) служит для получения ровной поверхности; 3) **тонкий отделочный слой** (накрывка) имеет после разравнивания и затирки толщину в обычных штукатурках около 2 мм (в декоративных штукатурках иногда до 15 мм).

Каждый последующий слой наносят после окончания схватывания и начального затвердения предыдущего слоя. Штукатурные растворы обычно должны иметь большую подвижность и внутреннюю связность, а также меньшую расслаиваемость, чем растворы для кладки. Для ручного набрызга и грунта применяют растворы с подвижностью около 12 см (по стандартному конусу), а для механизированного — 9... 11 см для первого слоя и 6... 8 см для последующих.

В последнее время стали применять так называемую однослойную штукатурку, состоящую из одного штукатурного слоя, покрываемого тонкой беспесчаной накрывкой. При этом методе трудоемкость работ уменьшается примерно вдвое и успешно применяется механизация. Чтобы удержать основной слой штукатурки от оплывания в период нанесения, наброс раствора производят с помощью растворонасоса через переносную сетчатую опалубку, прикрепленную к основанию и отстоящую от него на расстоянии, равном необходимой толщине штукатурного слоя. После нанесения раствора и разравнивания слоя сетчатая опалубка переносится на другое место.

Для ускорения схватывания и сушки слоя штукатурки в состав раствора при его приготовлении вводят молотую негашеную известь.

Штукатурку наносят тонким слоем (2... 15 мм) и большей частью на основания, способные отсасывать из раствора воду. Поверхность соприкосновения раствора с воздухом и основанием очень велика, поэтому раствор теряет воду сравнительно быстро. Это способствует твердению растворов из гипсовых вяжущих и гашеной извести, но может неблагоприятно отражаться на твердении рас-

творов на цементе или на молотой извести-кипелке. Поэтому в последних двух случаях необходимо принимать меры для увлажнения основания и самой штукатурки.

Затвердевшие *известково-песчаные растворы* сравнительно хорошо сцепляются с кирпичом и относительно мало меняются в объеме при изменении влажности и температуры окружающего воздуха (примерно так же, как и кирпич).

При твердении штукатурного слоя, состоящего из известкового раствора, гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  переходит в поверхностной части слоя в углекислый кальций  $\text{CaCO}_3$ . Этим и объясняется сравнительно большая долговечность известково-песчаных штукатурок, наносимых на кирпичные стены. Поэтому, несмотря на небольшую начальную прочность, их широко применяют для штукатурки не только внутренних, но и наружных поверхностей кирпичных стен.

Однако в ряде случаев известково-песчаные растворы без добавок оказываются непригодными, например, для штукатурки цоколей, карнизов, парапетов и тому подобных открытых частей зданий, а также стен помещений, имеющих повышенную влажность. Кроме того, известковые растворы на гашеной извести медленно твердеют и долго просыхают. Для повышения скорости схватывания и твердения известковых растворов применяют молотую известь-кипелку.

Для получения быстротвердеющих, прочных и водостойких штукатурок используют *цементно-известковые растворы*. Чем влажнее среда эксплуатации, тем большую часть в растворе заменяют цементом. Если штукатурка будет подвергаться постоянному увлажнению, то лучше всего применять цементные растворы с добавкой гидрофобных поверхностно-активных веществ (мылонафта) или с активными кремнеземистыми добавками. Такие добавки не только повышают водостойкость штукатурки, но и уменьшают возможность образования солевых выцветов, портящих штукатурку и окраску. Введение гидрофобных добавок (0,05... 1% от массы вяжущего) повышает также морозостойкость штукатурки.

Скорость твердения и прочность известковых растворов можно значительно повысить введением в них строительного гипса. Такие *известково-гипсовые растворы* широко применяют для штукатурки главным образом деревянных и других поверхностей, находящихся внутри здания (потолки, перегородки).

Требования к материалам для штукатурных растворов выше, чем для кладочных. Например, из гашеной извести должны быть особенно тщательно удалены все непогасившиеся частицы. Для этого известковое тесто необходимо выдерживать, а в наиболее ответственных случаях процеживать известковое молоко через тонкое сито непосредственно перед применением.

Для тонких накрывочных слоев применяют песок, просеянный через сито с отверстием 1,2 мм, а иногда вовсе не вводят в раствор

песок (беспесчаные гипсо-известковые накрывки). Растворы для штукатурки смешивают особенно тщательно. Слои штукатурки наносят как вручную (при небольшом объеме работ), так и машинами (растворонасосами со специальными соплами и другими механизмами).

На прочность штукатурных слоев большое влияние оказывают условия, в которых они твердеют. Твердение штукатурки, в которой содержится цемент, при слишком быстром высыхании прекращается. Поэтому фасадные штукатурки, изготавливаемые на цементах, необходимо защищать от солнца и ветра (укрывать мокрыми рогожками, мешками и т. п.), а также интенсивно смачивать водой в течение первых 10...15 сут. Наоборот, известковые (на гашеной извести) и особенно гипсовые штукатурки могут разрушаться от последующего увлажнения. Кроме этого, известковые штукатурки на молотой кипелке от слишком быстрого обезвоживания во время схватывания и первоначального твердения навоеют на хорошо увлажненные основания, а в состав их часто вводят гипс, глину, молотый доменный шлак и тому подобные добавки.

Для экономии основных вяжущих (особенно цемента) при изготовлении растворов широко применяют местные шлаковые и другие вяжущие (особенно с добавкой молотой извести-кипелки), пробужденные (обработанные на бегунах) шлаки, а также пластификаторы или поверхностно-активные вещества. Последние улучшают перекачиваемость и уменьшают содержание воды в растворах, ускоряя тем самым их сушку.

● **Ориентировочные составы** обычных штукатурных растворов (в объемных частях) следующие.

*Известково-песчаные растворы* для кирпичных и каменных стен: состав 1:3 (известковое тесто:песок) — для подготовительных и основных слоев и около 1:2 — для отделочного слоя. При извести 1-го сорта песка берут немного больше; при извести 3-го сорта — немного меньше, чем указано выше; для растворов, перекачиваемых насосами, обычно требуются более жирные составы (около 1:2,5) или же составы с пластифицирующими добавками.

*Известково-гипсо-песчаные растворы* получают из описанных выше известково-песчаных растворов, добавляя к ним 0,2...1 ч. (по объему) гипса на 1 ч. известкового теста. Применяют их главным образом для оштукатуривания деревянных и внутренних поверхностей. Для карнизов, отделочных слоев и горизонтальных поверхностей (потолков) используют растворы с большим содержанием гипса, а для подготовительных слоев и вертикальных поверхностей (стен) — с меньшим.

*Цементно-известковые растворы* служат для штукатурки тех частей наружных и внутренних поверхностей, которые подвергаются систематическому увлажнению. Для цоколей и наружных карнизов чаще всего используют растворы состава 1:1:6 или

1:5...1:6 с добавкой мылонафта, а для внутренних поверхностей — 1:2:9.

*Растворы из молотой негашеной извести* используют для ускорения твердения и сушки известковых растворов. Примерные составы растворов для штукатурки (по данным Б. В. Осина) следующие: а) для кирпичных стен — 1 ч. (по объему) молотой кипелки, 0,5...1,5 ч. глиняного теста, 4...8 ч. песка. При низкоактивной извести и зимой глины и песка берут меньше; при высокоактивной извести и летом — больше; б) для деревянных поверхностей — 1 ч. молотой кипелки, 0,1...0,3 ч. гипса, 3...5 ч. песка; в) для отделочного слоя, карнизов и т. п. — 1 ч. молотой кипелки и 3 ч. мелкого песка; этот раствор схватывается так же быстро, как и гипсовый.

*Декоративные растворы* применяют при отделке наружных и внутренних стен зданий. Используют цветные цементно-песчаные, известково-песчаные, терразитовые, камневидные, полимерцементные, цементно-коллоидные и другие декоративные составы. Вяжущими в декоративных цементных растворах могут служить обычный портландцемент, разбеленный известью или белой каменной мукой, и цветные портландцементы. Цвет растворам могут придавать пигменты и наполнители из природных или дробленых материалов. Для придания блеска поверхности отделочного слоя в декоративные растворы добавляют слюду или дробленое стекло. Декоративные растворы для оштукатуривания фасадов изготавливают не ниже М50 с морозостойкостью не менее Г35.

Растворы для терразитовых штукатурок получают из сухой цветной смеси заводского производства. В смесь входят портландцемент, известь-пушонка, белая мраморная или известняковая мука и крошка, кварцевый песок, слюда и пигмент. Фактура терразитовой штукатурки различается в зависимости от предельной крупности наполнителя. Терразитовые смеси выпускают трех марок: М — мелкая смесь (заполнитель крупностью 1..2 мм), С — средняя (2...4 мм) и К — крупная (4...6 мм).

В растворах для камневидных штукатурок смешивают белый или разбавленный портландцемент с пигментом и наполнителем из цветной каменной крошки и песка. Рецептура камневидных штукатурок зависит от имитируемой породы камня. Например, для имитации красного гранита применяют смесь из 1 ч. по массе пигментируемого вяжущего (белый портландцемент — 25%, обычный портландцемент — 69%, охра желтая — 2%, сурик — 4%) и 3 ч. наполнителя (красная гранитная крошка — 40%, серая гранитная крошка — 40% и крошка лабрадорита — 20%).

Полимерцементные декоративные растворы, используемые для декоративных отделок, включают наполнитель из различных видов крошки: гранитной, стеклянной, керамической, угольной, пластмассовой с размером частиц 2...5 мм на клеящем полимерцементном составе (внешняя отделка) или вододисперсионной краске (отделка интерьеров). Декоративная крошка с помощью сжатого воз-

духа наносится на поверхность, обработанную клеящим составом, а затем защищается кремнийорганическим гидрофобизирующим покрытием.

### § 8.6. Специальные растворы

В группу специальных растворов входят гидроизоляционные, тампонажные, инъекционные, растворы для полов, акустические, рентгенозащитные, жаростойкие, кислотостойкие и другие растворы специального назначения.

● **Гидроизоляционные растворы** служат для устройства стяжек и покрытий, зачеканки швов труб, растресканных труб, торкретирования сооружений, фильтрующих воду. Для получения их применяют портландцемент и его разновидности, водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) и другие цементы не ниже М400. С повышением активности цемента водонепроницаемость растворов существенно повышается. При назначении составов гидроизоляционных растворов решающее значение имеет величина водоцементного отношения, которая обычно составляет 0,3...0,5.

Эффективным способом повышения водонепроницаемости растворов является введение пластифицирующих, гидрофобных, микронаполняющих, активных минеральных, коагулирующих и полимерных добавок. Механизм действия всех добавок сводится к повышению плотности растворов.

Микронаполнители — высокодисперсные порошки, позволяющие обеспечить создание плотной тонкозернистой структуры растворов и уменьшить объем седиментационных пор. Различные разновидности бентонитовых глин и активные минеральные добавки из осадочных пород позволяют повысить водонепроницаемость за счет значительного набухающего эффекта. Химические уплотняющие добавки — хлориды кальция, натрия, алюминия, железа, азотнокислый кальций, фтористые и кремнефтористые соли коагулируют (закупоривают) поры растворов. Эффективно применение этих добавок в сочетании с ПАВ, что замедляет начальные процессы твердения и образования коагуляционных структур и способствует уплотнению растворов. Из коагулирующих добавок широко используют азотнокислый кальций, добавка которого с водой затворения в количестве 0,5...1% повышает водонепроницаемость цементных растворов в 2...3 раза. Азотнокислый кальций в отличие от хлоридов не вызывает коррозии арматуры.

Пластифицирующие ПАВ позволяют повысить плотность растворов за счет уменьшения водоцементного отношения и, как следствие, объема открытых капиллярных пор. Большую группу добавок, вводимых в растворы для повышения водонепроницаемости, составляют гидрофобные вещества. В строительстве распространены растворы с добавкой церезита, получаемого из олеиновой кислоты, извести, аммиака и водного раствора сернокислого аммония.

Церезит представляет собой сметанообразную массу, состоящую из нерастворимых частиц (30...40%), взвешенных в воде. В растворы его вводят в виде церезитового молока. Близким к церезиту является ряд других добавок, включающих растворы солей жирных кислот и белковых продуктов.

В последние годы для повышения водонепроницаемости все большее применение находят комбинированные добавки. Так, для заделки стыков панелей и труб предложены водонепроницаемые расширяющиеся растворы с добавкой алюминиевой пудры (0,01%), сульфитно-дрожжевой бражки (0,15%), хлорида кальция (2%) и сернокислого глинозема (2%). Для повышения водонепроницаемости и морозостойкости растворного слоя используют торкретирование, т. е. нанесение раствора на поверхность под давлением сжатого воздуха с помощью цемент-пушки. Сухая цементно-песчаная смесь состава 1:1...2:1 затворяется водой при выходе из сопла и с высокой скоростью набрызгивается на основание. Торкрет выполняют обычно в два-три захода общей толщиной 25...30 мм. Введение при торкретировании комплексных добавок, содержащих пластификатор и ускоритель твердения, позволяет снизить В/Ц и увеличить толщину слоя за один проход. Улучшение свойств гидроизоляционного покрытия достигается при торкретировании коллоидного цементного раствора, получаемого на основе цемента, размоленного совместно с частью песка.

● **Тампонажные растворы** применяют для заполнения трещин и пустот в горных породах при создании противофильтрационных завес, уплотнения и обжатия туннельных отделок и т. д. Нагнетание растворов под давлением в трещины и поры грунта или дефекты кладки называют цементацией. Цементацию широко применяют, например, в гидротехническом строительстве при укреплении оснований из гречиноватых пород при возведении высоких плотин. Кроме необходимости подвижности, однородности и водостойкости для тампонажных растворов характерна достаточная водоотдача под давлением с образованием в гречиных и пустотах водонепроницаемых тампонов, а также прочность и стойкость к действию подземных вод. Эти свойства достигаются пластификацией растворов, применением высокодисперсных цементов, использованием скоростных турбулентных смесителей. При обычных условиях вяжущим в тампонажных растворах служит портландцемент, при воздействии папорных и агрессивных вод — тампонажные, пуццолановые и шлакопортландцементы. При выборе В/Ц для тампонажных растворов учитывается трещиноватость цементируемых горных пород. Водоцементное отношение раствора изменяется в процессе нагнетания. Цементацию обычно начинают при очень высоком В/Ц, которое затем постепенно уменьшается. Марки по пористости тампонажных растворов: 25, 50, 75 и 100, плотность их составляет 1650...2000 кг/м<sup>3</sup>.



● **Инъекционные растворы** служат для заполнения каналов предварительно напряженных железобетонных конструкций и обеспечивают совместную работу арматуры с бетоном и защиту ее от коррозии. В качестве инъекционных растворов служат цементные тесты или цементно-песчаные смеси. Вязкость инъекционного раствора должна обеспечивать его свободное перемешивание по каналу, плотное его заполнение и минимальное водоотделение (менее 2%). С этой целью В/Ц растворной смеси выбирают в интервале 0,35 ... 0,45, применяют цемент с нормальной плотностью не более 28%, вводят молотый или мелкий кварцевый песок крупностью не более 1 мм, пластифицирующие добавки. Подвижность инъекционных растворов составляет 7 ... 8 см по погружению стандартного конуса. Содержание песка в инъекционных растворах обычно не превышает 25% массы цемента. Расход цемента в растворах без песка колеблется от 1300 до 1600 кг/м<sup>3</sup>, при добавлении песка — 1100 ... 1300 кг/м<sup>3</sup>. Марка инъекционных растворов по прочности назначается не ниже М300.

● **Растворы для полов** применяют цементно-песчаные, террасовые и полимерцементные.

*Цементно-песчаные растворы* используют для устройства стяжек и укладки плиточных полов. При устройстве стяжек используют растворы М150 и 200 состава 1 : 3 с подвижностью смеси 4 ... 5 см. Для наливных стяжек по сыпучим материалам (песку, шлаку) применяют подвижные растворные смеси с погружением конуса 11 ... 13 см.

К растворам для подстилающего слоя при креплении облицовочных плиток предъявляют требования повышенной адгезионной способности, которая обеспечивается правильным подбором состава, снижением усадочных деформаций при твердении, выбором оптимальной толщины слоя. Для уменьшения усадки в растворах увеличивают содержание заполнителя, вводят добавки негашеной извести, двуводного гипса.

*Полимерцементные растворы* для устройства полов особенно эффективны, так как обладают повышенным сопротивлением удару, растягивающим и динамическим воздействиям, коррозионной стойкостью. Для покрытий полов распространение получили цементные растворы с добавками поливинилацетатной эмульсии (ПВА) и синтетического латекса. Полимерные добавки вводят в растворную смесь с водой затворения. Для предотвращения коагулирования латексов применяют стабилизаторы в количестве 2 ... 10% массы полимера (смеси на основе казеина и др.). Оптимальное полимерцементное отношение в растворах составляет 0,15 ... 0,20. Для полимерцементных растворов характерно существенное улучшение адгезионных свойств, что позволяет их с успехом использовать и при облицовке поверхностей. Прочность крепления плитки с помощью полимерцементного раствора в несколько раз больше прочности крепления обычным цементно-песчаным раствором. Добавка поли-

меров значительно повышает сопротивление растворов истиранию, их широко применяют для бесшовных покрытий полов общественных зданий и промышленных предприятий с высокой интенсивностью движения. Используя белый цемент, пигменты и подбирая окрашенные заполнители, можно из полимерцементных растворов изготавливать цветные и террасовые покрытия.

● **Акустические растворы** представляют собой разновидность легких растворов с плотностью 600 ... 1200 кг/м<sup>3</sup>. Применяют их для снижения уровня шума. Растворы состоят из однофракционных песков крупностью 3 ... 5 мм из легких пористых материалов. Такие заполнители образуют большой объем и поверхность пор и способствуют поглощению значительной части энергии звуковых волн.

В строительстве применяют *цементно-пемзовые, гипсо-пемзовые, цементно-шлаковые* и другие акустические растворы. Соотношение вяжущего и заполнителя в акустических растворных смесях обычно 1 : 4, оно должно обеспечить создание в структуре раствора открытых незамкнутых пор.

1. Что называют строительным раствором? 2. Какие вяжущие используют при изготовлении строительных растворов? 3. Как обеспечивается возможность работы со строительными растворами в зимних условиях? 4. Охарактеризуйте основные этапы приготовления строительных растворов. 5. Как определяется марка строительных растворов? 6. Перечислите специальные строительные растворы. 7. Особенности свойств кладочных растворов.

## § 9.1. Общие сведения

● Керамическими называют строительные материалы и изделия, получаемые обжигом до камневидного состояния различных глиняных и им подобных масс.

● По характеру строения черенка различают керамические материалы пористые (неспекшиеся) и плотные (спекшиеся). Пористые имеют землистый излом, шероховатую поверхность; они могут впитывать 5... 20% воды. Плотные материалы и изделия имеют блестящий излом, гладкую поверхность; они не пропускают воду, так как их пористость менее 5%. К пористым изделиям относятся: керамические кирпичи, блоки, камни, черепица, дренажные трубы и др.; к плотным — плитки для полов, канализационные трубы, санитарно-технические изделия из полуфарфоровых и фарфоровых масс. Как пористые, так и плотные керамические материалы и изделия выпускают полнотелыми и пустотелыми.

● По назначению строительные керамические изделия классифицируют следующим образом: *стенные* — кирпич строительный обыкновенный, кирпич и камни пустотелые и пористые, крупные блоки и панели из кирпича и камней; *для перекрытия* — пустотелые камни, балки и панели из пустотелых камней; *для наружной облицовки* — кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические фасадные; *для внутренней облицовки и оборудования зданий* — плиты и плитки для стен и полов, санитарно-технические изделия; *кровельные* — черепица; *трубы* — дренажные и канализационные.

Разнообразный ассортимент керамических изделий, высокая прочность, негорючесть и долговечность позволяют использовать их при строительстве всех частей промышленных и гражданских зданий.

## § 9.2. Сырье для производства керамических изделий

Основным сырьем для производства керамических изделий являются глинистые материалы: глины, каолины, суглинки, глинистые сланцы, лёссы.

● Глины — землистые или обломочные горные породы, способные образовывать с водой пластичное тесто, при высыхании сохраняю-

щее приданную ему форму, а после обжига приобретающее твердость камня. По условиям образования различают глины: остаточные и перенесенные. Остаточные глины обычно засорены частицами горной породы, из которой они образовались. Перенесенные глины более дисперсны, свободны от крупных фракций материнских пород, но могут быть засорены несом, известняком и т. п. Свойства глин определяются их составом: химическим, минералогическим, гранулометрическим.

Химический состав глин колеблется в широких пределах (по массе): 45... 80%  $\text{SiO}_2$ ; 8... 28% ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ); 2... 15%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 0,5... 25%  $\text{CaO}$ ; 0,0... 4%  $\text{MgO}$ ; 0,3... 5%  $\text{R}_2\text{O}$ . Изменения химического состава заметно отражаются на свойствах глин. Так, при повышенном содержании  $\text{SiO}_2$ , не связанного с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в глинистых минералах, уменьшается связующая способность глин, растет пористость обожженных изделий и снижается их прочность. Соединения железа, являясь сильными плавнями, понижают огнеупорность глин.  $\text{CaCO}_3$  уменьшает огнеупорность и интервал спекания, увеличивает усадку при обжиге и пористость, что в свою очередь снижает прочность и морозостойкость изделий. Щелочи понижают температуру спекания глины. Химический состав глин определяет и цвет обожженного черенка. Он зависит главным образом от содержания оксидов железа, которые окрашивают керамические изделия в красный цвет при избытке в печи кислорода и темно-коричневый или даже в черный при его недостатке.

Глины бывают поли- и мономинеральные. В керамической промышленности чаще применяют мономинеральные каолилитовые огнеупорные глины, состоящие в основном из минерала каолинита  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , и каолины. Последние отличаются от глин большей однородностью минералогического состава, более крупнокристаллическим строением и меньшей пластичностью. Помимо глинистых минералов, в состав глин входят кварц, слюда, полевые шпаты, кальцит и т. д. Минералогический состав определяет формовочную способность глинистого сырья, его поведение при обжиге, весь комплекс свойств как полуфабриката, так и готовых изделий.

Гранулометрический состав глинистого сырья характеризуется большим разнообразием. Глинистая часть с размером частиц менее 5 мкм составляет в разных породах 8... 60%, содержание пылеватой части (5... 50 мкм) — 6... 55%, песчанистой (от 50 мкм до 2 мм) — 1... 32%. Основные свойства сырья определяет содержание глинистого вещества. Рост его придает глинам повышенные пластичность и сопротивляемость размоканию в воде, но увеличивает воздушную и общую усадку и чувствительность к сушке. Последняя также возрастает при повышении содержания в глинах пылевидной фракции.

Лёссы и суглинки представляют собой разновидности глинистого сырья, в котором пылевидная фракция представлена главным образом кремнеземом, карбонатом кальция, оксидами железа. Лёс-

сы всегда содержат глину в виде тонкой пленки на поверхности зерен.

Глинистые минералы отличаются ярковыраженной слоистой структурой. При смачивании водой они набухают, так как поглощаемая вода располагается между отдельными слоями их кристаллических решеток. При этом происходит значительное увеличение межплоскостных расстояний. При сушке глины имеет место обратный процесс, сопровождающийся усадкой. Свойства глин характеризуются их пластичностью, связностью и связующей способностью, отношением к сушке и к действию высоких температур.

*Пластичность* характеризуется способностью глин образовывать при затворении водой тесто, которое под действием внешних усилий может принимать заданную форму без образования трещин и сохранять эту форму после прекращения действия усилий. Пластичность глины характеризуют числом пластичности

$$П = \omega_t - \omega_p,$$

где  $\omega_t$  и  $\omega_p$  — влажность соответственно предела текучести и раскатывания в жгут, %.

По пластичности глины разделяют на высокопластичные ( $П \geq 25$ ), среднепластичные ( $П = 15 \dots 25$ ), умереннопластичные ( $П = 7 \dots 15$ ), малопластичные ( $П < 7$ ) и непластичные. Степень пластичности глины зависит от минералогического и гранулометрического составов, формы и характера поверхности зерен, содержания в глине растворимых солей и органических примесей и количества воды, взятой для приготовления глиняной массы. Пластичность можно повысить добавлением высокопластичных глин, а понизить добавлением непластичных материалов (кварцевого песка, шамота, шлака, древесных опилок), называемых отошителями. Естественная пластичность глин может быть также повышена искусственно за счет увеличения его дисперсности путем промораживания, вылеживания, отмучивания, механической обработки на бегунах, обработки паром, вакуумирования.

*Связность и связующая способность* — способность глиняного теста сохранять при высыхании приданную ему форму. Усилие, необходимое для разделения частиц глины, показывает степень связности. Связующая способность глины определяет возможность связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочное изделие заданной формы. Глины, содержащие повышенное количество глинистых фракций, обладают более высокой связностью. С увеличением содержания песчаных и пылевидных фракций связующая способность глины понижается.

*Сушильные свойства* характеризуют отношение пластичного глиняного теста к сушке. Важнейшее из них — воздушная усадка — уменьшение в объеме глиняного теста при удалении воды, выражаемое в % от первоначального размера образцов. Обычно воз-

душная усадка составляет 2...20%. Она зависит от первоначальной влажности материала, его химико-минералогического состава и режима сушки. Глины особенно чувствительны к режиму сушки и склонны к трещинообразованию.

Термические свойства глин — огнеупорность и огневая усадка — проявляются при высокотемпературном обжиге.

*Огнеупорность* — способность керамических изделий противостоять воздействию высоких температур, не расплавляясь. Различают глины огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. *Огнеупорные* глины имеют огнеупорность не ниже 1600 °С. Они отличаются высоким содержанием глинозема (до 40% и более) и незначительным содержанием легкоплавких примесей (не более 3%  $Fe_2O_3$ ). *Тугоплавкие* глины имеют огнеупорность 1350...1580 °С, содержат небольшое количество кварца, полевого шпата, слюды, карбонатов. Применяют их главным образом для производства облицовочного кирпича, плиток для пола, канализационных труб. *Легкоплавкие* глины имеют огнеупорность ниже 1350 °С. Они наиболее распространены и разнообразны по составу. В них присутствуют примеси песка, известняка, оксидов железа, слюды, органических веществ. Применяют такие глины для производства кирпича, блоков, черепицы и других материалов и изделий.

*Огневая усадка* — уплотнение и сокращение общего объема материала, происходящее за счет плавления при нагревании легкоплавких составляющих глин, заполнения промежутков между твердыми зернами и сближения их в результате сил поверхностного натяжения. Огневая усадка тем выше, чем больше температура обжига. Для глин она колеблется в пределах 2...8%.

Глинистое сырье редко применяют в чистом виде. Чаще его используют вместе с различными добавочными материалами, которые разделяют на: отошующие, выгорающие материалы, плавни и добавки специального назначения.

● **Отошующие материалы** вводят в состав глинистых масс для регулирования их пластичности, улучшения сушильных и обжиговых свойств, сокращения продолжительности сушки и обжига изделий. Они не должны содержать крупных зерен (более 2 мм), а содержание частиц менее 0,25 мм не должно превышать 20%. Чаще применяют кварцевый песок и маршалит — природный пылевидный кварцевый материал высокой степени дисперсности. Из искусственных отошителей хорошо зарекомендовал себя шамот, получаемый обжигом при 1000...1700 °С огнеупорных и тугоплавких глин с последующим измельчением. В последнее время расширилось применение в качестве отошителей шлаков и зол. Это позволяет сократить расход топлива.

● **Выгорающие (порообразующие) добавки** способствуют снижению пластичности глин, повышению пористости изделий, более равномерному их обжигу, сокращению расхода топлива. Хорошо себя зарекомендовали как выгорающие добавки древесные опилки. Бу-

дучи волокнистым материалом, они армируют глиняную массу, повышая ее сопротивление разрыву и трещиностойкость при сушке. С теми же целями применяют порошок каменного угля, торф и т. д.

● **Плавни** применяют для повышения степени спекания глины и снижения температуры спекания. Различают два вида плавней. К первому относятся вещества, флюсирующие действие которых обусловлено низкой температурой их плавления (полевые шпаты, пигменты, сиециты). Второй вид плавней — это материалы с высокой температурой плавления, но образующие при взаимодействии с компонентами керамической массы при нагревании легкоплавкие соединения. К таким материалам относятся доломит, магнезит, мел.

● **Добавки специального назначения** улучшают цвет изделий, предотвращают выцветы, нейтрализуют вредное влияние природных включений в глинах. К ним относят красители, жидкое стекло, поваренную соль и др.

Несмотря на обширный ассортимент керамических изделий, разнообразие их свойств и видов сырья, основные этапы производства керамики — общие. Это добыча сырьевых материалов, подготовка сырьевой массы, формование изделий (сырца), их сушка, обжиг, обработка изделий (обрезка, глазурирование и пр.) и упаковка. Выбор конкретной технологической схемы определяется свойствами сырья, типом изделий, объемом производства, способом подготовки сырьевых материалов. При этом различия технологических схем проявляются в способах переработки сырья и подготовки массы (пластический, полусухой и шликерный), так как последующие процессы — формование, сушка и обжиг — не имеют существенных отличий.

### § 9.3. Подготовка керамических масс

Глины обычно залегают на небольшой глубине при мощности вскрыши 0,3 ... 1,0 м. Вскрышу удаляют скреперами, бульдозерами, экскаваторами или размывают гидромониторами. Добычу глины ведут открытым способом экскаваторами. Выбор последних определяется мощностью и характером залегания глиняного пласта. Особенно перспективно использование роторных экскаваторов, отличающихся маневренностью и большой производительностью (400 ... 800 м<sup>3</sup>/ч). Транспортируют глину с карьера на завод железнодорожным или автогруппами, а также ленточными транспортерами в зависимости от объема перевозок и местных условий. Добычу глины стремятся осуществлять в теплое время года, создавая запас материала на складе для работы зимой. Промежуточное складирование и связанные с ним перевалки сырья вместе с тем способствуют усреднению влажности и состава глины, улучшению ее формовочных и сушильных свойств.

● **Подготовка сырьевых материалов** состоит в разрушении природной структуры глины, удалении или измельчении крупных включений, смешении глины с добавками и увлажнении глиняной массы.

Дозирование компонентов глиняной массы осуществляется питателями. Они не только дозируют, но и частично разрыхляют и дробят сырьевые материалы. Дальнейшее измельчение глины происходит в машинах различного типа (рис. 9.1). Сухие плотные глины измельчают в стругачах, молотковых дробилках, дезинтеграторах

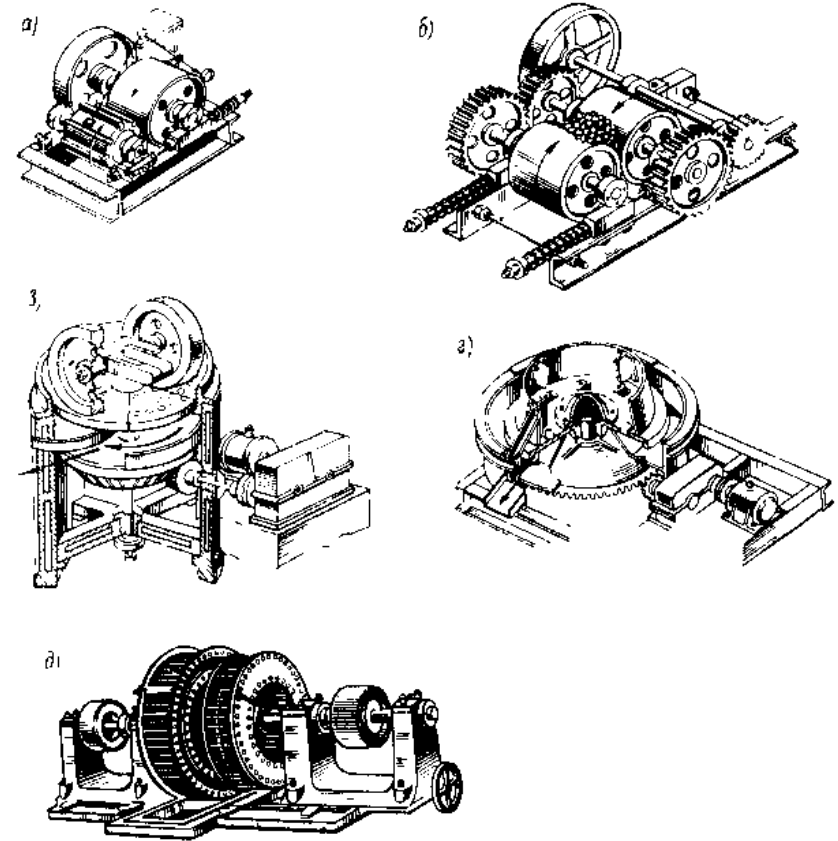


Рис 9.1. Механизмы для измельчения глины:  
 а — вальцовая дробилка с гладкими вальцами; б — дезинтеграторные вальцы;  
 в — бегуны, г — вожевая глинорезка, д — дезинтегратор

рах и бегунах. Пластичные влажные глины без твердых включений растирают на вальцах. При наличии твердых включений глины перерабатывают в бегунах, дезинтеграторных или камневыделительных вальцах. Хорошее качество глиняных масс получают при использовании бегунов. Прочность обожженных изделий из массы, обработанной на бегунах, повышается на 25 ... 30%, но они имеют малую производительность, повышенный расход электроэнергии, высокую металлоемкость.

Особенно широкое применение нашли при переработке глины вальцы различного типа. Они в 1,5 раза производительнее, в 4 раза менее металлоемки и в 1,8 раза экономичнее по потреблению электроэнергии, чем бегуны. Стабильного тонкого измельчения достигают при ступенчатом измельчении массы (2...3 пары валцов).

В зависимости от вида исходного сырья и изготавливаемой продукции подготовку керамических масс осуществляют полусухим, пластическим и шликерным (мокрым) способами. При полусухом способе производят глину измельчают и подают на формование с влажностью 8...12%. При пластическом способе подготовки глину перемешивают в глиносмесителе с отощителем и водой до получения однородной пластичной массы с влажностью 20...25%. По шликерному способу измельченные материалы смешивают с большим количеством воды (45...60%) до получения однородной массы — шликера.

● **Полусухой способ переработки сырья и подготовки массы** применяют в производстве обыкновенного и эффективного кирпича, пустотелых камней при использовании сырья пониженной влажности. Она включает следующие технологические операции: добычу глины, ее грубое измельчение, сушку, помол и отделение грубых фракций, смешивание глины и отощающих добавок, увлажнение. Грубое измельчение производят в стругачах, зубчатых или дезинтеграторных вальцах. Поскольку глина поступает на завод, как правило, влажностью 15...25%, ее перед помолом высушивают в сушильных барабанах при температуре не более 110°C (во избежание потери глиной пластичности и связующей способности). Влажность высушенной глины в зависимости от размера кусков колеблется в пределах 2...13%.

Высушенную глину измельчают в дезинтеграторах, бегунах, роторных и центробежных мельницах. Наиболее производительны и экономичны дезинтеграторы и центробежные мельницы. Крупные фракции отделяют на виброситах или воздушных сепараторах и возвращают на измельчение. Наиболее экономично совмещение сушки и измельчения глины в одном аппарате, например, в шахтной мельнице. Поток горячих газов подхватывает мелкие частицы материала и транспортирует их в циклоны. Крупные зерна возвращаются в мельницу. Процесс легко поддается автоматизации и позволяет получать материал любой заданной дисперсности и влажности.

Перемешивание измельченной глины с непластичными материалами и увлажнение водой или паром осуществляют в двухвалковых смесителях. Лучшие результаты показали шахтные пароувлажнители с вертикальным расположением труб и принудительным отбором массы снизу.

Набухание глинистых частиц, увлажненных пропариванием, протекает в 3 раза быстрее, чем при увлажнении водой. Прогрев порошка перед прессованием повышает его пластические свойства,

способствует снижению прессового давления и получению полуфабриката более высокого качества. Считается, что нагрев массы при прессовании на каждые 10° равноценен повышению ее влажности на 1%.

● **Пластический способ** подготовки глиняных масс включает: добычу глины, дробление ее и отощающих добавок, смешение и предварительное увлажнение глины и отощающих добавок, тонкое измельчение шихты, приготовление глиняного теста. Изделия высокого качества могут быть получены только при полном разрушении исходной структуры глины, тонком измельчении и тщательном перемешивании расходных материалов до получения однородной пластичной массы.

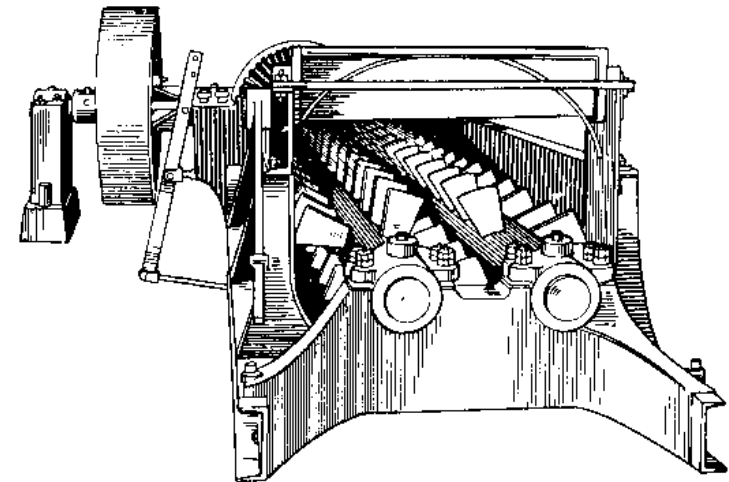


Рис 9.2 Глиносмеситель

Дробленые глины и отощающие добавки дозируют для предварительного перемешивания в смеситель. При необходимости сюда же подают воду или пар. Окончательное тонкое измельчение пластичных глиняных масс производят перетиранием в гладких или зубчатых вальцах, на бегунах и в других механизмах. При растирании глины улучшаются их формовочные и сушильные свойства. Лучшие результаты получают при переработке масс с влажностью, близкой к формовочной. Если в составе масс присутствует высоковязкая пластичная глина, медленно впитывающая воду, то их дополнительно обрабатывают в глиносмесителях (рис. 9.2) с водяным или паровым увлажнением. Масса, прогретая паром, лучше формируется при пониженной влажности, расход мощности при формовании снижается на 20...25%, производительность прессов повышается на 8...10%, срок сушки сокращается на 40...50%. Более равномерное распределение влаги в полуфабрикате повышает прочность сырца и изделий, снижает брак.

Для получения высококачественных тонкостенных изделий, например черепицы, фасадных плиток, увлажненную массу подают в гомогенизатор, представляющий собой башню высотой около 7 м и диаметром 5,6 м, вращающуюся на опорном кольце. В башне масса вылеживается несколько суток и распадается на мельчайшие зерна. Вылеживание предварительно переработанной и увлажненной глины почти на 20% повышает производительность глиноперерабатывающего оборудования, улучшает сушильные свойства глины, прочность изделий на 20...30%.

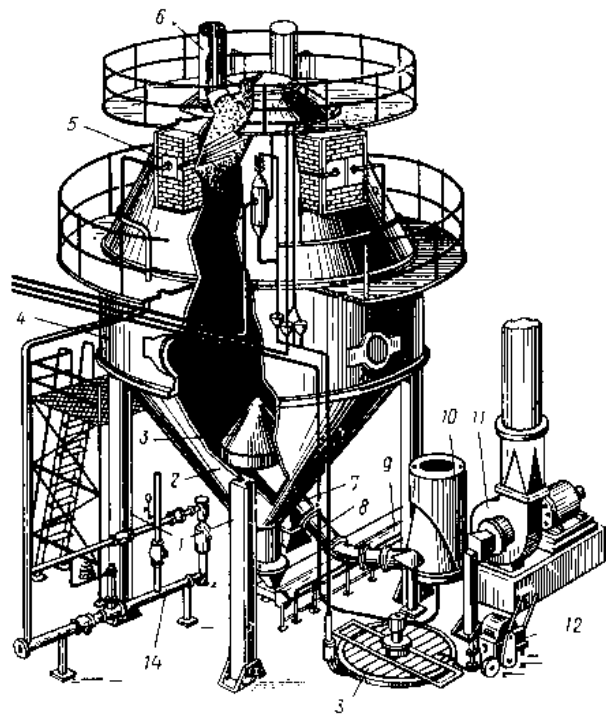


Рис 93 Распылительное сушило:

1 — опорные колонны, 2 — конусное дно, 3 — вытнжкий зонт, 4 — цилиндрический корпус, 5 — газовые горелки; 6 — распылители шликера, 7 — выходное отверстие, 8 — затвор, 9 — ленточный конвейер, 10 — циклон; 11 — вентилятор (дымосос), 12 — часос для подачи шликера, 13 — мешалка для шликера, 14 — газораспределительный пульт

● Технологическую схему производства изделий со шликерным способом подготовки массы целесообразно применять при глинистом сырье повышенной влажности, которое легко размокает в воде и содержит каменные включения, подлежащие удалению, а также при использовании многокомпонентных масс. Она включает следующие операции: добычу глины, грубое измельчение, роспуск глины в воде, пропуск глинистой суспензии через сито для отделе-

ния каменных включений, обезвоживание суспензии. Полученный шликер может быть использован непосредственно для формования изделий способом литья, но чаще его подвергают сушке в распылительных башенных сушилках, позволяющих перерабатывать шлам с содержанием 50...75% сухого вещества.

Распылительное сушило (рис. 9.3) — металлический цилиндр, заканчивающийся внизу конусом, который служит для сбора готового продукта. Суспензия разбрызгивается на капли, которые оседают в равномерном потоке горячих газов и во время свободного падения в сушильной башне высушиваются до заданной остаточной влажности. Сушка осуществляется чрезвычайно быстро вследствие большой поверхности теплообмена распыленных частиц. Процесс сушки занимает не более 3 с. По стенкам конуса высушенные гранулы соскальзывают к разгрузочному отверстию и направляются на дальнейшую переработку. Различают два вида распыления: через форсунки и центробежным способом. Чаще используют первый способ, обеспечивающий получение зерен размером 100...300 мкм. Для распылительных сушил специально разработаны мембранные насосы высокого давления, которые подают шлам в сушильную башню и разбрызгивают его под давлением 1,2...2,5 МПа.

Распылительная сушка позволяет заменить целый комплекс технологических операций: предварительное обезвоживание, фильтрацию, окончательную сушку, агломерацию и т. д. Поскольку каждая из перечисленных выше операций связана с применением сложного, громоздкого и дорогостоящего оборудования, в результате сокращается доля ручного труда, упрощается технологическая схема производства. Изделия, изготовленные из пресс-порошка, имеют гладкие поверхности, четкие грани и повышенную механическую стойкость. Отсутствие пыли в порошке улучшает условия труда рабочих. В целом обезвоживание керамических масс в распылительных сушилках позволило в 3,5 раза повысить производительность труда и в 1,5 раза сократить капитальные затраты.

Пластический способ подготовки масс получил наибольшее распространение в керамической промышленности. Это связано с его простотой и высоким качеством подготавливаемой глиняной массы, однако он наиболее продолжителен вследствие обязательной медленной сушки приготовленной керамической массы (1...3 сут) и связан со значительными затратами топлива. Полусухой способ позволяет на 20...26% снизить расход топлива, на 26...30% трудоемкость процесса, на 30% потребность в производственных площадях. Уменьшается также продолжительность производственного процесса, что создает лучшие условия для автоматизации. Однако технологическая схема значительно сложнее, а металлоемкость заводов полусухого прессования почти в 3 раза выше, чем при пластическом способе подготовки масс.

Шликерный способ обеспечивает наилучшее разрушение природной текстуры сырья. Преимуществом его является высокая од-



породность рабочей смеси и возможность отливки изделий сложных форм, но он трудоемок и связан с повышением расхода топлива.

Конкретный выбор способа зависит от свойств и состава шихты, формы и размеров изделий, требований к качеству выпускаемой продукции.

#### § 9.4. Формование керамических изделий

● **Пластический способ формования** используют для изготовления кирпичей, черепицы и других изделий. Процесс формования (прессование) протекает нормально, если достигнута влажность массы, позволяющая образовать на твердых частицах гидратные прослойки, которые по толщине равны двум молекулам воды. Это соответствует примерно влажности глиняных масс 18...24%. Формование изделий осуществляется выдавливанием бруса, штамповкой в формах, лепкой сложных изделий. Наиболее распространено ленточное формование на горизонтальных шнековых прессах, в которых материал не только транспортируется и уплотняется, но также интенсивно проминается и гомогенизируется.

Структура формируемых в прессе масс представляет собой напластование вложенных друг в друга ряда полых конусов. При этом внутренние слои выталкиваемого бруса перемещаются быстрее, чем наружные, испытывающие трение о стенки. В результате в формируемых изделиях возможно появление различных дефектов. Однородность структуры повышается с увеличением влажности формируемой массы, отощением массы за счет введения крупного песка или шамота, при пароувлажнении.

Характер перемещения массы в прессе зависит от ее упруго-пластических свойств, силы трения о стенки, давления, создаваемого шнеком, и сопротивления выходных насадок — головки и мундштука. На проталкивание массы через мундштук расходуется 20...50% мощности пресса. Поэтому мундштуки, соответствующие структурно-механическим свойствам глин, способствуют повышению производительности прессов на 7...10% и снижению расхода электроэнергии на 12...15%.

На проталкивание массы через мундштук расходуется большая часть мощности прессов (до 40%). В зависимости от вида формируемых изделий мундштук имеет сечение: прямоугольное — для рядового кирпича, со вставными стержнями — для пустотелых камней, кольцевое — для труб. Выходное отверстие мундштука рассчитывают с учетом упругих деформаций прессуемой массы и усадки при сушке и обжиге.

Наличие в глиняных массах воздуха снижает их пластичность, вызывает неравномерность уплотнения при формовании, а упругое последствие — образование микротрещин. Поэтому желательно удаление из керамических масс воздуха, например, в вакуум-

прессах различной конструкции (рис. 9.4). Тестообразная масса разминается в смесителе пресса лопастным винтом и продавливается в виде отдельных прутков через дырчатую перегородку или конус в вакуум-камеру, где из нее отсасывается воздух. Вакуумированную массу захватывает шнековый вал, уплотняет ее и перемещает в прессующую головку с мундштуком, откуда масса выходит в виде непрерывного глиняного бруса. Чем выше пластичность глиняных масс, тем выше должна быть величина вакуума и дольше пребывание массы в вакуумной камере. Прочность высушенного

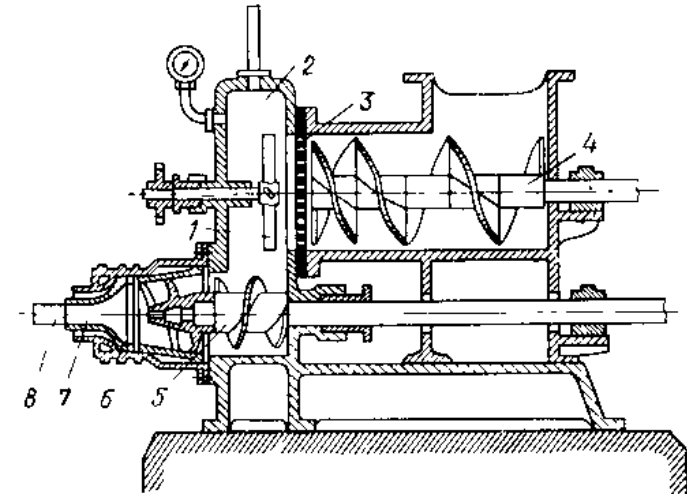


Рис. 9.4. Ленточный вакуум-пресс:

1 — цоколь, 2 — вакуум-камера, 3 — решетка; 4 — глиномялка, 5 — шнековый вал пресса, 6 — прессующая головка, 7 — мундштук; 8 — глиняный брус

сырца из вакуумированной массы в 1,6 раза выше, чем из невакуумированной. Плотность обожженных изделий увеличивается на 3...4%. Водопоглощение понижается на 10...15%, а прочность почти в 2 раза. Резку кирпича-сырца и керамических камней из бруса производят на струнных резательных автоматах.

При изготовлении изделий сложного профиля (черепица и т. д.) применяют штампование. Штамповку изделий производят на револьверных и других прессах из заготовок, сформованных предварительно на ленточных прессах.

● **Сухой способ формования** заключается в получении полуфабрикатов изделий прессованием из несвязанных порошкообразных глиняных масс с влажностью 8...12% (полусухой способ) или 2...8% (сухой способ). Получение изделий заданной формы обеспечивается сближением частиц, ростом поверхности их контакта, проявлением ван-дер-ваальсовых и капиллярных сил.

Полусухое прессование позволяет использовать в производстве более тощие глины, а также в больших количествах добавки золы и шлаков. Изделия имеют правильную форму и более точные размеры, при обжиге дают значительно меньшую усадку. Преимуществами сухого формования по сравнению с пластическим являются

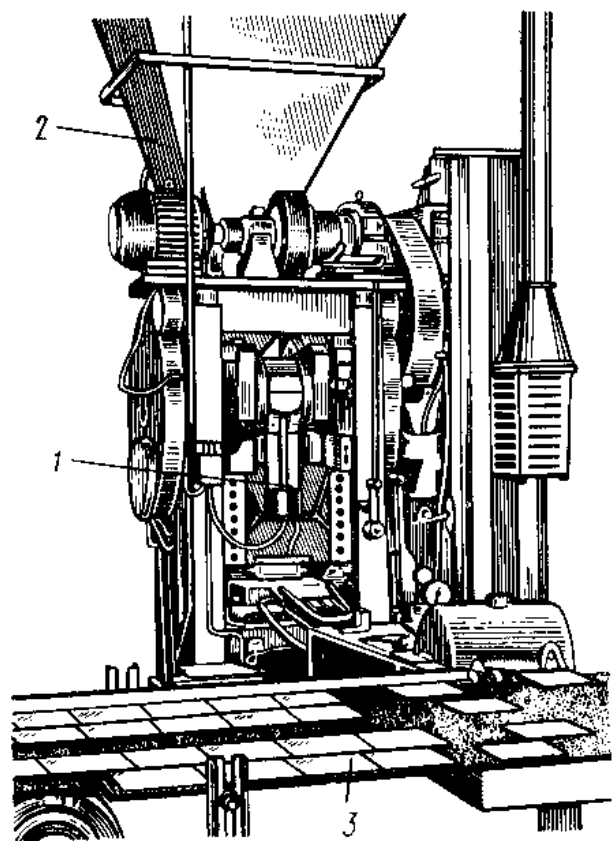


Рис. 9.5 Пресс-автомат полусухого прессования:  
1 — механический пресс, 2 — бункер пресс порошка, 3 — конвейер

также сокращение длительности сушки и всего производственного процесса, потребностей в производственных площадях и рабочей силе. Однако этот способ связан с применением более сложного прессующего оборудования, использованием более высококвалифицированной рабочей силы, а также снижением морозостойкости изделий.

Выбор конкретного типа пресса, величины прессующего давления и влажности массы определяется технологическими свойствами используемой глины. На кирпичных заводах для полусухого фор-

мования нашли применение ротационные и ротационно-рычажные прессы с двусторонним плавным нарастающим давлением и пресс-формами, расположенными по периферии вращающегося стола-ротора (рис. 9.5). При прессовании крупных камней хорошо зарекомендовали себя гидравлические прессы с плавным нарастанием давления.

Прессуемая смесь — сложная система зерен твердого материала, воды и воздуха. Каждая составляющая массы существенно влияет на ее способность к уплотнению. Для повышения плотности сырца необходимо использование порошков непрерывной гранулометрии с крупностью зерен до 3 мм. Наличие крупных зерен вызывает крошение сырца. Тонкодисперсные частицы затрудняют удаление воздуха, что осложняет уплотнение. Вода, присутствующая в системе, снижает трение между частицами, обеспечивает их скольжение и более плотную упаковку. Чем выше влажность, тем меньше может быть давление прессования.

Воздух вовлекается в глиняную массу при перемешивании. При прессовании большая часть его удаляется, но значительное количество еще остается в составе массы. Сжатый в направлении приложенных усилий воздух после снятия прессующей нагрузки расширяется, что вызывает растрескивание сырца. Упругие деформации тем выше, чем больше усилие прессования. Для каждого порошка существует предел, выше которого уплотнение его под давлением прекращается. Для керамических порошков давление прессования составляет 15 ... 30 МПа.

В процессе прессования может быть выделено несколько стадий. Сначала рыхлая масса легко уплотняется за счет сближения твердых частиц и вытеснения воздуха. С ростом давления осадка массы уменьшается, так как большая часть энергии тратится на разрушение зерен, утративших способность к свободному перемещению. Деформация частиц обуславливает рост контактной поверхности и соответственно прочности сырца. По мере возрастания давления все большее значение приобретают упругие деформации. После снятия прессующего усилия как твердые частицы, так и заземленный воздух в силу своей упругости расширяются, что может вызывать разуплотнение сырца.

Желательно применение ступенчатого давления — низкого для удаления воздуха и высокого для окончательного прессования с паузой без нагрузки между первой и второй стадиями для удаления воздуха из пресс-порошка. Оптимальный режим прессования, обеспечивающий получение сырца наибольшей прочности, состоит в том, чтобы давление штампа от 3 до 15 МПа нарастало в 5 ... 6 раз быстрее, чем от 0 до 3 МПа.

● **Формование керамических изделий литьем** производят путем заливки глиняного шликера в гипсовые формы. Избыточная вода впитывается стенками формы, на которых осаждается керамический черепок. Избыток шликера сливают и извлекают изделие из фор-

мы. Этот способ применяют для получения сложных по форме тонкостенных изделий, например санитарной и декоративной керамики, а также для формования плитки.

### § 9.5. Сушка керамических изделий

В производстве керамических изделий пластическим способом сушка полуфабриката до влажности 5...7% является одной из важнейших технологических операций, во многом определяющих качество изделий и технико-экономические показатели производства. В себестоимости кирпича и керамических камней затраты на сушку составляют 8...12%. Если сырец, имеющий высокую влажность, подвергнуть обжигу сразу после формования, он растрескивается. Вместе с тем сушка придает изделиям прочность, достаточную для сохранения формы при перевозке и выдерживания нагрузки вышележащих рядов сырца при укладке в печи.

● **Сушка** — это целый комплекс явлений, связанных с тепло- и массообменом между материалом и окружающей средой, в результате чего происходит перемещение влаги из внутренней части изделия на поверхность и ее испарение. Скорость сушки характеризуется количеством воды, удаляемой с единицы поверхности изделия в единицу времени. Она зависит главным образом от температуры, относительной влажности и скорости движения теплоносителя. Допустимая скорость сушки определяется сушильными свойствами используемых масс, влиянием сушки на развитие усадочных деформаций. Безопасной считается такая скорость сушки, при которой испарение влаги не превышает  $4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . Определяется она опытным путем. Сушка изделий облегчается при их правильной конструкции, учитывающей наилучшее соотношение между массой изделия и его поверхностью испарения.

Удаление влаги из глиняной тестообразной массы сопровождается усадкой. Величина ее пропорциональна количеству испаряемой воды (до определенного предела). В первую очередь обезвоживается поверхностный слой. Пористость его уменьшается, что затрудняет испарение влаги из центральных слоев сырца. Перепад влажности между внешними и внутренними слоями изделия обуславливает различную их усадку. Внутренние слои при сушке сжимаются, а внешние растягиваются. В начальный период сушки, когда поверхностные слои сырца еще достаточно пластичны, это может вызывать искажение формы. Когда напряжения превысят прочность материала на разрыв, на поверхности изделий появляются трещины от сушки. Вероятность их появления тем выше, чем больше скорость сушки и толщина изделия. Усадка глиняных масс прекращается при достижении ими критической влажности (12...15%). После этого можно значительно повысить скорость сушки.

Режим сушки характеризуют температурой, относительной влажностью и скоростью перемещения теплоносителя, продолительно-

стью сушки. Оптимальный режим, подбираемый опытным путем, должен обеспечивать получение высококачественных бездефектных изделий с заданной влажностью в возможно короткие сроки с наименьшими затратами теплоты и энергии.

Для интенсификации сушки при обязательном условии получения продукции высокого качества возможны различные пути. Рекомендуется сушка с применением теплоносителей повышенной влажности, что сокращает градиент влажности по сечению изделия. Это решение особенно эффективно при увлажнении глины горячей водой или паром. Теплопроводимость глины возрастает, а начальное влагосодержание и усадка глиняной массы уменьшаются при отожении глиняных масс, например за счет введения дегидратированной глины. Более жесткие режимы сушки могут быть использованы также для вакуумированных глиняных масс.

Сушка глиняных изделий может производиться в естественных условиях в сараях с легкими подъемными стенами. Однако в этом случае она зависит от атмосферных условий и очень длительна (7...20 сут). В основном используют искусственную сушку, что значительно сокращает продолжительность производственного цикла (до 1...3 сут). В качестве теплоносителя используют дымовые газы обжигательных печей, а также специальных топков. При изготовлении изделий тонкой керамики применяют горячий воздух, нагреваемый в калориферах.

При выборе типа сушила необходимо учитывать ряд требований: сушильное устройство должно вписываться в непрерывную технологическую линию; процесс сушки должен быть по возможности механизирован и автоматизирован; сушка должна быть равномерной по всему рабочему пространству сушила, срок сушки и расход энергии на испарение 1 кг влаги должны быть минимальны.

По режиму работы различают сушила периодического и непрерывного действия, а по конструкции — камерные, туннельные, конвейерные и т. д.

● В **камерных сушилах периодического действия** (рис. 9.6) загрузка, все стадии сушки и выгрузка сырца повторяются в одном рабочем пространстве через определенные промежутки времени.

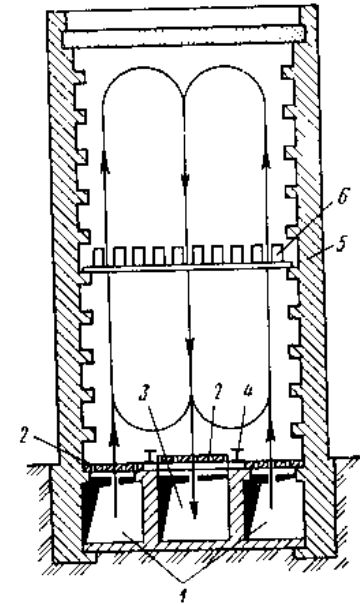


Рис 9.6. Схема камерного сушила.

1 — подводные каналы 2 — подъемные механизмы; 3 — отводящий канал; 4 — рельсовый путь; 5 — сушильная рама; 6 — высушиваемое изделие

Сырец подается в сушило на вагонетках. Подъемно-снижающее устройство снимает полки с сырцом и укладывает в камере. Как правило, такие сушила представляют собой ряд камер, соединенных в блоки. Удельный расход теплоты составляет 8,4 ... 10,4 МДж на 1 кг испаренной влаги.

Коэффициент полезного действия камерных сушил составляет 15 ... 30% при использовании дымовых газов печей и 37 ... 51% при паровом обогреве с рециркуляцией. Их недостатками являются значительные потери времени (до 10%) на загрузку и выгрузку изделий: большие потери теплоты в период их загрузки и выгрузки; периодичность работы; неравномерность сушки.

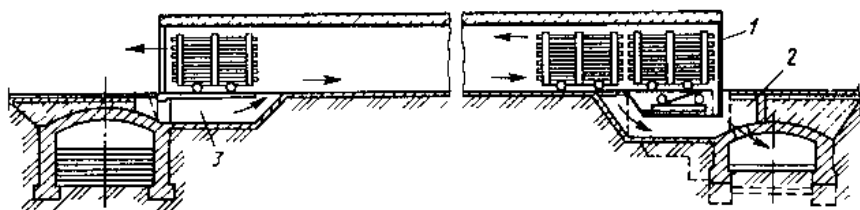


Рис 97 Схема туннельного сушила:

1 — вагонетка, 2 — отводящий канал, 3 — канал, подводящий теплоноситель

● **Туннельные сушила непрерывного действия** (рис. 9.7) — прямые туннели, в которых перемещаются вагонетки с сырцом. Теплоноситель движется горизонтально навстречу потоку сырца. Его температура и влажность, меняясь по длине печи, поддерживаются постоянными во времени для отдельных зон. Сушка завершается за время прохождения сырца через все зоны. Длительность сушки зависит от вида изделия, например для кирпича-сырца она составляет 40 ... 46 ч. Туннельные сушила обеспечивают поточность производства, возможность автоматизации процесса сушки, простоту обслуживания и повышение качества продукции.

КПД туннельных сушил составляет 23 ... 45%. Благодаря непрерывности и равномерности процесса, постоянству режима, отсутствию потерь времени на загрузку срок сушки в туннельных сушилах на 20 ... 30% меньше, чем в камерных. Замена камерных сушил туннельными обеспечивает повышение мощности завода на 15 ... 25%, снижение трудовых затрат на 1000 шт. кирпича на 20%, себестоимости — на 2 ... 3%. В настоящее время около 70% изготавливаемого кирпича сушится в сушилах туннельного типа.

● Применяют также щелевые сушила с роликовыми или сетчатыми транспортерами.

● Несмотря на высокий удельный расход теплоты при испарении влаги, радиационные конвейерные сушила наиболее совершенны, хорошо вписываются в поточные автоматические линии. При ис-

пользовании их повышается производительность на 20 ... 25%, снижаются потери при сушке на 25 ... 30%, сокращается ее длительность и растет выход продукции повышенного качества.

## § 9.6. Обжиг керамических материалов

Важнейшие физико-технические свойства керамических изделий приобретаются в результате обжига, который производится при температуре 900 ... 1100°C. В результате обжига изделие приобретает камневидное состояние, высокие водостойкость, прочность, морозостойкость и другие необходимые строительные качества.

● В сформованной сырьевой шихте при обжиге последовательно происходит ряд физико-химических превращений: удаление влаги, выгорание органических примесей, дегидратация глинистых минералов, полиморфные превращения кремнезема, разложение карбонатов, твердофазовый синтез, появление расплава и спекание. Физико-химические и фазовые превращения сырья при обжиге протекают либо без нарушения целостности изделий, либо приводят к их деформации — трещиноватости и короблению.

Более чувствителен к обжигу полуфабрикат из глин монтмориллонитовой группы, содержащих более 20%  $Al_2O_3$ , более стабилен полуфабрикат из гидрослюдных глин. Чувствительность полуфабриката к обжигу повышается при росте содержания в глинах тонких фракций.

В печь сырец поступает с влажностью 8 ... 12%, поэтому сначала идет его полное обезвоживание. В этот период температура должна подниматься по возможности плавно (50 ... 80°C/ч), чтобы обеспечить равномерное удаление влаги. При температуре 200°C начинают выгорать органические примеси. В интервале температур 500 ... 800°C происходит дегидратация глинистых минералов и глина теряет пластичность. Одновременно выделяется летучая часть органических примесей глины и выгорающих добавок, введенных в состав шихты при формировании изделий. Этот период допускает высокую скорость нагрева — 300 ... 450°C/ч.

При температуре 475°C  $\beta$ -кварц, присутствующий в составе шихты, переходит в  $\alpha$ -модификацию с увеличением объема, что приводит к появлению внутренних напряжений в сырце и снижению его прочности. Поскольку дальнейший подъем температуры от 800°C до максимальной связан с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительными структурными изменениями черепка, скорость его снижают до 100 ... 150°C/ч, а для пустотелых — до 200 ... 220°C/ч. В этот период интенсивно протекают (начинающиеся при дегидратации глины) реакции твердофазового синтеза.

Решающее влияние на качество обожженных изделий оказывает последняя стадия обжига (900 ... 1100°C), когда происходит фор-

ование камневидного тела. Прочность и другие свойства изделий определяются правильностью проведения этой стадии обжига. Чем выше температура, тем больше образуется в сырце вследствие взаимодействия легкоплавких примесей с основными компонентами глины жидкой фазы (расплава). Обволакивая зерна шихты, он заполняет поры и стягивает зерна, уплотняя и упрочняя материал. В расплаве непрерывно происходит образование новых соединений, кристаллизация которых обеспечивает превращение исходного материала в молотит. Наиболее важным новым кристаллическим продуктом является муллит.

Процесс уплотнения глиняных масс при обжиге называют спеканием. Температура обжига, при которой водопоглощение обожженного изделия составляет 5%, принимается за начало спекания глины. Разница температур между огнеупорностью и началом спекания называется интервалом спекания. Он составляет у разных глин от 10...20 до 100...250°C. Чем больше величина интервала спекания, тем легче управлять процессом обжига.

Динамика процесса спекания определяется как количеством, так и свойствами расплава. До известных пределов спекание ускоряется при повышении количества жидкой фазы и снижении ее вязкости. Однако избыток расплава вызывает деформацию изделий и искажение их формы. Процесс спекания зависит также от структуры сформованных изделий. Чем тоньше измельчена исходная сырьевая шихта, тем больше поверхность контакта частиц, легче они растворяются в расплаве и быстрее протекает спекание. В частности, изделия полусухого прессования с меньшей площадью контактов между частицами приходится обжигать при более высоких температурах, чем изделия, сформованные пластическим способом. Процесс спекания достаточно длительный. Поэтому по достижении максимальной температуры обжига изделие выдерживают для выравнивания температуры по всей его толщине, после чего температуру снижают на 100...150°C. В этот период, называемый «закалом», процессы спекания продолжают.

Медленное охлаждение (25...40°C/ч) способствует созреванию черепка, повышению его прочности, снижению пористости и др. Затем интенсивность охлаждения при температуре ниже 800°C увеличивается до 250...300°C/ч и более, ограничиваясь лишь условиями внешнего теплообмена.

В соответствии с особенностями физико-химических превращений обжигаемой массы процесс обжига условно может быть разделен на три этапа: *нагрев до заданной температуры, изотермическая выдержка и охлаждение*. Однако качество получаемых изделий определяется не только температурным режимом, но и газовым, т. е. изменением во времени газовой среды. Среда в печи считается восстановительной при избытке кислорода до 1%, нейтральной — при избытке кислорода до 1,5...2%, окислительной — при избытке кислорода свыше 2%. Более равномерное распределение температуры

по сечению печи и более раннее спекание обеспечиваются при слабовосстановительной среде, особенно на завершающем этапе обжига. Оптимальные температурный и газовый режимы устанавливаются для этапа опытным путем. Обжиг керамических изделий производят в туннельных и реже в кольцевых печах.

● **Туннельные печи** (рис. 9.8) обычно одиночные и реже спаренные, являются печами непрерывного действия, в которых полуфабрикат обжигается на вагонетках, передвигающихся вдоль печи. В канале длиной до 100 м уложены рельсы, по которым перемещаются вагонетки с кирпичом-сырцом. Туннельная печь имеет три зоны: подогрева, обжига и охлаждения, через которые последовательно в течение 18...36 ч проходит обжигаемый материал. Наличие стабильных температурных зон и перемещение материала в противотоке горячим газом позволяет поднять температуру обжига до 1600...1650°C и интенсифицировать процесс спекания.

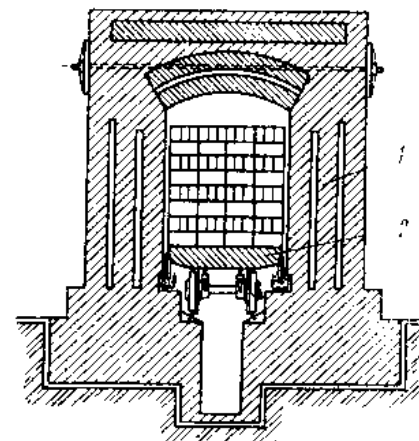


Рис. 9.8. Туннельная печь:  
1 — корпус печи, 2 — вагонетка с кирпичом

Основное количество топлива (до 80% общего расхода) целесообразно вводить в твердом виде непосредственно в состав обжигаемой массы. Остальное топливо подают через горелки в зону обжига. Удельный расход условного топлива на 1000 шт. условного кирпича составляет при использовании угля 150 кг, газа — 123 м<sup>3</sup>. Утилизация теплоты отходящих из печи газов, а также части газов, отбираемых из зоны охлаждения для сушки сырца, позволяет экономить в технологическом процессе до 30% топлива.

Туннельные печи по сравнению с кольцевыми обеспечивают более высокий съем кирпича с 1 м<sup>3</sup> печного канала, резко улучшаются условия труда, повышаются культура производства и технико-экономические показатели, снижается брак, сокращается продолжительность обжига и создаются благоприятные условия для автоматизации технологического процесса.

На заводах, использующих глинистое сырье мало- и среднечувствительное к сушке, применяют тепловые агрегаты, совмещающие сушку и обжиг. Это позволяет не переключать сырец и сократить трудовые затраты на 35%, снизить расход топлива на 20...25%, а себестоимость изделий на 25...30%. Создаются условия для автоматизации производства.

● **Щелевые и роликовые печи** являются разновидностью туннельных печей. Высота канала в них составляет 2...3 высоты об-

жигаемых изделий. Перепад температур по сечению канала не превышает 5°C. При равной производительности роликовые печи проще и в несколько раз дешевле туннельных, кроме того, в них значительно меньше расход огнеупорных материалов, легко совмещаются процессы сушки и обжига, продолжительность обжига сокращается до 6 ч. Расход топлива снижается вдвое, повышается качество изделий.

● **Кольцевая печь** представляет собой замкнутый обжигательный канал, в котором условно различают пять зон: сушки, подогрева, обжига, закала, охлаждения, а также там имеются пустые камеры, в которых происходит загрузка сырья или выгрузка обожженных изделий. Сырец в печи неподвижен. Непрерывность процесса обеспечивается перемещением тепловых зон за счет последовательного сжигания топлива в различных камерах. В любой момент времени почти весь канал занят обжигаемым сырцом, за исключением разрыва на одном участке в две-три камеры. С одной стороны разрыва происходит загрузка сырца, а с другой — выгрузка готового кирпича. Холодный воздух, поступающий через открытые ходки свободных камер, охлаждает обожженный кирпич и нагретым используется для горения в зоне обжига. Дымовые же газы из зоны обжига просасываются в камеры подогрева и сушки. Весь цикл обжига кирпича в кольцевых печах продолжается 3...5 сут.

Расход топлива в кольцевых печах примерно такой, как и в туннельных. Однако к их основным недостаткам относятся: невозможность получения в обычных условиях восстановительной среды, тяжелые условия труда, высокая трудоемкость обжига (до 12 чел-ч на 1000 шт.), трудность механизации садки и выгрузки кирпича. Это обуславливает постепенную замену кольцевых печей на туннельные. В то же время на действующих кирпичных заводах этот тип печей пока наиболее распространен.

### § 9.7. Стеновые керамические материалы

Повсеместная распространенность и большие запасы сырья, сравнительная простота технологии и высокая долговечность керамических материалов выдвинули их на одно из первых мест среди строительных материалов. Основным стеновым материалом остается керамический кирпич, составляющий до 50% общего баланса стеновых материалов.

● **Кирпич керамический** сплошной и пустотелый представляет собой искусственный камень, изготовленный путем обжига из глины с добавками или без них. Кирпич имеет форму параллелепипеда с прямыми ребрами и углами и с ровными гранями. Его изготавливают одинарным размером 250×120×65 мм и модульным 250×120×88 мм. Модульный кирпич должен иметь технологические пустоты и массу не более 4 кг.

В качестве основного сырья для производства кирпича применяют легкоплавкие глины, содержащие 50...75% кремнезема, в качестве отощающих материалов — бракованные изделия в молотом виде, кварцевый песок и дегидратированную глину. Производство организуется по пластическому и полусухому способам.

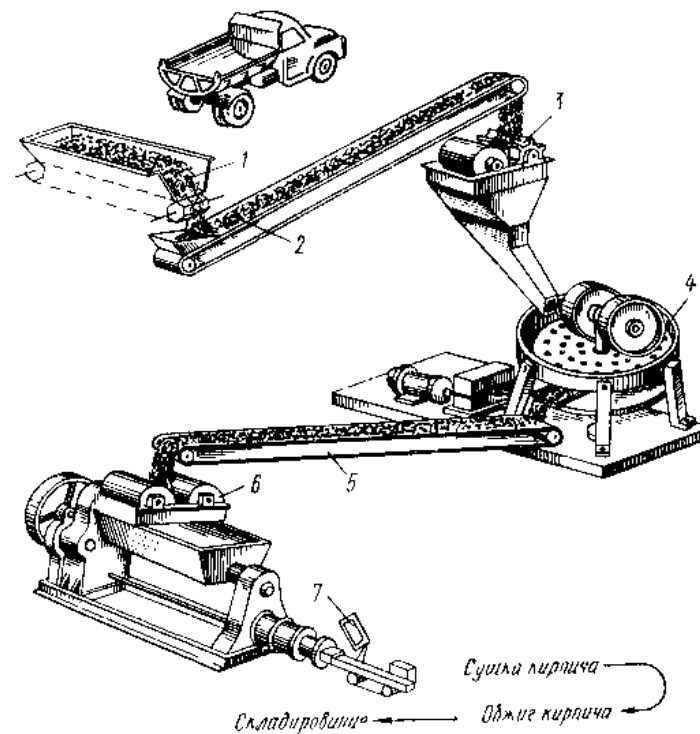


Рис 9.9 Технологическая схема производства керамического кирпича пластическим способом.

1 — ленточный подаватель 2 — транспортер, 3 — дробление глины на дезинтеграторных вальцах; 4 — помол глины на бегунах; 5 — транспортер; 6 — формование кирпича на ленточном прессе, 7 — резка кирпича сырца на автомате

В основном керамический кирпич получают *пластическим способом* (рис. 9.9). Поступающую на завод глину обрабатывают до получения однородной массы. Для этого сырье сначала подвергают двухстадийному измельчению в вальцах, а затем в бегунах. Далее сырье поступает в глиносмеситель, где увлажняется до 18...25% и перемешивается до получения однородной пластичной массы, которая подается в ленточный пресс производительностью до 10 000 шт/ч. Из пресса непрерывно выходит глиняный брус, который попадает на автомат для резки и укладки кирпича-сырца на вагонетки камерных или туннельных сушил. Срок сушки кирпича 1...3 сут. Обжиг кирпича производят в печах непрерывного



действия — кольцевых и туннельных при температуре 950... 1050°C в зависимости от вида используемого сырья. Длительность обжига составляет: в кольцевых печах 1,5... 3 сут, в туннельных 18...

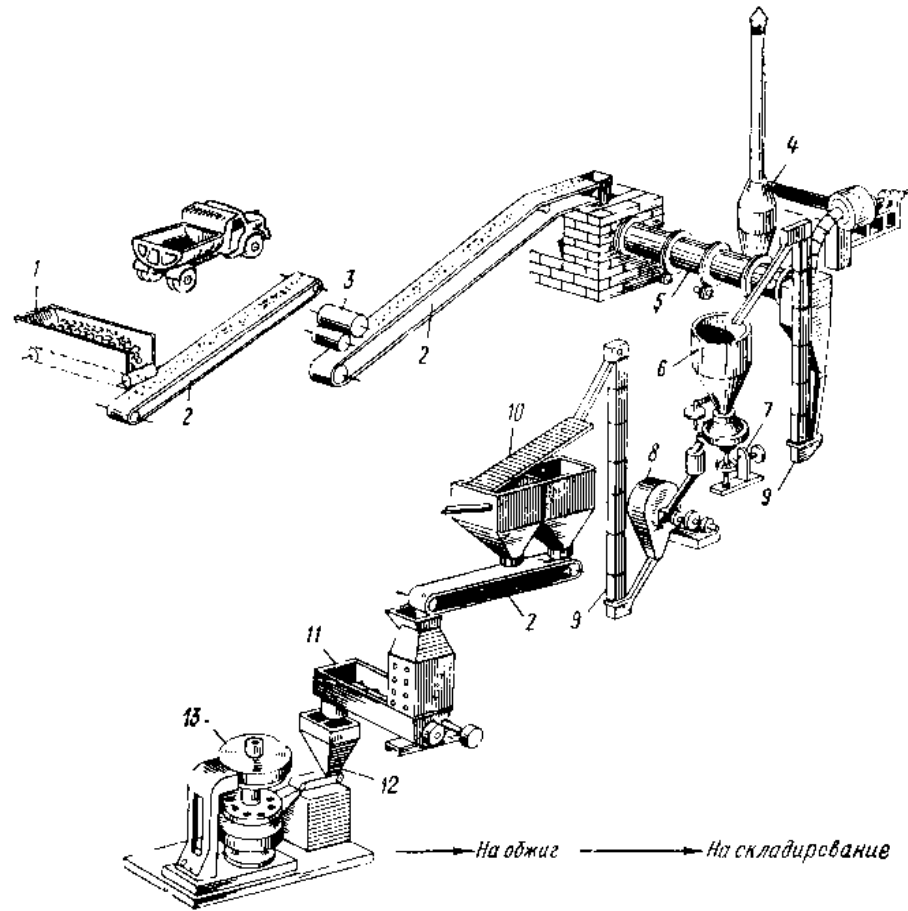


Рис. 9.10. Технологическая схема производства кирпича методом полусухого формования:

1 — ящикный подаватель; 2 — ленточный транспортер; 3 — дезинтеграторные вальцы; 4 — циклон; 5 — сушильный барабан; 6 — бункер; 7 — тарельчатый питатель; 8 — дезинтегратор; 9 — элеваторы; 10 — грохот; 11 — глиносмеситель с паровлажнителем; 12 — питатель; 13 — пресс

... 24 ч. Удельная производительность печей, оцениваемая съемом в штуках условного кирпича с 1 м<sup>3</sup> в месяц, составляет для кольцевых печей 1800... 2000 шт/м<sup>3</sup>, для туннельных — 4000... 6000 шт/м<sup>3</sup>.

При полусухом способе (рис. 9.10) сырьевые материалы после предварительного измельчения на вальцах высушивают в сушильном барабане до влажности 6... 8%, измельчают в дезинтеграторе,

просеивают, увлажняют до 8... 12% и тщательно перемешивают. Увлажнение глиняного порошка производят водой или паром при интенсивном перемешивании в двухвальном глиносмесителе или в шахтных паровлажнителях, обеспечивающих равномерность распределения влаги в глиняной массе. Подготовленную массу формируют на гидравлических или механических прессах производительностью до 10 000 шт/ч. Полусухим методом можно прессовать не только полнотелый кирпич, но и пустотелый, дырчатый. Отформованный кирпич направляют в печь на обжиг и далее на склад.

По ГОСТ 530—80 кирпич разделяют на марки 300, 250, 200, 150, 125, 100 и 75. Предел прочности при изгибе для кирпича пластического формования должен быть равен соответственно 4,36; 3,96; 3,33; 2,74; 2,45; 2,16 и 1,75 МПа, а полусухого прессования — 3,4; 3,0; 2,55; 1,96; 1,76; 1,57 и 1,37 МПа. Высокомарочный кирпич (М150 и более) должен иметь водопоглощение не менее 6%, а кирпич остальных марок — не менее 8%. По морозостойкости кирпич подразделяют на четыре марки: F15, 25, 35 и 50. Искривление ребер и граней кирпича не должно превышать 3 мм, механические повреждения не допускаются. Недожог и пережог запрещаются. Недожженный кирпич обладает недостаточной прочностью и морозостойкостью, а пережженный имеет повышенную прочность и теплопроводность, но, как правило, искаженную форму.

Кирпич керамический обыкновенный применяют для кладки наружных и внутренних стен, столбов, сводов и других несущих конструкций. Кирпич керамический полусухого прессования нельзя использовать для фундаментов и цоколей ниже гидроизоляционного слоя вследствие пониженной его морозостойкости.

В средней полосе СССР кирпичные стены зданий возводятся толщиной в 2,5 кирпича. Их массивность вызывает непроизводительные затраты материальных и трудовых ресурсов, увеличивает сроки строительства, удорожает его.

В то же время при незначительных капитальных вложениях на действующих кирпичных заводах может быть организовано производство прогрессивных эффективных керамических стеновых материалов: пустотелой и пористой керамики. Эффективными называют стеновые изделия со средней плотностью менее 1450 кг/м<sup>3</sup>. Увеличение выпуска эффективных материалов — важная задача промышленности стеновой керамики. Производство эффективной пустотелой керамики позволяет сократить ее себестоимость на 10... 25%, трудовые затраты — на 10... 30, расход сырья — на 20... 30, расход топлива — на 10... 30, повысить производительность прессов на 15... 40 и съем с 1 м<sup>3</sup> обжигаемого канала — на 30... 50%.

● Кирпич керамический пустотелый изготавливают из легкоплавких глин с добавками или без них пластическим и полусухим

прессованием. Сырьевую массу для пустотелого кирпича обрабатывают более тщательно, формование производят на вакуумных прессах со специальными приспособлениями (кернами) для образования пустот в кирпиче. Пустотелый кирпич разделяют на марки по прочности при сжатии 250, 200, 150, 125, 100 и 75. Водопоглощение кирпича пластического формования не менее 6, а полусухого прессования — не менее 8%; морозостойкость не ниже 15. Его применяют для несущих наружных и внутренних стен, перегородок и других частей зданий и сооружений. Не рекомендуется использовать пустотелый кирпич для фундаментов, цоколей и стен помещений с повышенной влажностью.

Конструктивные свойства пустотелой керамики и высокое термическое сопротивление воздушных прослоек (особенно при отрицательных температурах) позволяют использовать значительные резервы для уменьшения толщины и массы наружных стен. Применение пустотелых керамических камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20%, их массу — на 35, расход раствора — на 45 и керамических материалов — на 15% по сравнению со стенами из полнотелого кирпича.

● **Кирпич строительный легкий** изготавливают путем формования и обжига из диатомитов или трепелов с добавками глины или из глины и выгорающих добавок. Технологическая схема производства легковесного кирпича принципиально не отличается от технологии изготовления обыкновенного керамического кирпича пластического формования. Легковесный кирпич по сравнению с обычным имеет меньшую плотность и теплопроводность, что позволяет уменьшить толщину стены и облегчить конструкцию здания. Его выпускают размером 250×120×88 мм, плотностью 700...1450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 3,5...10 МПа, морозостойкостью не менее F10.

● **Камни керамические пустотелые** отличаются от кирпича своими размерами (мм): длина 250...290, ширина 120...190, толщина 130...288. При производстве тонкостенных многопустотных камней содержание глинозема в глинах должно быть 13...20, кремнезема — 50...75%. В состав шихты вводят 10...40% шамота для улучшения ее формовочных и сушильных свойств. Шихту готовят более тщательно, чем для кирпича. Очищенные от камней глину и измельченный шамот смешивают в двухвальных смесителях с паровым или водяным увлажнением и подают в дырчатые вальцы и бегуны. Для улучшения качества пластической массы ее подвергают вылеживанию до 7 сут в шихтозапасниках. Вылежанная масса еще раз измельчается и перемещается в вальцах тонкого помола и двухвальном глиносмесителе, после чего поступает на формование в ленточный пресс. Формуют камни с гладкими или рифлеными поверхностями, со сквозными или замкнутыми пустотами. Сушка камней производится в туннельных сушилках, обжиг — в туннельных печах. Плотность пустотелых керамических

камней 1300...1450 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение не менее 6%, морозостойкость F15. В зависимости от предела прочности при сжатии камни бывают четырех марок: 75, 100, 125 и 150.

Производство керамических камней непрерывно увеличивается. При переходе на выпуск пористо-пустотелой керамики повышенной пустотности производительность сушил и печей кирпичных заводов возрастает на 20...25%, расход сырья уменьшается на 30...40, топлива — до 15%. Переход на выпуск пористо-пустотелой керамики обеспечивает повышение производительности реконструируемых кирпичных заводов в 1,7 раза. Применяют камни наряду с кирпичом. Однако не рекомендуется использовать их для фундаментов и цоколей зданий, а также для наружных стен влажных помещений. Применение укрупненных камней дает возможность уменьшить толщину наружных стен на 20%, массу стен — на 60, расход раствора — на 55% и керамических материалов — в 2 раза. Соответственно снижается и трудоемкость возведения стен из керамических камней по сравнению с обычным кирпичом.

Являясь одним из самых массовых строительных изделий, мелкоштучный кирпич не отвечает в полной мере требованиям современного индустриального строительства. Однако индустриальность его как строительного материала может быть значительно повышена при изготовлении на заводе кирпичных стеновых панелей и керамических блоков для наружных стен, а также однорядных виброкирпичных панелей для внутренних стен. Удельные капитальные вложения на строительство полигонов и цехов виброкерамических панелей намного меньше, чем на создание цехов крупнопанельных железобетонных конструкций.

● **Стеновые панели из керамики** формуют в горизонтальном положении с применением вибрации для уплотнения бетона и заполнения швов раствором. Технологический процесс изготовления виброкирпичных панелей состоит из: приготовления раствора и подготовки металлического каркаса, формования, вибрирования, отделки панелей и их твердения в пропарочных камерах. Длительность тепловой обработки составляет 8...12 ч при температуре 75...85°C.

Панели для наружных стен выпускают двух- и однослойные. Двухслойные панели изготавливают толщиной 260 мм, размером на комнату 2670×3180 мм. Они состоят из кирпича (толщиной 120 мм), высокоэффективного утеплителя (минераловатной плиты, пеностекла, фибролита) толщиной 100 мм и трех слоев цементного раствора 40 мм. Лицевая сторона панели может быть отделана керамической плиткой.

Однослойные панели размером 2750×3190 мм изготавливают из пустотелых керамических камней. Общая толщина этих панелей составляет 300 мм, в том числе толщина керамического камня 250, керамзитобетонного заполнителя 25 и раствора 25 мм. Панели наружных стен армируют сварными металлическими карка-

сами, расположенными по периметру оконного проема и панели.

Применение в строительстве крупных стеновых панелей из штучного кирпича уменьшает затраты труда на 15...20%, сокращает сроки строительства на 10...15, удешевляет его на 8...10%. Расход кирпича уменьшается в 2,2...3,2 раза, расход цемента на кладку в 2...2,5 раза, масса стены в 1,8...3,0 раза. Затраты труда в строительстве сокращаются на 40%, а сроки строительства — на 30%.

● **Изделия керамические пустотелые для перекрытий** изготавливают нескольких видов: камни для часторебристых перекрытий (сборных и монолитных), камни для армокерамических балок, камни для накатов (заполнители между балками). При изготовлении пустотелых изделий для перекрытий применяют тщательно измельченную, без комьев глиняную массу средней пластичности, обеспечивающую формование изделий сложной конфигурации. В основном технология производства керамических пустотелых изделий для перекрытий аналогична технологии производства пластическим формованием обычного керамического кирпича.

Для часторебристых перекрытий выпускают камни М50...200 и плотностью до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Камни для армокерамических балок изготавливают М75...200 и плотностью до 1300 кг/м<sup>3</sup>, камни для накатов — М35, 50 и 75 и плотностью до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Кирпич для часторебристых перекрытий применяют в перекрытиях зданий и сооружений, а для армокерамических балок — только в зданиях сельского строительства. Камни для накатов используют как заполнители между балками перекрытий (армокерамическими или железобетонными). Наиболее экономичны панели комплексной конструкции, состоящие из железобетонной обвязки с обычной или предварительно напряженной арматурой, заполненной керамическим камнем. Такие конструкции по сравнению с железобетонными обеспечивают экономию цемента и стали на 25...30% и снижение стоимости 1 м<sup>3</sup> изделия на 10...15%.

### § 9.8. Фасадная керамика

Изделия строительной керамики нашли широкое применение для облицовки фасадов зданий. Наряду с высокой прочностью и небольшой массой их отличают хорошие декоративные свойства. Применение керамических фасадно-облицовочных изделий способствует повышению долговечности зданий, обеспечивает их художественную выразительность и своеобразие, снижает расходы на эксплуатацию. Из изделий фасадной керамики наиболее широкое распространение получили: лицевой кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки керамические малогабаритные.

● **Кирпич и камни керамические лицевые** — простейшие виды фасадной керамики. Их укладывают вместе с кладкой стены и они

являются не только декоративным оформлением, но наряду с обычным кирпичом конструктивным несущим элементом. Сырьем для производства лицевого камня и кирпича являются легкоплавкие или тугоплавкие глины, приобретающие после обжига различную окраску. Предпочтение отдают глинам, имеющим после обжига более светлые тона. Обычно цвет лицевого кирпича бывает от темно-красного до светло-красного.

Лицевые кирпичи и керамические камни изготавливают по технологии керамического кирпича, только сырье перерабатывают более тщательно. При использовании рыхлых, легко размокающих глин, не имеющих каменистых включений, ограничиваются следующей схемой: ящичный подаватель — дезинтеграторные вальцы — двухвальцовый смеситель — бегуны мокрого помола или дробчатые вальцы. При наличии в глинах каменистых включений после бегунов устанавливают 2...3 пары вальцов тонкого помола. При использовании плотных глин, трудно размокающих в воде, с карбонатными включениями рекомендуется сухая подготовка, а еще лучше шликерная, обеспечивающая удаление вредных включений.

При использовании сухого способа подготовки глину дробят в вальцах грубого помола, высушивают в сушильном барабане до влажности 8...12% и направляют на склад для вылеживания. Выдержанную глину измельчают в дезинтеграторе, просеивают через вибросито, отделяют на магнитном сепараторе включения металла. Подготовленную глину смешивают с шамотом сначала в сухом состоянии, а затем в отдельном смесителе при влажности 18...20%. Переработка массы завершается в вакуум-прессах, по выходе из которых глиняный брусок разрезают на изделия заданных размеров. Сушку сырья лицевых камней и кирпичей производят в туннельных сушилках в течение 15...30 ч при температуре теплоносителя 120...140°C. Обжиг проходит в туннельных печах при 900...1100°C в течение 25...30 ч в зависимости от состава исходной массы.

За последние годы внедрен эффективный метод получения лицевого кирпича и керамических камней из легкоплавких глин с помощью ангобирования. Последнее заключается в нанесении на свежесформованный или высушенный кирпич форсунками тонкого цветного лицевого слоя, усиливающего или маскирующего после обжига структуру и цвет черепка. Для получения ангоба используют чистые каолиновые глины и кварцевый песок. Их тщательно измельчают в шаровых или вибрационных мельницах с добавкой красителя.

Изготавливают лицевые кирпич и камни сплошными и пустотелыми. Лицевая поверхность кирпича и камней может быть гладкой, рифленой или офактуренной. Для предохранения изделий от влияния атмосферных осадков, загрязнений, увеличения водоне-

проницаемости, а также улучшения декоративных качеств фасадной керамики изделия покрывают глазурями.

По своей природе глазури — стеклообразные сплавы алюмокремниевых соединений. Они могут быть прозрачными и непрозрачными (глухими). Прозрачная глазурь придает лицевой поверхности изделий блеск, однако цвет изделия не меняется, а непрозрачная (глухая) глазурь придает лицевой поверхности отличный от цвета черепка разнообразный цвет. Тугоплавкие глазури состоят из каолина и полевого шпата, а легкоплавкие — из легкоплавких глин с добавкой мела и оксидов железа. Ими покрывают облицовочный кирпич, черепицу и т. д. Цветные глазури получают при введении в их состав красящих оксидов или солей металлов. Состав глазури подбирают экспериментальным путем. Особое внимание обращают на то, чтобы коэффициенты термического расширения глазурного покрытия и изделия соответствовали друг другу. При нарушении этого условия глазурь будет трескаться и отскакивать от изделия.

Глазурь наносят на сырые или предварительно обожженные керамические пористые изделия и закрепляют обжигом. Качество глазурованных изделий повышается при двукратном обжиге. После первичного обжига изделия сортируют, шлифуют, очищают поверхность от пыли, увлажняют, затем наносят слой глазури и подвергают повторному обжигу.

Для повышения долговечности облицовки и улучшения отделки зданий рекомендуется кирпич и лицевые камни обрабатывать также водоотталкивающими веществами, снижающими водопоглощение и препятствующими загрязнению. Для этих целей наиболее широко применяют кремнийорганические вещества — силиконы.

Кирпич и камни лицевые выпускают М75, 100, 125 и 150, водопоглощением — не менее 6% (для кирпича и камней из глин беложгущихся не более 12% и для кирпича и камней из остальных глин — не более 14%). По морозостойкости кирпич и камни лицевые должны выдерживать без повреждений не менее 25 циклов.

Кирпич и камни лицевые сплошные и пустотелые применяют для лицевой кладки фасадов и внутренних стен, ведущейся одновременно с кладкой стен, а также для внутренней облицовки складов, заводских цехов, садово-парковых ограждений.

● **Ковровая керамика** (глазурованная и неглазурованная) представляет собой мелкогабаритные тонкостенные плитки, наклеиваемые в виде ковров на бумажную основу. Плитки могут быть изготовлены различных цветов, блестящими и матовыми, покрыты прозрачными или глухими глазурями; их изготавливают 32 типоразмеров, квадратной, прямоугольной, треугольной, ромбической и трапециевидной формы со стороной 25...125 мм, массой 1 м<sup>2</sup> плитки до 4,5 кг.

В СССР получил наиболее широкое распространение способ получения коврово-мозаичных плиток методом литья. Его сущность состоит в нанесении на пористые керамические формы-подставки последовательно трех слоев: разделительного, основного слоя плиточной массы и глазури. Для каждого слоя шликер готовят отдельно в шаровой мельнице мокрым помолом. Шликер разделительного слоя содержит 80% мела и 20% глины. Он предохраняет основной плиточный слой от приваривания к подставке. Основной слой, обеспечивающий заданную толщину плиток, включает 10% глины, 40% шамота, 25% боя стекла, 25% нефелинового шенита.

Во время перемещения форм-подставок на литейном конвейере влага из шликеров впитывается. На поверхности форм образуется плиточный слой толщиной 2,5...3,5 мм. Его разрезают дисковыми ножами на плитки установленных формы и размеров. С литейного конвейера подставки с отлитыми плитками поступают на сушку, которая продолжается 10...15 мин при температуре 220...260°C. Далее плитки идут на обжиг в щелевые роликовые печи. Максимальная температура обжига 1200...1250°C. Плитки, загруженные в печь горизонтально в шесть рядов по ширине, перемещаются роликовым конвейером со скоростью 1 м/мин. После обжига плитки снимают с подставок, наклеивают на листы бумаги, очищают от разделительного слоя и подают на склад готовой продукции.

Технологический цикл изготовления плиток способом литья составляет 2...2,5 ч против 48...50 ч при изготовлении полусухих прессованием и обжигом в туннельных печах. Себестоимость плиток, получаемых способом литья, на 20...40% меньше, чем плиток полусухого способа, затраты труда сокращаются в 2 раза, расход топлива — в 2...2,5 раза, расход сырья — в 2 раза.

Плитки ковровой керамики должны удовлетворять следующим требованиям: водопоглощение — не менее 6 и не более 12%, морозостойкость — F25, масса 1 м<sup>2</sup> плиток в зависимости от их толщины — 6...8 кг.

Плитки ковровой керамики применяют для облицовки крупных блоков и панелей, стен вестибюлей и лестничных клеток жилых и общественных зданий.

● **Плитки фасадные мелкогабаритные** размером 48×48, 22×22 мм, толщиной 3...4 мм и плитки типа «кабанчик» размером (60...65)×(120...125) мм, толщиной 6...8 мм нашли широкое распространение в крупнопанельном домостроении, обеспечивая отделку стеновых панелей в процессе их изготовления. Их выпускают глазурованными и неглазурованными.

Наиболее распространенным способом их производства является полусухое прессование из пресс-порошков, получаемых в распылительном сушиле (рис. 9.11). Из распылительного сушила через транспортер и сито-бурат к прессу поступает порошок с влаж-

ностью 6...8%. В верхнем и нижнем штемпелях пресс-форм предусмотрены клиновидные выступы, образующие с обеих сторон отпрессованной плитки надрезы глубиной 2 мм. После обжига плитки раскалываются специальным устройством на более мелкие плитки размером 22×22 мм. При прессовании в таких пресс-формах за один цикл с пресса снимают 450 см<sup>2</sup> плиток. Далее плитки поступают на сушильно-глазуровочный конвейер, перемещающийся со скоростью 0,03 м/с. Подсушенные до влажности 1,75...2,5% плитки глазуруются и вторично досушиваются до 0,5%

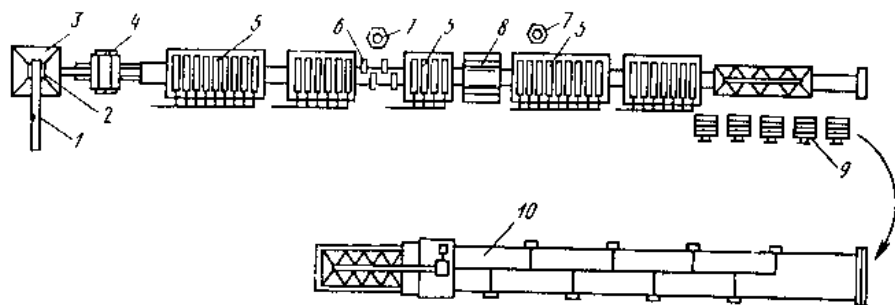


Рис. 9.11. Поточная линия производства фасадных глазурованных плиток: 1 — транспортер, 2 — сито-бурат; 3 — бункер, 4 — пресс, 5 — сушильно-глазуровочный конвейер, 6 — грубое распыление глазури, 7 — бассейн глазури, 8 — тонкое распыление глазури, 9 — тележки с плиткой; 10 — щелевая роликотая печь

влажности при 30...40°C. После досушки плитки, уложенные в стопы, на тележках подаются в роликотую щелевую печь. Обжиг происходит в течение 30 мин при 850...950°C. Мелкоразмерные керамические плитки получают также из пластических масс на конвейере. В отличие от формования керамических изделий на ленточных прессах плитки изготавливают с помощью мунштука напластованием на подставки, идущие по конвейеру. Установка включает шнековый нагнетатель со специальной головкой для напластования масс, устройство для подачи подставок и транспортер с поворотным и режательным устройствами. При непрерывной подаче подставок и равномерной загрузке пресса на подставке получают пластины толщиной 3...4 мм, которые легко разрезают на плитки разных размеров: 22×22, 48×48, 22×48 мм и др.

Для получения мозаичных плиток различного цвета можно использовать глины, дающие после обжига окрашенный черепок (белый, желтый, красный), или добавлять красители. Отформованные плитки высушивают в радиационном сушиле, обжигают на подставках в щелевых печах либо в капсульных периодических или туннельных печах. Производство мелкоразмерных плиток путем пластического напластования имеет ряд преимуществ по сравнению с методом полусухого прессования или литья: короткий

цикл технологического процесса (8...10 ч), упрощенный способ подготовки массы и малые производственные площади.

Вместе с тем вне зависимости от способа изготовления мелкоразмерные плитки имеют ряд общих преимуществ по сравнению с выпускаемыми в настоящее время облицовочными фасадными плитками: снижается расход сырья, повышается производительность прессов, увеличивается пропускная способность сушил и печей. Плитки имеют высокую прочность, хорошие декоративные свойства. Кроме того, их малая масса позволяет укрупнить размеры «ковров» и тем самым повысить степень индустриальности изготовления панелей.

### § 9.9. Изделия керамические для внутренней облицовки зданий

Керамические плитки широко применяют в строительстве для внутренней облицовки ванных комнат, прачечных, больничных и других помещений. В зависимости от назначения различают два вида плиток для внутренней облицовки: для стен и полов.

● Плитки для облицовки стен в зависимости от используемого сырья бывают майоликовые и фаянсовые.

*Майоликовые* изготавливают из легкоплавких глин с добавкой до 20% мела. При обжиге получают пористый черепок, лицевую поверхность которого покрывают глазурью, а на тыльную сторону наносят бороздки для лучшего сцепления с облицовываемой поверхностью. Сырьевую массу для майоликовых плиток тщательно перемешивают. Плитки формуют на рычажном прессе, сушат и обжигают. Затем их покрывают глазурью и обжигают вторично. Слой глазури придает плиткам водонепроницаемость и хорошие декоративные качества. Глазури применяют в виде суспензий, которые наносят на изделия пульверизатором или кистью. Покрывать глазурью можно как предварительно обожженные изделия, так и сухой сырец. Лучшее качество достигается при нанесении глазури на обожженную плитку.

*Фаянсовые* плитки изготавливают из огнеупорных глин с добавкой кварцевого песка и цинной — полевого шпата и известняка или мела. Плитки имеют белый или слабо окрашенный черепок. Лицевую поверхность покрывают белой или окрашенной, прозрачной или голубой глазурью. Тыльной стороне плиток придают рифленую поверхность. Технологическая схема производства фаянсовых облицовочных плиток представлена на рис. 9.12. Поступающие из карьера сырьевые материалы освобождают от посторонних примесей, подсушивают и дозируют по массе. Затем они поступают в шаровые однокамерные мельницы для измельчения и перемешивания с водой. Получаемую суспензию пропускают через вибрационные грохоты и направляют в сборник, оборудованный проемной мешалкой. Из сборника суспензию подают

мембранным насосом под давлением до 1,2 МПа в форсунки распылительных сушил. Суспензия выбрасывается через форсунки вверх с влажностью 40...50%, а затем, падая вниз, в среду с температурой 300...400°C, высушивается, превращаясь в зерна крупностью до 1...1,5 мм и влажностью до 7%. Эти зерна оседают в нижнем конусе сушила, приходят через сито и поступают в бункер вылеживания, а оттуда — на конвейерную линию.

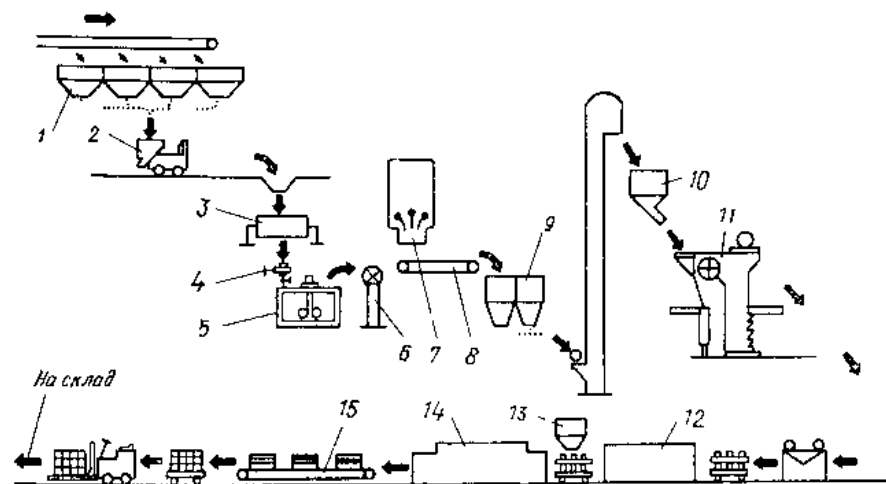


Рис 9.12 Технологическая схема производства фаянсовых глазурованных плиток:

1 — бункера сырьевых материалов, 2 — вагонетка, 3 — шаровая мельница, 4 — удаление примесей на электромагните, 5 — бассейн для массы с мешалкой, 6 — насос, 7 — распылительное сушило, 8 — транспортер, 9 — просев порошка, 10 — расходный бункер, 11 — прессование плиток, 12 — сушило; 13 — глазурование; 14 — печь для обжига, 15 — сортировка и упаковка

Облицовочные плитки прессуют на автоматических колено-рычажных прессах. Для повышения качества плиток формование производят в две-три стадии. Сначала усилие уплотнения составляет 4...5 МПа, затем штамп поднимается, и из прессуемого сырья выходит воздух. На второй стадии уплотнения давление прессования повышают до 18...22 МПа.

Конвейерная линия состоит из прессового участка с несколькими прессами, цепного или сетчатого транспортера, по которому плитка поступает в сушильные камеры, участка глазурования и печей. Обычно обжиг плиток производят в непрерывно действующих роликовых печах. Обожженные плитки сортируют по размерам, цвету, типу и сорту и упаковывают в деревянные ящики.

В зависимости от формы плитки бывают квадратные, прямоугольные и фасонные для углов, облицовки карнизов и плинтусов. Плитки для внутренней облицовки выпускают следующих размеров: длина 150 мм, ширина 25, 50, 75 и 150 мм. Толщина

всех плиток должна быть не более 6 мм, а плинтусных — не более 10 мм.

К качеству плиток для внутренней облицовки стен предъявляют высокие требования. Они должны иметь правильную геометрическую форму, четыре грани и углы, должны быть термически стойкими без выпуклостей, выбоин и трещин. После нагрева до температуры 100°C и помещения в воду с температурой 290°C они не должны иметь на глазурованной поверхности трещин, олов глазури и сетки мелких трещин. Водопоглощение плиток не должно превышать 16%. В основном выпускают облицовочные плитки белого цвета. Производство цветных плиток в общем выпуске пока составляет лишь 5...6%.

Плитки для внутренней облицовки стен применяют в помещениях, требующих повышенной чистоты, а также в санитарно-технических узлах, кухнях и помещениях с повышенной влажностью.

● Плитки керамические для полов изготавливают из глиняной массы с окрашивающими примесями или без них путем формования и последующего обжига до спекания. Лучшим сырьем в производстве плиток для полов являются высококачественные пластические, низкоспекающиеся глины, обладающие высокой связующей способностью и имеющие большой интервал плавкости — не менее 80...100°C. Кроме того, в сырьевую массу вводят отощающие материалы, добавки, понижающие температуру плавления, и минеральные красители.

Несмотря на то что плитки для полов прессуют исключительно полусухим способом, порошок готовят сухим или шликерным способами. Шликерный способ используют при глинах, требующих добавления плавней и красящих веществ. Сухой способ применяют при однородных глинах, не требующих добавок. При мокром способе глину измельчают, а затем разбалтывают в большом количестве воды вместе с добавками. Из резервуара шликер подают в фильтр-прессы, где обезвоживают его до влажности около 20%, а затем подсушивают до влажности 5...7% и размалывают на бегунах. Измельченная масса на 24...28 ч поступает в бункера для вылеживания, а оттуда — на прессование.

Более рациональная технология производства плиток для полов (рис. 9.13) предусматривает приготовление пресс-порошка с обезвоживанием шликера не в фильтр-прессах, а в распылительных сушилах. В этом случае сокращаются количество оборудования, производственные площади и трудовые затраты. Формуют плитки на полуавтоматических гидравлических или автоматических механических прессах при давлении 25...30 МПа, обеспечивающем получение плотного черепка. На мощных гидравлических прессах возможно повышение давления до 50...60 МПа, что в свою очередь дает возможность уменьшить влажность пресс-по-



рошка до 3...5% и при постоянной степени спекания черепка снизить температуру обжига на 40...50°C.

Обжигают плитки в капсулах или без них при температуре 1100...1300°C в щелевых роликовых печах. Подъем температуры при обжиге и охлаждении ведут медленно в целях повышения качества глиток и уменьшения брака. Продолжительность обжига плиток достигает 40...60 ч. Обожженные плитки сортируют по сортам, размерам, цвету и тону, а затем упаковывают в пачки.

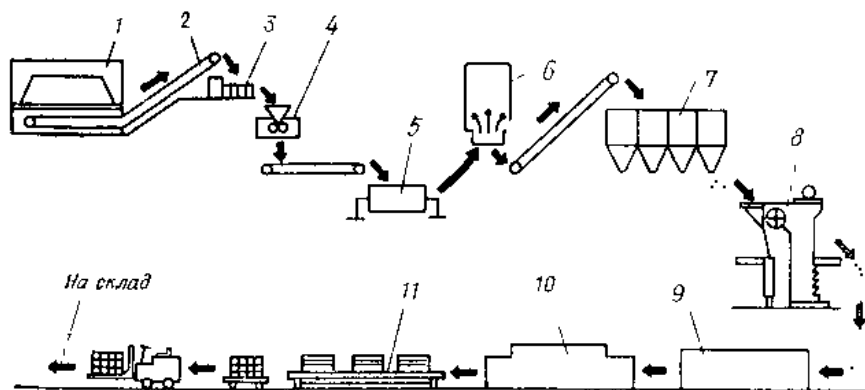


Рис. 9.13. Технологическая схема производства керамических плиток для полов:

1 — склад глины, 2 — транспортер, 3 — ящичный подаватель, 4 — зубчатые валцы, 5 — шаровая мельница, 6 — распылительное сушило, 7 — расходные бункера; 8 — пресс, 9 — сушило плиток, 10 — печь для обжига плиток, 11 — стенд для сортировки и упаковки

По виду лицевой поверхности различают плитки для полов: гладкие, шероховатые и тисненые; по цвету — одно- и многоцветные. По форме и размерам изготовляют плитки семи видов — квадратные, прямоугольные, треугольные, шестигранные, четырехгранные, пятигранные и восьмигранные. Выпускаются 28 типоразмеров плиток. Для фигурных плиток и плиток размерами 100×100, 150×150, 150×75, 150×25 мм — номинальная толщина 5 и 6 мм; для плиток размерами 200×100, 200×150 и 200×200 мм — номинальная толщина 6 и 8 мм. В последнее время для настилки полов в общественных зданиях широкое применение нашли крупноразмерные керамические плитки (200×200×11 мм) с ксернографическим рисунком.

Плитки должны иметь правильную форму, четкие грани и углы, высокую плотность, водопоглощение не более 4%; повышенное сопротивление истираемости. Потери в массе при испытании плиток на истираемость не должны превышать 0,1 г/см<sup>2</sup> для полов с повышенной истираемостью и 0,25 г/см<sup>2</sup> для полов прочих помещений. Керамические плитки для полов водонепроницаемы, легко моются, долговечны. Однако они имеют и некоторые недо-

статки: большую теплопроводность, низкую сопротивляемость удару и небольшие размеры, что вызывает повышенную трудоемкость при устройстве полов.

● **Плитки керамические мозаичные** изготовляют двух видов — квадратные со стороной квадрата 23 и 48 мм и толщиной 6 и 8 мм и прямоугольные размером 48×23×8 мм. Они обладают высокой плотностью, полным спеканием черепка без остекловывания и, следовательно, высоким сопротивлением истираемости и малым водопоглощением (не более 3...4%). Производство ковровой мозаики принципиально не отличается от производства крупных плиток с той лишь разницей, что прессование первой осуществляют в специальных многогнездных пресс-формах. Мозаичные плитки экономичны в производстве, так как малые размеры упрощают их изготовление и до минимума снижают брак. Обожженные плитки укладывают в матрицы, затем на них наклеивают картон, который после устройства пола смывают. Ковры изготовляют размером 398...598 мм, толщина шва между плитками 2 мм. Хранят мозаичные плитки в закрытых помещениях раздельно по типам, узорам и цвету.

Применяют мозаичные плитки для облицовки в ванных комнатах, банях, купальных бассейнах, в местах общего пользования — фойе, вестибюлях, станциях метрополитена и пр.

На различных предприятиях показатели себестоимости облицовочной плитки и плитки для полов колеблются в 2...3 раза. Необходимо изыскивать пути ее снижения за счет совершенствования технологии производства. Наиболее фондоемким процессом в производстве керамических облицовочных плиток является сушка изделий. Малая толщина плиток позволяет применить новые прогрессивные способы сушки, например с использованием радиационных сушил, что сокращает длительность сушки, повышает производительность прессового цеха, сокращает потери от брака, повышает качество выпускаемой продукции. В настоящее время разработаны ленточные однорядные сушила, на которых цикл сушки сокращен с 8...12 ч до 5 мин при сушке облицовочных плиток и до 17...18 мин при сушке плиток для полов. Один из решающих факторов, определяющих себестоимость продукции, — мощность предприятия. Увеличение ее позволяет повысить уровень механизации и соответственно снизить трудозатраты, удельный расход энергоресурсов, а также цеховые и общезаводские затраты, приходящиеся на 1 м<sup>2</sup> плитки.

### § 9.10. Кровельная черепица

● Промышленность выпускает более 13 типов кровельной черепицы, в том числе: **рядовую** — для покрытия скатов кровли, **коньковую** — для покрытия коньков и ребер, **разжелобчатую** — для по-

крытия разжелобков, **концевую** — для замыкания рядов и черепицу специального назначения.

Производство черепицы обычно сочетается с изготовлением кирпича и, как правило, осуществляется на кирпичных заводах в специальных цехах.

Все виды кровельной черепицы изготовляют (рис. 9 14) из лучших сортов глин с усадкой не более 7%. Пластичные глины во избежание коробления и появления трещин в процессе сушки и обжига отощают, добавляя до 10% молотого кирпичного боя или кварцевого песка. Использование качественного сырья снижает себестоимость черепицы на 2...3%.

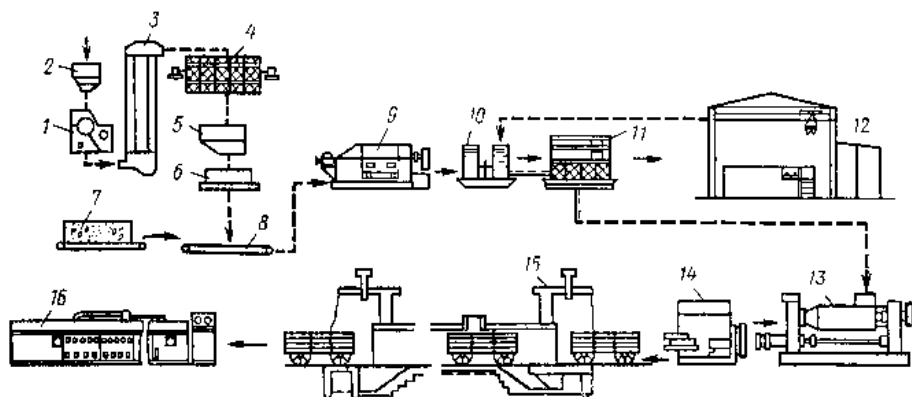


Рис. 9 14. Технологическая схема производства черепицы:

1 — дробилка, 2 — бункер для ошотителя, 3 — элеватор, 4 — сито-бурат; 5 — бункер для молотого ошотителя; 6 — питатель, 7 — илциный подаватель глины; 8 — конвейер, 9 — глиносмеситель с паровым увлажнителем, 10 — бегуны мокрого помола; 11 — динорастиратель, 12 — хранилище для обработанной массы; 13 — вакуум-пресс; 14 — ре-зательно укладочный аппарат; 15 — туннельное сушило, 16 — туннельная печь

Технология изготовления черепицы в основном не отличается от технологии изготовления кирпича, но, учитывая малую толщину черепицы для получения качественного продукта, необходима тщательная переработка сырьевых материалов и подготовка массы с максимально возможным разрушением текстуры глинистых материалов. Это достигается вымораживанием и летованием (4...5 мес), замачиванием в бучильных ямах, вылеживанием в теплых, влажных подвалах (15...30 сут) предварительно переработанного и увлажненного сырья и масс.

Как правило, подготовку масс ведут пластическим способом, значительно реже сухим или шликерным. Переработка сырья и подготовка массы связаны со значительным расходом электроэнергии — 125...180 МДж на 1 т обработанной глины, что составляет около 10% от общих расходов в производстве черепицы.

Формуют черепицу на ленточных шнековых и реже штамповочных прессах. Сформованную черепицу подают в сушило. Сушить

ее нужно осторожно во избежание коробления, появления трещин и других деформаций в камерных или туннельных сушилах. Высушенную черепицу немедленно направляют на обжиг, так как адсорбция влаги при длительном хранении снижает ее качество. Обжигают черепицу до полного спекания черепка при температуре 900...1050°C. Кровельная черепица должна быть хорошо обожженной, равномерно окрашенной, иметь ровную и гладкую поверхность (без трещин), быть достаточно прочной (разрушающая нагрузка на излом не менее 7 Н), водонепроницаемой и морозостойкой (не ниже F25). Хранят черепицу в деревянной таре в закрытых помещениях по сортам.

Черепица относительно недорога, имеет хорошие декоративные качества, но кровля из нее отличается значительной массой (до 65 кг/м<sup>2</sup>) и требует устройства больших уклонов.

### § 9.11. Санитарно-техническая керамика

● Санитарно-технические изделия изготовляют из *фарфоровых, полуфарфоровых и фаянсовых масс* методом литья в гипсовых формах с последующей сушкой и обжигом. Фарфор, полуфарфор и фаянс различаются степенью спекания и пористостью. Фаянсовые изделия имеют мелкозернистую пористую структуру, окраску белую или любую светлую однородную. Фаянс не просвечивает на свету и в неглазуrowанном виде впитывает и пропускает воду. Фарфоровые изделия имеют плотную спекшуюся структуру, цвет белый. Фарфор просвечивает на свету и не пропускает воду даже в неглазуrowанном виде. Полуфарфор занимает по свойствам промежуточное положение между фарфором и фаянсом.

Основным сырьем для производства санитарно-технических изделий являются беложгущиеся огнеупорные глины, каолин, кварц и полевоы шпат. За счет различного их соотношения в рабочей массе (табл. 9.1) обеспечивается разная степень спекания фаянса, фарфора и полуфарфора.

Сырьевые материалы при изготовлении изделий санитарно-технической керамики подвергают тщательной переработке: помо-

Таблица 9.1. Состав массы для изделий санитарно-технической керамики

Наименование	Содержание, %		
	в твердом фаянсе	в полуфарфоре	в санитарном фаянсе
Глинистые материалы	50...55	48..50	45.. 50
Кварц	40 ..50	40...45	30.. 35
Полевой шпат	5...10	7...12	18 ..22

лу, отмучиванию, просеиванию с целью получения тонкоизмельченной шихты. Подготовка масс в производстве санитарной керамики сводится к получению литейных шликеров *прессовым* или *беспрессовым* способом. Прессовый способ обеспечивает более высокое качество шликера, однако он трудоемок и сложен. При прессовом способе полученный в шаровых мельницах шликер обезвоживают на фильтр-прессах до влажности 21...22%, а затем снова распускают в мельнице в шликер влажностью 30...32%.

Формуют изделия санитарной керамики методом шликерного литья в гипсовых формах. Они заключаются в осаждении твердой фазы шликера на внутренней поверхности формы и при одновременном поглощении жидкой фазы порами формы. В зависимости от вида изделия длительность набора требуемой толщины стенки изделия составляет 1...3 ч. Изделие выдерживают в формах дополнительно 7...16 ч для закрепления черепка, затем его вынимают из форм, подвигивают, оправляют (обрезают) и направляют в камерные сушила. Общая продолжительность сушки 30...40 ч для изделий из фаянсовых масс и до 34 ч для изделий из полуфарфоровых и фарфоровых масс. В туннельных сушилах длительность сушки сокращается до 10...24 ч. На высушенные изделия наносят слой глазури (окунанием, пульверизацией, поливом) и обжигают при 1160...1280°C. Формованье черепка изделия при обжиге обеспечивается выбором оптимальной температуры, длительности нагрева и состава печной атмосферы. Наиболее широко для обжига изделий используют туннельные печи открытого пламени, реже туннельные печи муфельного типа. Печи открытого пламени наиболее экономичны, но в них снижается сортность выпускаемой продукции.

Водопоглощение санитарно-технической керамики составляет для фаянса 10...12%, полуфарфора — 3...5, фарфора — 0,2...0,5%, а прочность при сжатии — соответственно — 100, 180...200 и 400...500 МПа.

Изделия санитарно-технической керамики белые, иногда светло-желтые, должны иметь правильную форму, ровную, гладкую и чистую поверхность без искривлений, равномерно покрытую глазурью. Из твердого фаянса изготавливают преимущественно унитазы, умывальники, ванны и т. д. Фарфор используют для производства изоляторов, химической лабораторной посуды и т. п.

## § 9.12. Керамические трубы

Керамические трубы выпускают дренажные с пористостью 12...18% и канализационные с плотным спекшимся черепком.

● **Дренажные трубы** имеют длину 333...500 мм с внутренним диаметром 25...300 мм при толщине стенок 8...24 мм. Наружная поверхность дренажных труб может быть гладкой, цилиндрической или шести-, восьми-, двенадцатигранной. Внутренняя по-

верхность трубы — гладкая, черепок в изломе должен иметь однородную структуру и чистый звук. С целью повышения водопроницаемости трубы делают перфорированными — с узкими продольными канавками (шлицами), а также продольными прорезами.

Основным сырьем для производства дренажных труб являются пластичные глины, используемые обычно в производстве черепицы и пустотелых керамических камней. В качестве отощающих материалов используют шамот (25%), песок (7...30%) и дегидратированную глину (до 25%). Для повышения пористости добавляют 2...3% тонкомолотого угля.

Массу готовят в основном *пластическим* способом. Глину измельчают в бегунах и вальцах, выдерживают 8...15 сут и для гомогенизации пропускают через глинорастираль. Формуют трубы на ленточных вакуумных прессах. Скорость выхода труб из пресса в зависимости от диаметра трубы составляет 0,06...0,12 м/с. Формование многогранных труб позволяет уменьшить толщину стенок и массу труб (на 30...35%), сократить расход сырья на 12...15%, повысить плотность садки на вагонетки, улучшить заполнение печного объема (с 59 до 86%), сократить сроки сушки изделий (на 20...22%), повысить производительность печи на 26...30%.

Сушат дренажные трубы в горизонтальном положении, укладывая отверстиями вдоль движения теплоносителя. Режим сушки труб примерно такой же, как при сушке пустотелых камней или черепицы. В туннельном сушиле продолжительность сушки труб диаметром 50 мм — 10...22 ч, диаметром 75...100 мм — 18...30 ч и диаметром 125...200 мм — 18...60 ч. Длительность сушки перфорированных труб сокращается на 20%, снижается брак при сушке, так как на 25...30% уменьшается степень коробления труб.

Обжиг труб производится в кольцевых и туннельных печах при температуре 920...1050°C. Длительность обжига в туннельных печах — 22...45 ч. Расход топлива при обжиге перфорированных труб на 15...20% ниже, чем при обжиге труб обычных. После обжига трубы разбраковывают и укладывают на складе горизонтальными рядами в штабеля, отдельно по диаметрам.

● **Трубы керамические канализационные** представляют собой пустотелые цилиндры, водонепроницаемые, глазурированные с внутренней и наружной сторон, длиной 800...1000 мм, диаметром 150...600 мм, с раструбом с одной стороны. Внутренняя сторона раструба и наружная сторона ствола трубы имеют резьбу, обеспечивающие плотное соединение на цементном растворе.

Изготавливают трубы керамические канализационные из тугоплавких или огнеупорных глин с отощающими добавками (тонкомолотым шамотом или кварцевым песком) или без них. Количество шамота достигает 35...40%.

Керамическая масса для труб требует особенно тщательной подготовки. Обычно готовят ее *пластическим способом*. Технологическая схема производства керамических труб представлена на рис. 9.15. Глину освобождают от крупных камней и подвергают

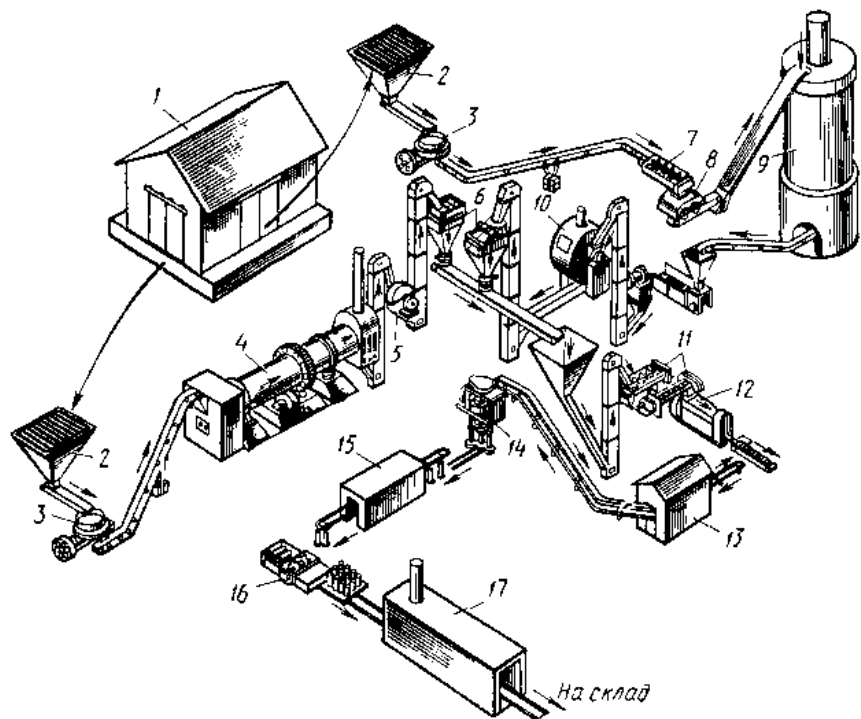


Рис. 9.15. Технологическая схема производства керамических канализационных труб.

1 — склад сырья 2 — бункер с решеткой, 3 — стругач измельчения глины, 4 — сушильный барабан, 5 — дезинтегратор для измельчения глины, 6 — дозатор глины и шамота, 7 — шнек для смешения и увлажнения глины, 8 — вальцы для брикетирования глины, 9 — шахтная печь для обжига глины на шамоте, 10 — измельчитель шамота, 11 — шнек для смешения глины с шамотом и их увлажнения; 12 — формовочный пресс, 13 — склад выдерживания полуфабриката; 14 — трубный пресс, 15 — туннельная сушилка, 16 — ванна для глазурирования труб; 17 — туннельная печь

грубому помолу, после чего подсушивают. Дополнительно измельчают в дезинтеграторах и просеивают. Параллельно идет приготовление из глины шамота, т. е. измельчение и увлажнение глины, ее обжиг на шамоте и дробление шамота. Отдозированные глину и шамот подают последовательно в два глиносмесителя. В первом осуществляют сухое смешение отдозированных глины и шамота, а во втором — влажное перемешивание до заданной формовочной влажности. Из приготовленной массы на ленточных прессах формируют валяшки, которые направляют на вылеживание в камеры.

Выдержанные валяшки следуют в формовочное отделение. Формование труб производят на специальных трубных прессах, на которых одновременно с телом трубы формируется раструб. Отформованную трубу подвывают в деревянном футляре до влажности 16...17%, а затем подвергают оправке и отрезке (обрезка, нарезка резьбы и т. д.). Подвялка позволяет в последующем интенсифицировать процесс сушки труб. При ручной обработке — это обязательная технологическая операция, так как из-за малой прочности свежеизготовленных труб невозможно провести их отделку. При автоматизированном производстве необходимость в подвялке обычно отпадает.

Сушку труб во избежание деформации ведут в вертикальном положении в туннельных сушилках при температуре теплоносителя на входе 140...180°C. Длительность подвяливания 18...20 ч, сушки 24...26 ч. Высушенные до влажности 4...5% трубы направляют на глазурирование, которое производят погружением или поливом, реже пульверизацией. Трубы покрываются глазурью как снаружи, так и изнутри, после чего их обжигают в туннельных печах при температуре 1100...1200°C. Длительность обжига труб диаметром 250...600 мм в туннельных печах 45...60 ч.

Анализ работы заводов показывает, что в производстве керамических канализационных труб значительная доля от общих трудовых затрат приходится на массозаготовительный и формовочный цехи. По формовочным цехам трудовые затраты составляют почти столько же, сколько по сушильно-печным. Уровень трудовых затрат по сушильно-печным цехам зависит от типа и производительности применяемых печей. Снижение трудовых затрат по формовочному цеху может быть достигнуто в результате конвейеризации процессов отбора и подвялки труб, а в обжиговом цехе — за счет повышения производительности туннельных печей и использования в качестве топлива природного газа. При конвейеризации производства возрастает производительность трубных прессов, высвобождаются производственные площади, сокращается срок подвялки труб, уменьшается количество рабочих, занятых на оправке и подвялке труб, увеличивается производительность труда и значительно сокращается брак.

Прогрессивная технологическая схема по производству керамических канализационных труб реализуется на *поточно-механизированных линиях*. Ее преимущество состоит в меньшем расходе металла на сооружение линии, сокращении капитальных затрат. Внедрение поточной линии ликвидирует тяжелый ручной труд за счет механизации процессов отборки труб от пресса, оправки, подвялки, сушки, глазурирования, а также механизации всякого вида операций по передвижению полуфабриката от одного рабочего места к другому. В результате поточно-механизированная линия дает значительный экономический эффект за счет резкого сниже-

ния трудовых затрат на единицу продукции и позволяет полностью механизировать весь процесс производства труб.

Канализационные керамические трубы отличаются повышенной плотностью и высокой химической стойкостью черепка. Их выпускают I и II сортов. Водопоглощение черепка для труб I сорта — не более 9%, для II сорта — не более 11% по массе. Трубы должны выдерживать гидравлическое давление не менее 0,2 МПа и иметь кислотоустойчивость черепка не ниже 92%. Показатели механической прочности и гидравлического давления, правила приемки и маркировки, хранения и транспортирования канализационных труб должны соответствовать требованиям ГОСТ 286—74.

Трубы канализационные применяют для производственных и хозяйственно-фекальных канализационных, а также для водосточных сетей при наличии агрессивных вод.

*1. Охарактеризуйте свойства керамического сырья, определяющего особенности керамической технологии. Какова роль отощителей? 2. Сопоставьте технико-экономические преимущества пластического, полусухого и шликерного способов подготовки керамических масс. 3. Как влияет режим сушки на качество керамических изделий? 4. В чем преимущества туннельных печей перед кольцевыми? 5. Что такое эффективные стеновые материалы и в чем их преимущества? 6. Какие керамические изделия применяют для внутренней и внешней облицовки зданий? 7. В чем особенности технологии плиток для полов и фасадной облицовки?*

## Глава 10

### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ РАСПЛАВОВ

#### § 10.1. Общие сведения

● Для минеральных расплавов, используемых в промышленности строительных материалов, единым признаком является их силикатная природа, т. е. преобладание в их составе силикатов. Именно силикатным расплавам присуща способность переходить при быстром охлаждении в стеклообразное состояние.

В структуре стеклообразных веществ отсутствует дальний порядок — характерная для кристаллов строгая повторяемость одного и того же элемента структуры. Характерный признак стекла — наличие ближнего порядка, т. е. существование отдельных упорядоченных групп, размер которых лишь немного превышает размер элементарной ячейки. Поэтому свойства стекла изотропны, т. е. одинаковы во всех направлениях. Вещество в стеклообразном состоянии гомогенно и не имеет определенной температуры плавления. Постепенно размягчаясь при нагревании, стеклообразные вещества переходят в жидкое состояние. Характерным признаком стеклообразного состояния является также его неравновесность (метастабильность), так как стекло обладает повышенным запасом внутренней энергии, часть которой в кристаллическом теле затрачивалась на построение кристаллической решетки.

Получение изделий из минеральных расплавов базируется на едином комплексе технологических операций, включающем плавление исходного сырья или шихты, формование и термическую обработку изделий с целью получения требуемой конечной микроструктуры и физико-химических свойств, а также снятия внутренних напряжений. Однако в зависимости от вида исходного сырья и соответственно особенностей состава материалов и изделий из минеральных расплавов их разделяют на: стекольные, камепные и шлаковые. Наибольшее распространение получили в промышленности строительных материалов стекольные расплавы, а в практике строительства — изделия из них.

#### § 10.2. Физико-химические основы получения изделий из стекольных расплавов

Для удовлетворения потребностей разнообразных отраслей техники, народного хозяйства, строительства разработаны сотни видов стекол различных составов. Как правило, современные про-

мышленные стекла содержат не менее пяти компонентов, а специальные технические — более десяти.

Изменение химического состава стекольного расплава позволяет эффективно регулировать прочностные, теплофизические, диэлектрические, химические и другие свойства стекла. Так, повышение химической устойчивости и механической прочности достигается за счет увеличения в составе стекла  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{CaO}$ ; замена части  $\text{SiO}_2$  на  $\text{PbO}$  придает стеклу повышенный блеск, введение в расплав фторидов позволяет получить глушеное стекло и т. д.

● **Сырье**, используемое для варки стекла, разделяют на главное и вспомогательное. Первое вводит в состав шихты необходимые для данного стекла основные и кислотные оксиды, второе придает стекломассе специфические свойства, облегчает ее варку и выработку. Разнообразие свойств и соответственно составов изготавливаемых стекол обуславливает и разнообразие используемого стекла.

Главные стеклообразующие оксиды вводят в состав шихты со следующими видами сырья:  $\text{SiO}_2$  — с кварцевыми песками или песчаниками,  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  — с известняками и доломитами,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — с пегматитом или полевым шпатом,  $\text{Na}_2\text{O}$  — с содой,  $\text{K}_2\text{O}$  — с поташом,  $\text{B}_2\text{O}_3$  — с бурой,  $\text{PbO}$  — с суриком и т. д. Основное требование, предъявляемое ко всем видам сырья, — чистота и однородность по составу. Особенно жесткие требования предъявляют к чистоте кремнеземсодержащего сырья, составляющего до 70% шихты. Снабжение стекольной промышленности сырьем постоянного химического и зернового состава, полностью подготовленным для подачи в шихту, — одно из главных направлений технического прогресса. Подготовку сырья целесообразно производить на фабриках непосредственно на месте добычи. В настоящее время работают четыре таких фабрики по выпуску обогащенных песков. Остальное сырье и пески других месторождений должны проходить необходимую подготовку на местах потребления.

К вспомогательным материалам относят вещества, создающие восстановительную или окислительную среду в стекольной шихте и печной атмосфере, ускоряющие процессы стеклообразования и обесцвечивания стекломассы, красители. В качестве восстановителей применяют антрацит и кокс, окислителей — нитраты натрия и калия, оксиды мышьяка и сурьмы. Ускорению процесса стекловарения способствуют небольшие добавки сульфата натрия, кремнефтористого и хлористого натрия. Красителями стекла являются соединения металлов, растворимые в стекломассе или образующие в ней взвешенные микрочастицы металлов и их соединений.

Обязательным компонентом шихты является стекольный бой. Его необходимое количество определяется видом вырабатываемых стеклоизделий. Используется бой, образующийся на данном

заводе и приобретаемый на стороне. Перед обработкой стеклойбой должен быть отсортирован, измельчен, вымыт и подвергнут магнитной сепарации для удаления металлических включений.

● **Приготовление стекольной шихты** заключается в дозировании по заданному рецепту подготовленных сырьевых материалов и тщательном их перемешивании. Допустимые отклонения от заданного содержания компонентов в шихте устанавливаются отдельно для каждого вида стекла. В зависимости от вида сырья различия в составе отдельных отвесов шихты не должны превышать  $\pm 0,5 \dots 1\%$ . На передовых заводах их удается снизить до  $0,3\%$ .

Точность дозирования и отвешивания компонентов определяет колебания состава шихты во времени. Дозирование чаще всего производят порционными вибрационными или ротационными пятателями, обеспечивая полное поступление отвеса материала в смеситель. Смешение шихты производят в смесителях периодического действия: тарельчатых, барабанных, а также в конусных. В последнее время за рубежом широко применяют скоростные турбинные смесители, позволяющие сократить время перемешивания до 1 мин.

В современных мощных стекловаренных печах время нахождения стекломассы сокращается. Поэтому шихта должна быть особенно однородной и иметь постоянный состав во времени. В то же время сухая стекольная шихта при переработке и транспортировании расслаивается и пылит. Во избежание этого рекомендуется ее увлажнение. Кроме того, увлажнение шихты повышает ее теплопроводность и реакционную способность, а также однородность получаемой стекломассы. Увлажнение производят в специальных смесителях. Вода нагревается до  $60 \dots 70^\circ\text{C}$  и распыляется во избежание образования переувлажненных комков. Дополнительные возможности интенсификации процесса стекловарения дает агломерация стекольных шихт путем ее грануляции или прессования. В уплотненном материале возрастает теплопроводность, что сокращает время прогрева и компенсирует затраты на уплотнение.

● **Варка стекла.** Многокомпонентность и разнообразие составов стекольных расплавов обуславливают сложность физико-химических процессов варки стекла, как многостадийного процесса превращения шихты в жидкую стекломассу. Компоненты шихты при нагревании вступают в химическое взаимодействие. По мере повышения температуры продукты реакции переходят в расплав, образуя стекломассу. За время пребывания стекломассы в печи в ней должны завершиться химические реакции, а непрореагировавшие твердые зерна должны раствориться в расплаве. Из стекломассы удаляются пузырьки газов, образовавшиеся при химическом взаимодействии, и расплав приобретает однородность по химическому составу и физическим свойствам, а также постоянную температуру по всему объему, поступающему на выработку. Важнейшими стадиями процесса варки стекла являются: силикатообразование,



стеклообразование, осветление, гомогенизация и студка стекломассы. Сущность каждой стадии сводится к следующему.

На первой *стадии силикатообразования* по мере нагревания шихты из нее испаряется влага, обезвоживаются гидраты, термически разлагаются некоторые соли (например, нитраты). При 300...400°C в промышленных шихтах начинается взаимодействие карбонатов и сульфатов с образованием двойных солей и легкоплавких эвтектик. При дальнейшем повышении температуры в реакцию вступают песок и глиноземные материалы с образованием различных силикатов. Одновременно вследствие плавления некоторых солей и эвтектик в шихте появляется расплав, интенсифицирующий взаимодействие компонентов. Уже при температуре порядка 800°C взаимодействие компонентов шихты заканчивается, выделение газов прекращается.

За счет жидкой фазы, образующейся при плавлении соды и эвтектических примесей, происходит спекание шихты. Однако значительная часть кремнезема (до 25%) остается в свободном состоянии. Для обычных натриево-кальциевых стекол стадия силикатообразования завершается при 800...900°C.

На второй *стадии стеклообразования* при повышенных температурах происходит плавление массы, избыточные зерна кварца и возникшие ранее силикаты растворяются в расплаве. Эти процессы протекают тем быстрее, чем выше температура и тоньше измельчены компоненты, особенно кварцевый песок. Однако во всех случаях стеклообразование требует времени в 8...9 раз больше, чем силикатообразование. К концу второй стадии при температуре 1100...1200°C шихта представлена прозрачной, но неоднородной по составу стекломассой, пронизанной множеством газовых пузырей.

На *стадии осветления* происходит освобождение расплава от последних. Шихта обычных промышленных стекол содержит в химически связанном виде около 18% газов или 4...5 м<sup>3</sup> на каждые 100 кг шихты. Удаление газов происходит двумя путями. Крупные пузыри поднимаются на поверхность и лопаются, чему способствует снижение вязкости расплава при высоких температурах. Мелкие пузырьки растворяются в расплаве. Поднимающиеся газовые пузыри перемешивают стекломассу. Для обычных стекол осветление заканчивается при температуре 1400...1500°C.

Структура стекломассы в процессе варки очень неоднородна (рис. 10.1). Для выравнивания ее химического состава, ликвидации свили и гетерогенных слоев стекломасса проходит *стадию гомогенизации*. В печах периодического действия она осуществляется перемешиванием стекломассы, в печах непрерывного действия — длительным выдерживанием ее в зоне высоких температур, а также бурлением стекломассы сжатым воздухом. Процессу гомогенизации способствует также перемешивание массы газовыми

пузырями. Осветление и гомогенизация — самые длительные стадии варки стекла.

Завершающая *стадия* процесса стекловарения — *студка* — заключается в повышении вязкости стекломассы до пределов, допускающих формование изделий, за счет снижения температуры до 1100...1200°C. Если на стадии осветления и гомогенизации вязкость стекломассы составляет около 10 Па·с, то при выработке она должна быть не менее 100 Па·с.

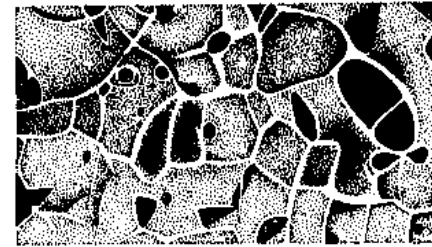


Рис. 10.1. Ячеистая структура стекломассы в процессе варки

Разделение процесса варки стекла на отдельные стадии достаточно условно, поскольку некоторые из них протекают одновременно. В то же время любой ограниченно малый объем шихты обязательно проходит все пять стадий процесса стекловарения.

Для промышленных стекол, вырабатываемых механическими способами, стекломассу получают в *непрерывно действующих стекловаренных ваннах*. Для некоторых специальных видов стекол стекломассу варят в *печах периодического действия (горшковых или ваннах)*, где варка и выработка стекломассы имеют следующие этапы: в разогретый горшок или ванну засыпают шихту и бой стекла, затем стекломассу проваривают, охлаждают и вырабатывают. При непрерывном процессе в один конец бассейна ванной печи постоянно загружают шихту и бой, а на другом его конце вырабатывают изделия. Здесь все стадии технологического процесса происходят одновременно.

Наиболее совершенные и распространенные промышленные стекловаренные печи — *ванна* и *печи непрерывного действия*. Их конструкция и размеры разнообразны и определяются типом вырабатываемых стекол, способом формования изделий, масштабом производства. Конструктивно ванную печь (рис. 10.2) делят на *отапливаемую (варочную)* и *неотапливаемую (студочную и выработочную)* части. В *отапливаемой* части происходит провар шихты, осветление, гомогенизация и начальное охлаждение стекломассы, в *неотапливаемой (студочной)* охлаждение стекломассы завершается и сюда примыкают устройства для ее выработки.

Самые большие отечественные ваннные печи имеют ширину бассейна до 10 м, общую длину 60...70 м и глубину 1,5 м. Они вмещают 2000...2500 т стекломассы при суточной производительности 350...450 т. Повышение мощности печей обеспечивает снижение удельных расходов топлива и трудозатрат на их обслуживание. Вместе с тем в производстве прокатного, технического и других видов стекол широко используют и ваннные печи небольших размеров производительностью 5...100 т/сут.

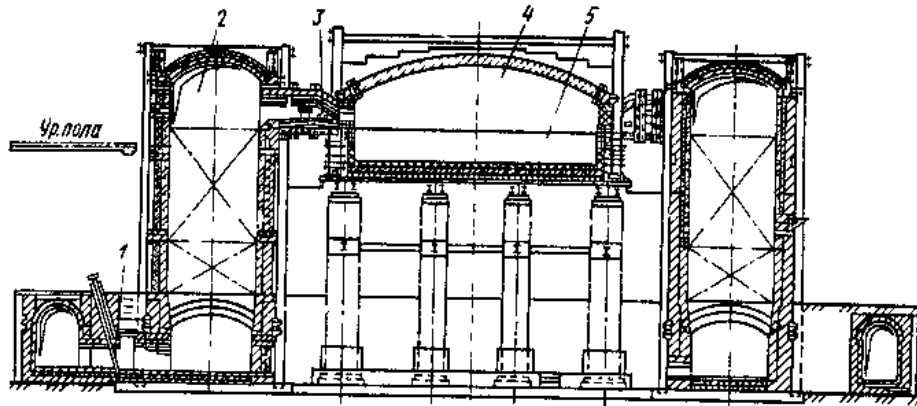


Рис. 10.2 Ванная стекловаренная печь:  
1 — регулировочный шибер, 2 — регенератор; 3 — горелка, 4 — пламенное пространство печи 5 — варочный бассейн

По способу подвода теплоты к стекломассе ваннные печи делят на *пламенные, электрические и пламенно-электрические*. В пламенных печах обогрев стекломассы осуществляется в поперечном направлении с помощью пяти—семи пар горелок, расположенных по периметру печи. Тепловой КПД таких печей составляет 22...30%. Тепловые потери нагретой стекломассы уменьшаются, если теплоту вносят непосредственно в глыбу расплава, например путем пропускания через стекломассу переменного электрического тока. Электронагрев ведут при относительно низких напряжениях (80...120 В) и высокой силе тока (~10 000 А). Для подвода тока в стены и дно печей устанавливают электроды, предпочтительно из молибдена. Расход электроэнергии на варку различных стекол составляет 3...5,5 МДж на 1 кг стекломассы. Это очень высокий показатель, удорожающий производство, и хотя тепловой КПД электрических печей в 2...3 раза выше, чем пламенных, экономически они невыгодны. В современных мощных ваннных печах для листового и тарного стекла применяют комбинированный пламенно-электрический нагрев, позволяющий сократить расход электроэнергии до 0,9...1,35 МДж.

Горшковые печи применяют для варки различных по составу стекол в небольших количествах, а также для варки свинцового

хрусталя, глушеных, цветных и ряда специальных сортов стекол. Их тепловой КПД составляет лишь 6...8%.

● **Формование стеклоизделий** связано прежде всего с особенностями изменения вязкости стекломассы в зависимости от температуры. По мере охлаждения готовая текучая стекломасса становится пластичной. Это позволяет придать ей заданную форму. Затем полученное изделие охлаждают и приданная форма фиксируется в процессе затвердевания изделий.

Преобразование стекломассы в изделие осуществляется различными способами: вытягиванием, прокаткой, растеканием, литьем, выдуванием, прессованием и т. д. Выбор конкретного варианта формования определяется размером, формой и свойствами изготавливаемых изделий, и эти вопросы будут рассмотрены подробнее при изложении основ технологии соответствующих видов стекол.

● **Отжиг.** При быстром охлаждении нагретого стеклянного изделия его наружные слои остывают быстрее внутренних, что вызывает появление в стекле механических напряжений. При достаточной величине они могут вызвать разрушение изделий. Чтобы обеспечить сохранность и необходимую прочность изделий в производственном процессе и при эксплуатации, напряжения, возникшие в стекле, необходимо снять. Для этого их подвергают термической обработке отжигом.

Отжигают изделия в печах периодического действия (камерных) и непрерывных (туннельных муфельных, электрических роликовых). Необходимый режим отжига стеклоизделий определяется составом и свойствами стекла, размером и толщиной стенок изделий. Отжиг происходит в несколько стадий. Сначала изделия нагревают до температуры на 20...30°C ниже температуры перехода из хрупкого в пластическое состояние, выдерживают их при этой температуре до исчезновения остаточных напряжений, а потом охлаждают медленно с такой скоростью, чтобы не возникали опасные напряжения.

● **Свойства стекла** не только влияют на условия его работы при эксплуатации, но в значительной мере определяют и выбор технологических режимов производства изделий. В свою очередь и свойства стекла зависят от многих факторов: состава, режима теплообработки, состояния поверхности, размеров образца и др.

Предел прочности при сжатии обычных отожженных стекол 500...2000 МПа, в то время как у чугуна он 600...1200 МПа, у стали — 2000 МПа. Тем самым прочностные показатели стекла и металлов очень близки. Однако основной недостаток стекла — хрупкость. Она оценивается отношением модуля упругости материала к прочности при растяжении  $E/P_p$ . Чем оно выше, тем при меньшей деформации напряжение в материале достигает предела прочности. Показатель хрупкости стекла  $E/P_p=300...1500$ , в то время как для стали он равен 400...450, для резины — 0,4...0,6.

На растяжение стекло работает значительно хуже. При теоре-

тической прочности стекла на растяжение порядка 10 000 МПа фактически она составляет 35... 100 МПа, т. е. в 15... 20 раз меньше, чем прочность при сжатии. В значительной мере прочность при растяжении зависит от сечения испытуемого образца. У стеклянного волокна диаметром  $10^{-4}$  см она повышается до 200... 500 МПа. Это объясняется тем, что в массе стекла и на его поверхности имеются ослабленные участки (трещины, микронеоднородности), по которым и начинается разрушение. Как и для других материалов, для стекла характерно явление усталости. При долговременной нагрузке прочность его меньше, чем при кратковременной.

Высокий модуль упругости определяет также опасные напряжения, развивающиеся в стекле при термических нагрузках, хотя коэффициент линейного термического напряжения для стекла сравнительно невысок —  $(8,5-9) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Чем меньше коэффициент термического расширения, тем выше способность стекла выдерживать резкие перепады температур.

### § 10.3. Листовое стекло

● **Листовое стекло** — основной вид стеклоизделий, используемых в строительстве. Оно вырабатывается механизированным способом в виде плоской ленты небольшой толщины и подразделяется по способу производства на: *тянутое*, получаемое вертикальным вытягиванием изделий из стекломассы; *прокатное*, вырабатываемое прокатом стекломассы в ленту прокатными валиками; *полированное*, изготовляемое методом термической полировки.

Наиболее широкое распространение получило производство листового стекла способом вытягивания (рис. 10.3). Исходные сырьевые материалы проходят предварительную подготовку. Мел и доломит сушат и дробят. Наиболее сложной подготовке подвергается песок, составляющий основную массу шихты. Качество песка определяет качество стекла и изделий. Его сушат и очищают от посторонних включений. Для удаления из песка железистых примесей применяют промывку, обработку химическими реагентами, флотацию и магнитную сепарацию.

Перемешивание компонентов шихты производят главным образом в тарельчатых смесителях. Получению однородной шихты способствует определенное содержание влаги. При недостатке влаги перемешивание затрудняется, а готовая шихта может расслаиваться. Обычно влажность шихты должна составлять 4... 6%. Готовую шихту подают в ванную стекловаренную печь.

Образующаяся в печи стекломасса служит полуфабрикатом, из которого формируют листовое стекло, в основном вертикальным вытягиванием ленты. Известны два способа вытягивания — лодочный и безлодочный.

● **Лодочный способ** вытягивания широко применяется в нашей стране с использованием машин вертикального вытягивания стекла (ВВС) (рис. 10.4). Лента стекла формируется из стекломассы с помощью лодочки — прямоугольного шамотного бруса со сквозным

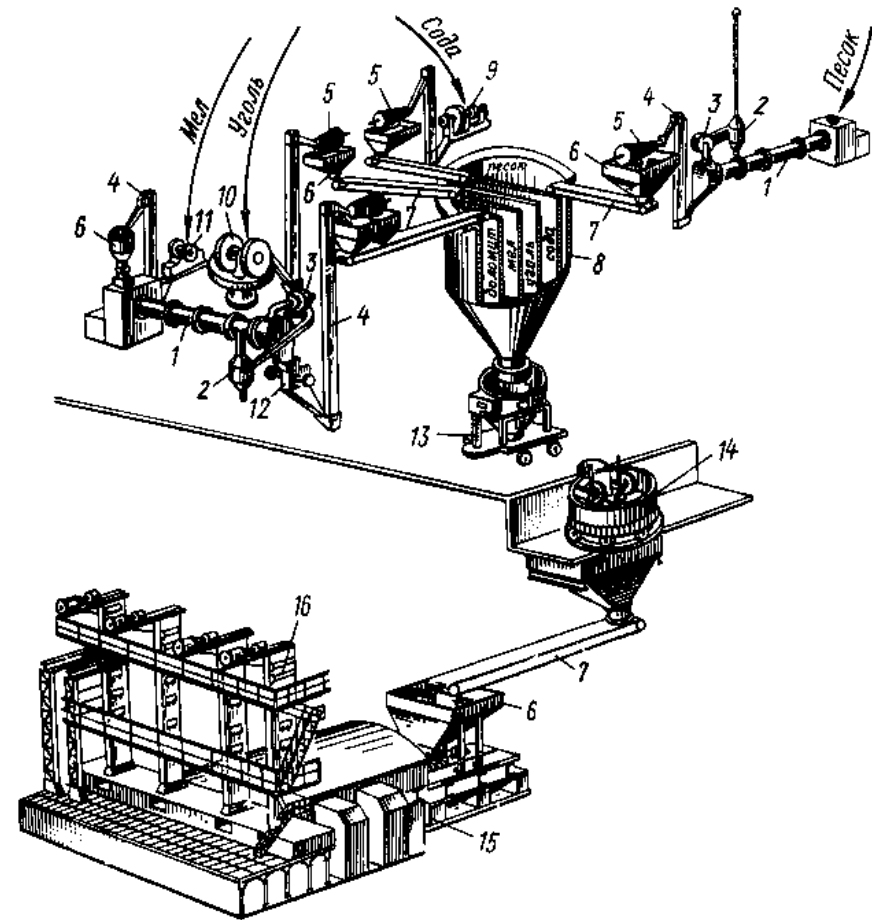


Рис. 10.3. Технологическая схема производства листового строительного стекла.

1 — сушильный барабан; 2 — циклон; 3 — вентилятор; 4 — элеватор; 5 — сито; 6 — бункер; 7 — транспортер; 8 — секционный бункер сырья (мела, угля, соды и пр.); 9 — деагрегатор; 10 — бегуны; 11 — щековая дробилка; 12 — молотковая дробилка; 13 — вагонетка-весы; 14 — смешение шихты; 15 — стекловаренная печь; 16 — машина для вытягивания стекла

продольным вырезом, переходящим в верхней его части в узкую щель. Лодочка погружается в стекломассу. Расплав при этом выступает из щели под действием гидростатического напора, сцепляется с опущенной в него металлической гребенкой — «приманкой»

и вытягивается кверху с помощью валков машины вертикального вытягивания стекла (ВВС), образуя непрерывную ленту стекла. Чтобы лента стекла не сужалась по ширине, ее края (борты) захватывают специальными приспособлениями — металлическими бортодержателями, а полотно ленты охлаждают с помощью холодильников. Ширина ленты стекла может достигать 4,5 м, скорость вытягивания — 120...130 м/ч.

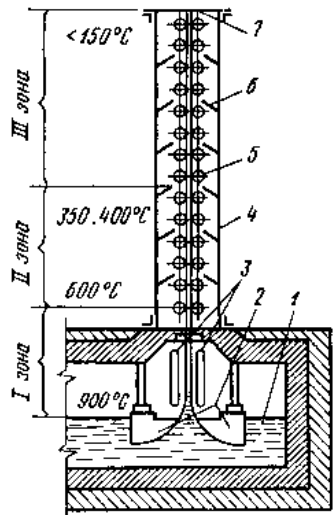


Рис. 104 Установка вертикального вытягивания стекла:

1 — стекломасса, 2 — лодочка; 3 — холодильники; 4 — шахта машины; 5 — валки; 6 — скалы для удаления боя; 7 — отломочная площадка

растягивается сильнее; это позволяет сравнительно легко получать заданную толщину ленты и изменять ее. Охлажденное стекло нарезают на требуемые размеры и упаковывают.

Достоинства лодочного способа вертикального вытягивания стекла, являющегося пока основным, состоят в простоте выработочных устройств, относительно малых удельных капитальных затратах на строительство установок, простоте обслуживания машин. Но он имеет и существенные недостатки. К ним относятся повышенная полосность стекла, частые обрывы и невысокая скорость вытягивания ленты стекла. Поэтому в последние годы лодочный способ стал уступать место другим способам, в частности безлодочному, позволяющему получать стекло более высокого качества.

● При **безлодочном** способе вытягивание ленты стекла производится со свободной поверхности стекломассы. Схема подмашинной камеры для безлодочного вытягивания стекла представлена на рис. 10.5. В стекломассу погружают огнеупорный поплавок, кото-

рый способствует созданию направленного потока стекломассы, ее охлаждению до определенной вязкости и стабилизации процесса формирования ленты. Меняя глубину погружения поплавка, регулируют температуру и вязкость стекломассы. Удельный расход условного топлива при лодочном и безлодочном способах вытягивания примерно одинаков, но при безлодочном вытягивании средняя скорость ленты выше, чем при лодочном способе. Особенно это

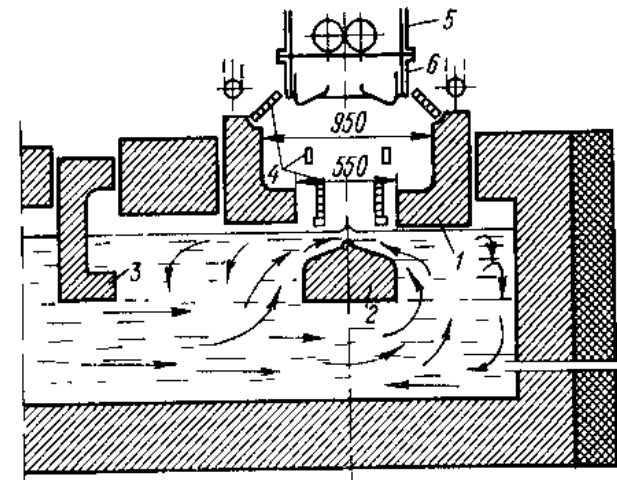


Рис. 105 Схема подмашинной камеры для безлодочного вытягивания стекла

1 — блок; 2 — шамотное тело (поплавок); 3 — противосвишный мост; 4 — холодильник; 5 — машина ВВС; 6 — коробка для улавливания боя стекла

заметно при выработке толстых стекол. В 3...4 раза повышается также длительность работы машины между обрывами ленты. Кроме того, безлодочный способ позволяет устранить полосность стекла, т. е. повысить его качество. Однако хорошие результаты при вытягивании ленты безлодочным способом могут быть достигнуты только при точном соблюдении технологического режима, незначительные нарушения которого ведут к резкому ухудшению показателей.

Повышение скорости вытягивания ленты обуславливает необходимость увеличения высоты шахты до 12 м и соответственно рост удельных капитальных затрат на строительство. Кроме того, резко снижается коэффициент использования стекломассы (до 78...82%) из-за большой ширины отрезаемых бортов (примерно по 10 см с каждой стороны). Это ограничивает использование безлодочного способа вытягивания стекла в отечественной промышленности.

● **Способом проката** изготавливают крупноразмерные стеклянные листы, а также узорчатое стекло с орнаментом на поверхности и армированное стекло. Прокатное стекло вырабатывают периодическим или непрерывным способом. Периодическим прокатом получают листы толщиной до 40...50 мм, шириной до 5 м и длиной до 8 м. Стекломасса из горшка выливается на наклонную плиту, проходит между двумя парами валков, прокатывающими ленту необходимой толщины, и по второй наклонной плите поступает на приемный стол, который подает ленту в отжигательную печь. Для периодического проката характерна низкая производительность при высокой себестоимости продукции.

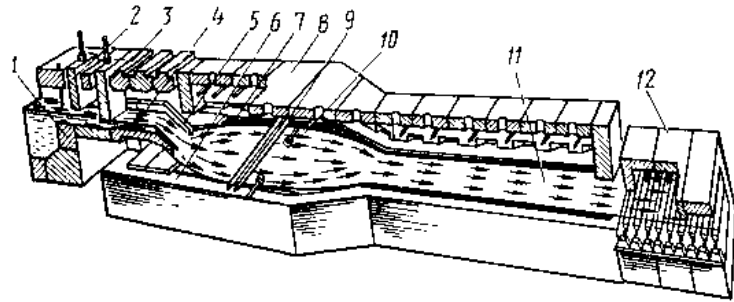


Рис. 10.6. Схема формования ленты стекла флоат-способом.

1 — канал выработки, 2 — отсечный шибер, 3 — регулирующий шибер, 4 — стекломасса, 5 — сливной лоток; 6 — ванна с расплавленным оловом, 7 — нагреватель, 8 — свод, 9 — холодильник; 10 — бортодерживающие рольки, 11 — лента стекла, 12 — печь отжига

В настоящее время для производства прокатного стекла в основном применяют непрерывный способ. Стекломасса из ванной печи по сливному лотку поступает в прокатные валки, которые формируют ее в ленту. Непрерывный прокат — самый высокопроизводительный способ производства стекла. Одна прокатная машина вырабатывает до 250 т стекла в сутки, что соответствует примерно девяти машинам ВВС. Недостаток непрерывного проката — невозможность получения стекла тоньше 3 мм и необходимость дальнейшей шлифовки и полировки.

Недостатки конвейеров — большие размеры и масса, высокий расход электроэнергии и стоимость продукции — заставили искать более эффективные способы производства полированного стекла.

● **Флоат-способ** (способ термической полировки) — это новый высокопроизводительный и экономичный способ производства полированного стекла, который в течение короткого времени получил распространение во многих странах (рис. 10.6). Он обеспечивает высокие производительность и качество продукции. Особенность способа в горизонтальном формовании ленты стекла на поверхности расплавленного олова. Стекломасса из ванной печи направля-

ется по каналу в лоток, с которого стекает на расплавленное олово и растекается по его поверхности, образуя ленту толщиной около 6,3 мм. Получаемая лента не соприкасается при формировании с твердыми деталями, обе ее поверхности по качеству не уступают стеклу, получаемому механической шлифовкой и полировкой. Во время движения по поверхности расплавленного олова (длина ванны с расплавленным оловом 45 м) лента охлаждается от 900...1000 до 600...700°C. Охлажденная лента отделяется от поверхности олова, через окно удаляется из ванны и по транспортным роликam поступает в электрическую отжигательную печь.

Себестоимость полированного стекла, полученного флоат-способом, значительно ниже, чем на конвейерах шлифовки и полировки, и приближается к себестоимости листового стекла, вырабатываемого на установках ВВС. Это привело к постепенному вытеснению конвейеров шлифовки и полировки листового стекла установками термической полировки.

Рост выпуска продукции в стекольной промышленности в последние годы осуществляется за счет совершенствования процессов стекловарения: повышения температуры варки стекла, увеличения площади варочных бассейнов стекловаренных печей, применения высокоустойчивых огнеупоров и внедрения новых высокопроизводительных технологических способов изготовления стекла.

Важнейшим фактором увеличения выпуска продукции, повышения ее качества и снижения себестоимости является совершенствование процессов варки стекла. Повышение температуры варки с 1400 до 1450°C позволяет повысить удельную производительность печей на 30...35% и улучшить качество за счет получения более однородной стекломассы. Надежным средством интенсификации процессов стекловарения (на 12...15%) является также введение в шихту химически активных добавок.

Принудительное бурление стекломассы в бассейнах ванн печей проточного типа сжатым воздухом позволяет повысить однородность стекломассы и снизить на 10...15% потери от брака. Автоматизация управления режимами работы стекловаренных печей дает возможность стабилизировать теплотехнические и технологические параметры, повысить качество продукции, уменьшить технологические отходы и улучшить условия труда.

Технико-экономические показатели стекольной промышленности формируются под влиянием следующих факторов: повышения технического уровня производства стекла на основе внедрения новой техники и совершенствования технологии производства; применения более дорогих огнеупоров повышенного качества; усложнения конструкций ванн печей и создания новых гипов автоматически управляемых печей; увеличения высоты машин ВВС; строительства более совершенных конвейеров двусторонней шлифовки и полировки стекла, внедрения высокопроизводительных механизмов и оборудования, обеспечивающих ликвидацию ручного труда на опе-

рациях резки, сортировки, группировки и упаковки стекла. Все это приводит, как правило, к росту удельных капитальных вложений при снижении себестоимости производства. В то же время увеличение мощности предприятий за счет установки высокопроизводительного оборудования, мощности стекловаренных печей путем интенсификации процессов варки стекла, скорости вытягивания стекла и ширины ленты стекла, скорости на конвейерах шлифовки и полировки стекла путем применения более эффективных шлифующих и полирующих материалов обеспечивает снижение себестоимости продукции и удельного расхода топлива и энергии, рост производительности труда.

СССР занимает в мире ведущее место по выпуску листового стекла. По толщине его разделяют на шесть видов: 2; 2,5; 3; 4; 5 и 6 мм; по качеству — на два сорта. Ширина листов — 250... 1600 мм, длина — 250... 2200 мм.

Стекло должно быть бесцветным. Допускаются слабые голубоватый и зеленоватый оттенки, если при этом не снижается светопропускная способность стекла. Она должна составлять для стекла толщиной 1 мм — не менее 87%, 5... 6 мм — не менее 84%. Стекло как строительный материал требует незначительных затрат на содержание при эксплуатации. Оно не нуждается в окраске и побелке, имеет хорошие декоративные качества, а расходы на мытье его значительно ниже, чем уход за штукатуркой или другими отделочными материалами.

#### § 10.4. Архитектурно-строительное стекло

● К архитектурно-строительному стеклу относят специальные виды листового стекла (витринное, узорчатое, армированное), конструктивно-строительные изделия (стеклоблоки, стеклопакеты, стеклопрофилит) и облицовочные изделия (коврово-мозаичные плитки, стеклянные эмалированные плитки, стемалит).

● **Витринное стекло** представляет собой бесцветное прозрачное листовое стекло с гладкими плоскостями больших размеров. Изготавливают его в основном способом термической полировки. Толщина витринного стекла 6... 12 мм, площадь полотен 4... 12 м<sup>2</sup>. Оно может быть плоским и гнутым. Гнутое витринное стекло изготавливают из плоского стекла «молированием» — гибкой размягченного стекла на металлических шаблонах. Витринное стекло характеризуется высоким пределом прочности при сжатии — до 1200 МПа. Применяют его для остекления внутренних и наружных витрин и проемов в магазинах, ресторанах, аэропортах и т. д.

● **Узорчатое листовое стекло** по всей поверхности имеет на одной или обеих сторонах рельефный узор. Изготавливают его способом непрерывного проката. При этом на поверхность одного из прокатных валов наносят рельеф глубиной до 0,5 мм по заданному рисунку. При прокатке рисунок переносится на формуемую пластич-

ную стекломассу. Для каждого узора подбирают оптимальную скорость проката.

Узорчатое стекло имеет ширину 400... 1600, длину 600... 3600, толщину 4, 5 и 6 мм. Его применяют для остекления дверей, перегородок и других объектов, где не допускается сквозная видимость и требуется рассеянное освещение.

● **Декоративное стекло типа «мороз»** является разновидностью узорчатого листового стекла. Одна поверхность стеклянной заготовки матируется механической обработкой. На нее наносится кистью слой мездрового клея, после чего заготовку сушат в камерных или туннельных сушилах 12 ч при 30°C и 6 ч при 50... 60°C. При сушке клей сокращается в объеме и срывает с поверхности стекла пленку толщиной до 0,25 мм. В результате образуется матовый узор, напоминающий узор на оконном стекле при морозе. Стекло «мороз» применяют для остекления внутренних и наружных световых проемов.

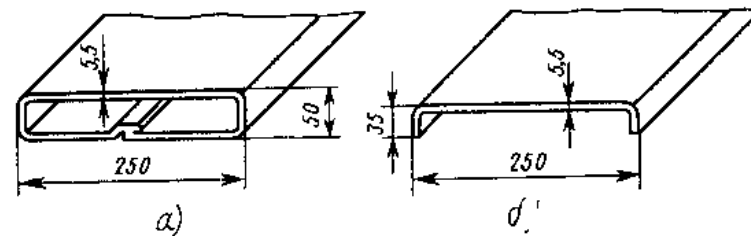


Рис. 10.7. Коробчатый (а) и швеллерный (б) стеклопрофилит

● **Армированное стекло** получают методом непрерывного проката с одновременным закатыванием внутрь листа металлической сетки. Армированное стекло может иметь гладкую, кованую или узорчатую поверхность, быть бесцветным или цветным. Его выпускают в виде плоских и волнистых листов. Отформованную ленту подвергают отжигу и нарезают на заданный формат. Армированное стекло отличается повышенной степенью безопасности. Оно обладает способностью сохранять первоначальную форму, будучи покрыто трещинами, возникающими при ударных или тепловых нагрузках. Армированное стекло обладает также повышенной огнестойкостью (до 1,3 ч). При разрушении осколки его удерживаются армирующей металлической сеткой. Это стекло выпускают длиной 1200... 2000, шириной 400... 1500 и толщиной 5,5 мм. Предел прочности при сжатии 600 и при изгибе 30... 40 МПа.

Армированное стекло применяют для остекления фонарей верхнего света, оконных переплетов, устройства перегородок, ограждений балконов, лестничных маршей и др. Волнистые листы используют для устройства светопрозрачных кровель в промышленных и общественных зданиях (вокзалы, рынки и т. д.).



● **Профильное строительное стекло (стеклопрофилит)** (рис. 10.7) представляет собой элементы швеллерного и коробчатого сечения. Технология производства профильного стекла сводится к приготовлению шихты, варке стекломассы в ванной печи, прокату ленты и формированию профиля с последующим отжигом. Профильное стекло может быть бесцветным или окрашенным. Стеклопрофилит коробчатого сечения производят шириной 244...294 мм, длиной 4800, высотой 50 и толщиной 5,5 мм; профильное стекло швеллерного сечения выпускают шириной 244...527 мм, длиной 6000, высотой полки 35...50 и толщиной 5,5 мм.

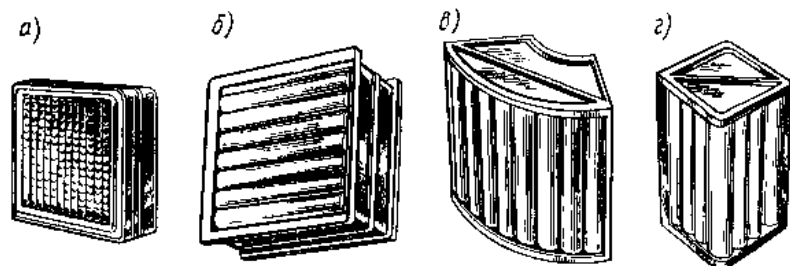


Рис 10.8. Разновидности пустотелых стеклянных блоков:  
а, б — квадратные; в, г — угловые

Стеклопрофилит используют для прозрачных ограждений и самонесущих стен в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве, для устройства внутренних перегородок и прозрачных плоских кровель в различных типах зданий.

Конструкции из профильного стекла дают мягкий рассеивающий свет со светопропусканием 40...70%. Стена из коробчатых (в один ряд) или швеллерных (в два ряда) стеклодеталей по своим акустическим свойствам не уступает межкомнатным оштукатуренным перегородкам из кирпича и других материалов. Предел прочности при изгибе конструкций из профильного стекла швеллерного сечения составляет 17,5 МПа, а коробчатого сечения — 9 МПа, огнестойкость конструкции — 15...30 мин. С точки зрения архитектурного оформления профильное стекло имеет ряд преимуществ перед другими строительными материалами. Его можно применять в сочетании с металлическими, бетонными, кирпичными или деревянными элементами зданий при отделке фойе кинотеатров, магазинов, киосков и т. д.

● **Стеклоблоки** (рис. 10.8) — полые, пропускающие свет изделия с разнообразной фактурой внутренней или наружной поверхности. В зависимости от профиля и размера стенок блока меняется интенсивность и направленность световых лучей, обеспечивая равномерное освещение отдельных участков и больших площадей в зданиях. Технология изготовления блоков предусматривает сначала выработку на специальных прессах-автоматах полублоков из

обычной стекломассы. Затем отпрессованные половинки блока соединяют друг с другом по периметру с помощью газовой сварки или склейки. При сварке в блоках образуется частично разреженная среда, что значительно уменьшает их коэффициент теплопроводности. Полученные сваркой стеклоблоки отжигают в конвейерной печи.

Выпускают также цветные и светонаправленные блоки. Последние имеют рифления специальной формы, обеспечивающей эффект направленности освещения.

Предел прочности при сжатии блоков составляет в среднем 0,9...2,5 МПа. Они обладают высокими звукоизоляционными свойствами, долговечны и гигиеничны. Светопропускание бесцветных блоков составляет 50...56%, а цветных — 35...40%. Стеклобетонные блоки создают мягкое рассеянное освещение, увеличивают глубину естественной освещенности, исключают сквозную видимость. Ограждения из стеклоблоков обладают высокой огнестойкостью (до 2,4 ч) и звукоизоляционной способностью (38...40 дБ).

Стеклоблоки используют для получения пропускающих свет, но непрозрачных ограждений, обеспечивающих высокую тепло- и звукоизоляцию. Они с успехом служат в фасадах промышленных зданий, для освещения лестничных клеток и складских помещений, а также в архитектурно-декоративных целях. Стены и перекрытия из стеклянных блоков — самонесущие конструкции, рассчитываемые только на ветровую и снеговую нагрузки. Несущими строительными конструкциями они не могут служить вследствие хрупкости стеклоблоков, пониженной их механической прочности при изгибе, а также большой разницы коэффициента термического линейного расширения стеклоблоков с другими строительными материалами. В стеклобетонных конструкциях несущей частью является железобетонный каркас, а стеклоблоки заполняют световое его пространство. Стеклобетонные конструкции (рис. 10.9) выкладывают на пластичном цементно-песчаном растворе. В швах между блоками размещают арматуру.

Эффективность применения стеклобетонных конструкций обеспечивается хорошими звукоизолирующими свойствами, простотой обслуживания и гигиеничностью. Они обеспечивают освещение по-

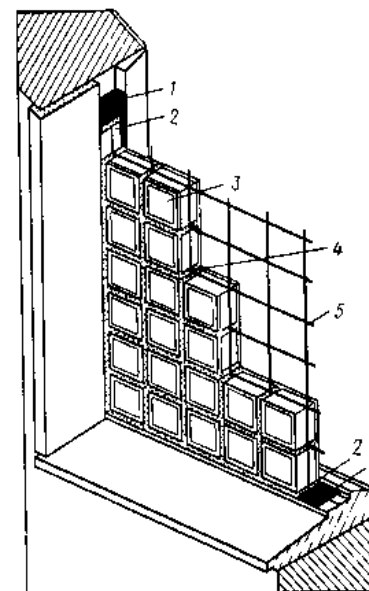


Рис. 10.9. Стеклобетонная конструкция оконного проема:  
1 — резиновая прокладка; 2 — бетонная обойма; 3 — стеклянный блок; 4 — цементно-песчаный раствор; 5 — арматура

мещений рассеянным дневным светом (их светопропускание лишь на 10% ниже, чем у обычного окна). Кроме того, стеклобетонные конструкции по теплоизоляционным свойствам вдвое эффективнее окон. Стеклобетонная стена по теплопроводности равноценна кирпичной стене толщиной 30 см.

● **Стеклопакеты** представляют собой два или более листов стекла, герметично соединенных по периметру. Между стеклами имеется полость, заполненная воздухом. Стеклопакеты изготавливают из оконного, витринного, армированного, узорчатого и других стекол толщиной 2...8 мм, площадью до 5 м<sup>2</sup>. Расстояние между стеклами может быть 15...20 мм. Стекло в стеклопакет соединяют сваркой или с помощью вкладышей. Стеклопакеты выдерживают большую ветровую нагрузку, чем отдельные стекла той же толщины. При остеклении стеклопакетами упрощается конструкция оконных проемов, увеличивается световая площадь и снижаются теплопотери. Стеклопакеты не замерзают при наружной температуре до —5°С (одинарный) и —40°С (двойной), не нуждаются в протирке внутренних поверхностей. Светопропускание стеклопакетов в зависимости от применяемого вида стекол меняется в больших пределах — от 30 до 80%. Звукоизолирующая способность стеклопакетов выше, чем при обычном остеклении с двойным переплетом. Применение стеклопакетов для остекления промышленных, гражданских и общественных зданий способствует повышению индустриализации строительства и более эффективному использованию листового стекла.

● **Облицовочное стекло** устойчиво против атмосферных явлений и гигиенично. Его применяют для облицовки панелей стен жилых и общественных зданий. Выпускают несколько видов облицовочного стекла.

Облицовочное стекло «марблит» (от франц. *marble* — мрамор) представляет собой плиты размером до 2100×1400 мм, толщиной 6...12 мм из непрозрачного стекла с полированной лицевой и рифленой тыльной поверхностями. Получают его литьем с последующей полировкой либо горизонтальным прокатом. Меняя состав стекла, можно в широких пределах регулировать палитру плиток. Применяют «марблит» для облицовки фасадов и внутренней отделки общественных зданий, а также для подоконников и т. д.

● **Стемалит** — листовое стекло различной фактуры, покрытое с одной стороны глянцевыми керамическими красками различного цвета. Стемалит изготавливают из неполированного витринного или прокатного стекла толщиной 6...12 мм, площадью до 3 м<sup>2</sup>. Предел прочности стемалита при сжатии 800 МПа, при изгибе 180 МПа. Этот материал отличается высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям, постоянством цвета и термической стойкостью. Стемалит предназначен для наружной и внутренней облицовки зданий, а также изготовления многослойных навесных панелей.

● **Стекланную эмалированную плитку** производят из отходов листового оконного стекла. Эмаль готовят на основе титановых руд с добавкой керамических красок. Стекло, нарезанное форматом 150×150 или 150×75 мм, покрывают размолотой эмалью, сушат и обжигают при 700...800°С. Эмаль оплавляється и спекается с поверхностью стекла, образуя слой толщиной 0,2...0,3 мм. Фактуру поверхности плиток регулируют подбором температурного режима обжига. Эмалированная стеклянная плитка служит для облицовки торговых предприятий, душевых и ванных помещений, санузлов и т. д. Высокая химическая стойкость позволяет использовать их в сооружениях, подвергающихся действию агрессивных сред.

● **Ковровую мозаику** изготавливают из цветной глушеной стекломассы. Прокатом формируют ленту стекла толщиной 5...6 мм с насечкой, соответствующей размеру плитки (20×20 или 25×25 мм). Затем ленту разламывают на плитки, наклеиваемые лицевой стороной на крафт-бумагу. Ковровую мозаику можно использовать для отделки поверхностей стен или колонн непосредственно на стройплощадке путем прикатывания листов мозаики к цементному раствору. Чаще ковровую мозаику наносят на бетонные поверхности при изготовлении изделий на заводе. После отвердевания бетона или раствора бумагу смывают.

## § 10.5. Техническое стекло

Техническое стекло — наиболее высококачественный вид стекла, используемый в различных отраслях техники и позволяющий решать разнообразные и специфические задачи.

● **Закаленным стеклом** можно назвать стекло любого состава, цвета, формы и размеров, подвергнутое термической обработке, которая обеспечивает повышенную механическую и термическую прочность, а также специфический характер разрушения такого стекла по сравнению с обычным. Закаленное стекло при разрушении распадается на небольшие кусочки с тупыми пережущими краями, что повышает его безопасность. Закалка стекла обеспечивает равномерное распределение температурных напряжений в материале. Она проводится на установках, включающих электропечь и обдувочный механизм. Стекло, предварительно нарезанное по формату, нагревают до 500...700°С, выдерживают 3...4 мин и быстро, но равномерно охлаждают путем обдувания с двух сторон холодным воздухом.

Закаленное стекло отличается от обычного значительно большей прочностью на удар и изгиб. Закаленный лист стекла толщиной около 6 мм выдерживает удар падающего шара массой 0,8 кг с высоты 2 м. Прочность на изгиб повышается в 4...5 раз. Закаленное стекло имеет повышенную термостойкость и выдерживает резкие колебания температуры до 270°С.

Технологический процесс получения закаленного стекла сравнительно прост, поэтому налажено его широкое производство. Обычно закалке подвергают полированное и неполированное стекло толщиной 4,5...6 мм. Освоен также выпуск высококачественного листового полированного стекла больших размеров толщиной 10...20 мм, подвергнутого закалке и используемого для изготовления входных дверей, перегородок, ограждений и т. д. Оно позволяет обеспечить зрительную связь помещений друг с другом и с внешним пространством, т. е. как бы увеличить объем помещений.

● **Многослойное безосколочное стекло** состоит из нескольких слоев стекла, склеенных между собой прозрачной органической пленкой. Наибольшее распространение получил триплекс — трехслойное листовое изделие из двух наружных листов силикатного стекла с прозрачной эластичной прокладкой. При нарушении целостности триплекс не дает разлетающихся острых осколков. Прокладка удерживает осколки растрескавшегося стекла.

Технологический процесс получения триплекса включает: мойку, сушку и обезжиривание стекла, промывку и сушку эластичной пленки, пакетирование с укладкой между слоями стекла бутафольной пленки, вальцевание прокаткой пакетов на вальцовочном конвейере, вакуумирование для полного удаления межпакетного воздуха, прессование, совмещенное с автоклавной обработкой, и факетирование, т. е. механическую обработку краев триплекса водопесчаной смесью.

Плоские листы триплекса имеют различную конфигурацию длиной 350...575 мм, шириной 185...445 мм. Производится также гнутый триплекс больших размеров и сложной конфигурации. Триплекс имеет относительно высокую стоимость, которая в 2,5...3 раза выше стоимости закаленного стекла. Это обстоятельство обуславливает сравнительно небольшой объем его выпуска. Он предназначен в основном для безопасного остекления транспортных средств, приборов и аппаратов, работающих при повышенных давлениях.

● **Светотехническое стекло** (с избирательным поглощением) представляет большой интерес в строительстве.

*Увиолевое стекло* обладает способностью пропускать ультрафиолетовые лучи (не менее 25%). Его получают из сырья высокой чистоты с минимальным содержанием железа (менее 0,6%), титана и хрома. По химическому составу такие стекла делятся на силикатные, боросиликатные и фосфатные. Применяют увиолевое стекло для остекления оконных проемов в лечебных зданиях, детских учреждениях, оранжереях и т. д. Со временем увиолевое стекло стареет, приобретает фиолетовую или желтоватую окраску и утрачивает частично способность к пропусканию ультрафиолетовых лучей.

*Солнце- и теплозащитное стекло* изготавливают на машинах вертикального вытягивания с аэрозольной обработкой поверхности

стекла специальными растворами, например раствором хлористого олова, образующего при взаимодействии с горячим стеклом пленку диоксида олова. В зависимости от условий обработки получают стекла с неодинаковой степенью пропускания и отражения в различных частях спектра.

Возможно также нанесение пленочных покрытий путем помещения листа стекла в вакуумную камеру и осаждения на него частиц металла, испаренного электроплавом. Такие пленки могут избирательно отражать значительную часть инфракрасных и видимых лучей, уменьшать слепящее действие солнечных лучей и нагрев помещений при солнечном освещении. Кроме того, зимой снижаются потери теплоты через окна. Размеры стекол 1600××2000 мм, толщина 3...6 мм. Пропускание видимого света 30...70%, тепловых лучей 40...60%. Наносимые на стекло металлические пленки обладают электропроводностью. Пропуская через них электрический ток, можно нагреть стекло на 200...300°C, обеспечивая обогрев помещения. Солнце- и теплозащитное стекло применяют для остекления зданий и средств транспорта с целью уменьшения солнечной и тепловой радиации.

● **Стекланные трубы** изготавливают различного диаметра — от капилляров до толстостенных труб диаметром 150 мм и более. Производят их в основном двумя способами: горизонтальным вытягиванием (для труб диаметром до 50 мм) и вертикальным безлодочным вытягиванием (для труб диаметром более 50 мм). Стекло для производства труб варят в ваннах печах непрерывного действия при температуре 1530...1550°C.

Горизонтальное вытягивание труб широко распространено в стекольной промышленности. Стекломасса из печи по лотку непрерывно стекает во вращающийся вокруг своей оси шамотный или металлический мундштук, который располагается в отопляемой рабочей камере под углом 7...10° к горизонту. Благодаря вращению мундштука и подаче в его внутренний канал под давлением воздуха из стекла формируется «луковица», переходящая в бесконечную трубу, оттягиваемую машиной. Затем трубы транспортируют по роликовому транспортеру и отжигают.

Установка для вертикального вытягивания труб аналогична машине вертикального вытягивания листового стекла ВВС. Важными элементами установки являются мощный кольцевой холодильник для охлаждения луковицы стекломассы и формируемой трубы, а также вертикальная шахта. Труба вытягивается со свободной поверхности стекломассы и отжигается в шахте машины.

Стекланные трубы можно использовать в вакуумных, безнапорных и напорных (до 0,6 МПа) сетях. Они получили широкое распространение в пищевой, фармацевтической, химической и других отраслях промышленности для транспортирования агрессивных жидкостей. Трубопроводы из стекла прозрачны, гигиеничны и имеют гладкую поверхность, что уменьшает сопротивление перемеща-

мым в них жидкостям. При равном внутреннем диаметре пропускная способность стеклянных труб на 22% выше чугунных и на 6,5% выше стальных. Они значительно дешевле и экономичнее труб металлических. Недостатком стеклянных труб является их хрупкость, слабое сопротивление изгибу и ударам, что должно учитываться не только при монтаже и эксплуатации трубопроводов, но и при транспортировке и хранении труб.

### § 10.6. Стекловолоконные материалы и стеклопластики

Свойства стекломассы позволяют получать из нее не только листовые, но и волокнистые изделия. Известны два основных способа производства стеклянного волокна: из расплавленного стекла вытягиванием нитей или раздувом струи стекломассы. В первом случае получают непрерывное стекловолокно длиной до 20 м, во втором — штапельное длиной до 50 см.

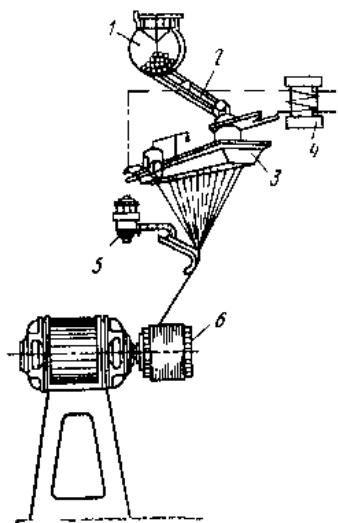


Рис. 10.10. Установка для вытягивания стекловолокна: 1 — бункер; 2 — ладок; 3 — электропечь; 4 — трансформатор; 5 — замасливающее устройство; 6 — съемная катушка

● Технологическая схема производства непрерывного стекловолокна представлена на рис. 10.10. В электропечь загружают предварительно изготовленные шарики из стекла определенных состава, размеров и массы. В дне печи, где плавится стекло, имеется 50...200 фильер (отверстий) диаметром 1...2 мм. Расплавленная стекломасса вытекает из фильер в виде тонких струек и вытягивается усилием вращающегося барабана. Перед барабаном волокна смачивают замасливателем и формируют в одну нить, наматываемую на катушку.

Стекловолокно отличается большой прочностью на разрыв, высоким модулем упругости, малой гигроскопичностью, высокими диэлектрическими свойствами, влаго- и химической стойкостью. Непрерывное стеклянное волокно служит для изготовления стеклотканей и стеклопластиков.

● **Стеклопластики** получают прессованием стекловолокна в виде тканей и нетканых материалов, пропитанных синтетическими смолами. В качестве связующего используют фенольные, полиэфирные и другие смолы. Листовой плоский стеклопластик производят на конвейерных линиях. На лист целлофана наносят связующее. Стеклоложгут рубят в машине, равномерно распределяют на целлофане слоем толщиной 1 мм и закрывают сверху еще одним слоем целлофана. Формуемая лента прокатывается валками в камере желатинизации и поступает в полимеризационную камеру, обогреваемую

паром под давлением 80 Па. По выходе из камеры стеклопластик охлаждается, целлофан удаляется и изделия разрезаются по шаблону.

Стеклопластики используют в качестве ограждающих и отделочных материалов (кровли, внутренние перегородки и т. д.).

### § 10.7. Ситаллы и шлакоситаллы

Кристаллы в стекле — инородные включения, которые портят внешний вид изделий, снижают их механическую прочность и термостойкость. Однако при направленной кристаллизации и определенном составе массы можно получить материал высокой прочности, огнеупорности и термостойкости.

Сущность направленной кристаллизации стекла состоит во внесении в стекломассу добавок — катализаторов, интенсифицирующих процесс кристаллизации и обеспечивающих получение во всем объеме материала тонкокристаллической структуры. В конечном счете стеклокристаллические материалы состоят из стекла (5...10%) и мелких равномерно распределенных кристаллов. Их разделяют на ряд видов, важнейшими из которых являются ситаллы, получаемые из технически чистых материалов, и шлакоситаллы, получаемые на основе металлургических шлаков.

● **Ситаллы** получают из тех же природных материалов, что и стекла, и специальных добавок, но к чистоте сырья предъявляют очень высокие требования. Добавки-кристаллизаторы применяют двух видов. К первому относятся золото, серебро, оксид меди. При варке они растворяются в стекломассе, а при дальнейшей термической обработке выделяются в виде микрокристаллов, вокруг которых и формируется конечная структура ситалла. Ко второму виду катализаторов относят оксиды и соли различных металлов. С такими катализаторами стекла не являются однородными, а разделяются на различные по составу фазы. Одна из них образует в стекле капли, равномерно распределенные в другой фазе. Меняя режим термообработки, можно регулировать размеры и состав выделяющихся кристаллов и соответственно свойства материала.

Изделия из ситаллов получают методом вытягивания, выдувания, прокатки и прессования. По сравнению с производством изделий из стекла их получение требует дополнительной термической обработки, в процессе которой происходит переход стекла в стеклокристаллическое состояние.

Равномерная кристаллизация в объеме стекломассы позволяет получить материалы с однородной микрокристаллической структурой и высокими техническими свойствами (стеклокристаллит). Ситаллы обладают большой прочностью (до 50 МПа) и высокой стойкостью к химическим и тепловым воздействиям. Они имеют хорошие диэлектрические свойства. По внешнему виду ситаллы могут быть темного, коричневого, серого, кремового, светлого цве-

тов, глухие (непрозрачные) и прозрачные. На их основе получают конструктивные и отделочные материалы для промышленного и гражданского строительства, а также различные клеи для металла, стекла, керамики.

● **Шлакоситаллы** — впервые в мире получены в СССР. Их изготавливают из шихты, включающей (% по массе): доменный шлак — 50 ... 65, кварцевый песок — 20 ... 40, глину — до 12, сульфат натрия 4 ... 6 и катализаторы кристаллизации — 1 ... 2. По структуре шлакоситалл представляет материал, состоящий из 60 ... 70% кристаллической и 30 ... 40% стекловидной фазы. Размер кристаллов не превышает 0,5 ... 1 мкм при очень плотном расположении.

Изделия из шлакоситаллов вырабатывают непрерывным прокатом и прессованием. При выработке шлакоситалла непрерывным прокатом стекломасса прокатывается на специальной машине в непрерывную ленту шириной 1200 ... 3000 мм, толщиной 8 ... 20 мм. Сформованная лента подается в газовую или электрическую туннельную печь, в которой происходит кристаллизация шлакоситаллов. Важным элементом в формовании изделия является выбор правильного режима термообработки. Регулируя степень кристаллизации, можно получить материал с требуемыми механическими и термическими свойствами. Общая продолжительность кристаллизации (2 ... 3 ч) проходит в две стадии: первая при 700 ... 720°C, а вторая при 900 ... 920°C. После кристаллизации происходит отжиг, охлаждение и резка ленты на большие листы, которые в дальнейшем разрезаются на мелкоформатные плитки.

Плитки из шлакоситалла могут также формоваться на высокопроизводительных прессах с последующей кристаллизацией. Изоляторы из шлакоситаллов формуют на карусельных прессах, а трубы — на установках центрального формования.

Шлакоситалловые изделия обладают высокой износоустойчивостью, прочностью, химической стойкостью, хорошо сопротивляются атмосферным воздействиям, не токсичны. Прочность шлакоситаллов при сжатии 500 ... 650 МПа, а при изгибе 90 ... 120 МПа, теплопроводность 1,2 Вт/(м·°C), рабочая температура до 750°C, температура размягчения до 950°C. Шлакоситаллы могут быть получены любого цвета. Высокая прочность, хорошая стойкость к температурным перепадам дают возможность шлакоситаллам конкурировать с традиционными строительными материалами: керамикой, гранитом, мрамором. Химическая стойкость шлакоситаллов обеспечивает их использование в агрессивных средах.

Шлакоситаллы широко используют в строительстве: для полов промышленных и гражданских зданий, декоративной и защитной облицовки наружных и внутренних стен, перегородок, цоколей, футеровки строительных конструкций, подверженных химической агрессии или абразивному износу, кровельных покрытий, облицовки слоистых панелей навесных стен зданий повышенной этажно-

сти. Экономический эффект использования изделий из шлакоситаллов обуславливает дальнейшее расширение номенклатуры изделий из них.

## § 10.8. Каменное литье

● Производство литых каменных изделий получило название «петрургии» (от греч. «петра» — камень). Петрургическое производство отличается высокой степенью механизации и автоматизации, хорошими технико-экономическими показателями.

Сырьем для каменного литья служат горные породы, преимущественно основные базальты и диабазы, обладающие пониженной вязкостью в расплавах. По химическому составу базальты более постоянны, а каменное литье из них обладает высокой стойкостью и прочностью при истирании. Иногда сырьем служат кислые и средние горные породы, но их тугоплавкость повышает вязкость расплава и затрудняет получение изделий высокого качества. Поскольку изделия из диабазов и базальтов вследствие наличия в их составе темноокрашенных оксидов имеют темную окраску, для получения каменного литья светлых тонов используют искусственную сырьевую смесь из кварцевого песка, доломита, мела или мрамора, в которую для снижения температуры и отбеливания вводят дополнительно плавиковый шпат и оксид цинка. В целом сырьевые ресурсы для производства каменных литых изделий практически неограничены.

Производство каменных литых изделий включает подготовку шихты, ее плавление, отливку изделий, кристаллизацию и отжиг. Подготовка шихты заключается в дроблении и помоле сырьевых материалов, их тщательном перемешивании до получения однородной массы. Тип плавильной печи выбирают с учетом свойств сырья, вида выпускаемой продукции и необходимой производительности. Применяют шахтные, ваннные, вращающиеся и электрические печи. Наиболее распространены ваннные печи. Плавку в ваннных печах производят при температуре порядка 1400°C. В расплавленной шихте происходит взаимодействие компонентов, образование силикатов и алюмосиликатов кальция, магния, железа. Низкая вязкость расплава при высоких температурах благоприятствует дегазации — удалению CO<sub>2</sub> и других газообразных продуктов. Готовый расплав из ванны стекает в разливочный копытник, где охлаждается до температуры 1200°C. Охлаждение расплава перед разливкой благоприятно сказывается на структуре изделий и уменьшает количество усадочных дефектов.

Для получения светлого каменного литья используют электрические печи с вертикальными угольными электродами. Температура плавления светлой каменной массы несколько выше — 1500°C. При варке происходит осветление массы, постепенное исчезновение темного огтенка, обусловленного присутствием оксидов желе-



за. Последние восстанавливаются углеродом, образуя ферросилиций. Последний оседает на дно печи и удаляется. Часть свободного углерода сгорает, а углекислый газ удаляется при дегазации.

Для разливки расплава применяют формы (кокили) из чугуна или жароупорной стали (постоянные формы), из силикатных материалов (временные формы) и земляные (одноразовые формы). При охлаждении каменного литья в формах начинается первичная кристаллизация. Для получения заданной структуры необходимо строго регулировать время кристаллизации, необходимое для перехода массы из жидкого состояния в кристаллическое. За процессом кристаллизации следует стадия медленного охлаждения — отжиг, в процессе которого снимаются температурные напряжения. Охлаждение в формах и отжиг производятся в специальных печах (муфельных, туннельных или камерных). Кристаллизация осуществляется при температуре 800...900°C, затем изделия поступают в зону отжига и далее на склад готовой продукции.

Способ литья предоставляет возможность быстро и экономно из природных каменных материалов готовить изделия любой формы, причем по своей однородности и техническим свойствам плотные изделия из плавящихся каменных пород зачастую превосходят исходные природные каменные материалы.

Характерная особенность плавящихся каменных изделий — высокая плотность. Их пористость не превышает 1...2%, а чаще выражается десятками долями процента. Практическое отсутствие пористости и замкнутый характер пор обуславливают низкое водопоглощение, высокую морозостойкость и устойчивость к химической коррозии. Прочность каменного литья при сжатии 200...240 МПа, при изгибе 40...50 и при растяжении 20...30 МПа. Истираемость плавящихся изделий в 3...5 раз меньше, чем у природных каменных материалов. Каменное литье отличается также высокими диэлектрическими свойствами и термостойкостью.

Стоимость каменного литья, особенно светлого, сравнительно высока. Поэтому плавящиеся каменные изделия целесообразно применять прежде всего для изделий и конструкций, испытывающих суровое воздействие среды (многократное замораживание и оттаивание), интенсивное истирание, воздействие агрессивных веществ и т. п. Изделия из каменного литья находят широкое применение в угольной, горнообогатительной и металлургической промышленности для футеровки бункеров, корпусов флотационных машин и т. д. Плитки из каменного литья с успехом заменяют металл. Их используют для полов в цехах с агрессивными средами и для футеровки аппаратов, подверженных сильному истирающему воздействию.

Каменное литье светлых тонов применяют в качестве облицовочного материала для ответственных частей зданий и сооружений (плитки, пояски цоколя и т. д.). Из него также изготавливают архитектурные украшения, объемные детали скульптуры.

Использование отходов промышленности для производства строительных материалов и конструкций недостаточно. Основное количество доменных шлаков не используется. По данным Гипромеца, слив шлака в отвалы обходится ежегодно более чем в 10 млн. руб., а для организации отвалов необходимы значительные площади и капиталовложения — до 1,5 руб. на 1 т сливаемого шлака.

Вместе с тем огненно-жидкие шлаки металлургической промышленности — ценное сырье для получения различных материалов и изделий. Наиболее перспективны для производства строительных материалов из шлаковых расплавов кислые доменные и мартеновские шлаки. Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требуется дополнительных затрат топлива, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения надлежащего качества выпускаемых изделий шлаковые расплавы нуждаются в обогащении специальными добавками, что несколько усложняет производство.

● Шлаки металлургической промышленности в огненно-жидком состоянии используют как готовый расплав для получения плотных изделий (половых плит, облицовочной плитки, труб), легких материалов (шлаковой ваты, термозита) и шлакоситаллов. Плотные изделия получают путем розлива металлургических шлаков, доставляемых из доменных или металлургических печей. Расплавленный шлак подают в обогреваемый копильник-миксер, куда могут вводиться и специальные добавки для улучшения свойств шлакового литья.

Для отливки шлаков на подготовленной площадке устанавливают кассетные металлические формы в виде ячеек заданных размеров и формы: камней, плит и других изделий. Для свободного перераспределения шлака между ячейками в боковых стенках форм имеются отверстия. Во избежание переохлаждения нижней части изделий дно формы покрывают тонкоизмельченным шлаком. В верхней части формы защитой от быстрого охлаждения служит покровный слой шлака толщиной 10...15 см. Охлаждаясь под ним, изделие проходит стадии кристаллизации и отжига, приобретая плотную кристаллическую структуру и высокую механическую прочность. Наряду со способом литья для изготовления изделий из шлаковых расплавов применяют центрифугирование, прокат, штампование и другие методы. Камни и плиты из шлакового литья идут для покрытий дорог, тротуаров и полов промышленных зданий, а специальные плитки — для антикоррозионных покрытий.

● Шлаковая пемза (термозит) — пористые щебень и песок, получаемые поризацией расплавленных шлаков с последующим дроблением и рассевом. Для изготовления термозита рекомендуются



шлаковые расплавы, не склонные к распаду — самопроизвольному превращению в порошок. Во избежание этого необходимо введение в состав расплавов специальных стабилизаторов (фосфорита или апатитового концентрата в количестве 0,2...0,3% в пересчете на  $P_2O_5$  от массы расплава).

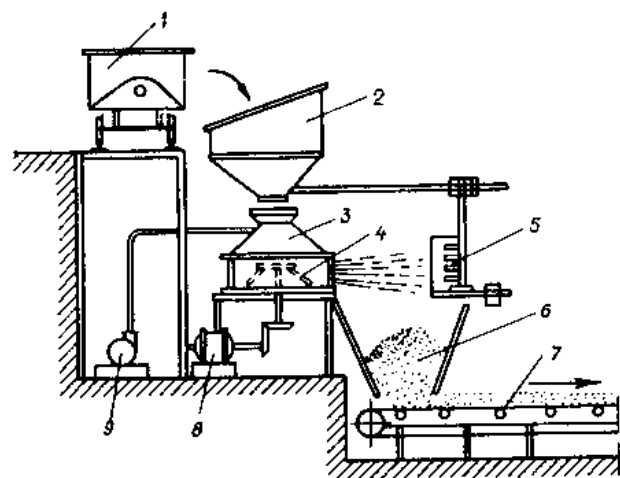


Рис. 10.11. Технологическая схема производства термозита (шлаковой пемзы):

1 — вагоетка с жидким шлаком; 2 — бункер; 3 — центробежная машина; 4 — крыльчатка; 5 — охлаждающий экран; 6 — бункер для вспученного шлака; 7 — транспортер; 8 — привод крыльчатки; 9 — насос для подачи воды

Изготовление шлаковой пемзы (рис. 10.11) включает: доставку шлакового расплава к месту переработки, подготовку расплава к сливу в поризующий агрегат, вспучивание и охлаждение, дробление и сортировку шлаковой пемзы. Расплав доставляют к перерабатывающим установкам шлаковозными ковшами большой емкости. При транспортировке сверху ковша образуется корка отвердевшего шлака, которую предварительно нужно пробить копром. Пористая структура формируется при быстром охлаждении шлакового расплава водой. Образующиеся газы и пары воды вспучивают вязкий расплав, придавая ему ячеистое строение, близкое природной пемзе. Необходимо тщательно контролировать изменения вязкости расплава. Вязкость должна обеспечивать равномерное распределение и удерживание газоздушных пузырьков в массе расплава, а при охлаждении резко падать для закрепления сформированной пористой структуры. Для получения высококачественного термозита рекомендуются: температура расплава — не менее  $1250^{\circ}\text{C}$ , температура кристаллизации — не ниже  $1100^{\circ}\text{C}$ , вязкость расплава при температуре  $1250^{\circ}\text{C}$  — не более 5 Па·с. Вспучивание шлака осуществляется на специальных машинах центробежным, струйным способами или в бассейнах.

При центробежном способе расплавленный шлак подают в приемный бункер, а затем в центробежную машину, куда одновременно поступает вода. Расплавленный шлак под действием вращающейся крыльчатки расплавляется, вспучивается парами воды и

центробежной силой отбрасывается на охлаждающий экран. Под последним расположен приемный бункер и транспортер для удаления готового термозита.

При струйном способе (рис. 10.12) расплав сливают на лоток и рассекают струями водовоздушной смеси. Шлак разбивается на гранулы, увлекаемые в камеру смешения, где происходит вспучивание шлака. Гранулы, еще сохраняющие пластичность, с большой скоростью выбрасываются из камеры на установленный на некотором расстоянии экран. При ударе происходит слипание мелких гранул в крупные куски шлаковой пемзы.

Бассейновый способ заключается в том, что в металлический ящик размером  $6 \times 6$  м поступает шлаковый расплав. В днище ящика имеются отверстия, а под ним специальные карманы, в которые под давлением поступает вода. Струи воды пронизывают слой расплавленного шлака и вспучивают его под действием образующегося пара и выделяющихся газов. Ванна бассейна может быть стационарной или опрокидной. В опрокидном бассейне цикл вспучивания и охлаждения длится 15 мин, в том числе слив шлака в бассейн — 1 мин; вспучивание расплава — 5 мин, охлаждение до температуры  $800 \dots 900^{\circ}\text{C}$  — 8 мин, разгрузка бассейна — 1 мин. Из стационарных бассейнов готовый термозит удаляют грейферным краном, что увеличивает длительность процесса.

(Свойства шлаковой пемзы зависят от химического состава и физических свойств поризуемых расплавов, а также способа получения. Общая пористость шлаковой пемзы составляет 50...80%. В зависимости от насыпной плотности щебень из шлаковой пемзы делят на марки 400, 600 и 800 при прочности соответственно не менее 0,4; 1,0 и 2,0 МПа. Насыпная плотность термозита  $300 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$  в зависимости от размеров кусков и степени вспучивания. Щебень из термозита является хорошим заполнителем для получения легких бетонов. Применение в строительстве шлаковой пемзы в качестве пористого заполнителя с малой плотностью, мелкопористой структурой и сравнительно высокой прочностью позволяет снизить стоимость наружных стеновых конструкций по сравнению с кирпичными на 20...25% и сократить в 2...3 раза удельные капитальные вложения на организацию производства искусственных легких заполнителей. Шлаковая пемза намного эффективнее наиболее широко распро-

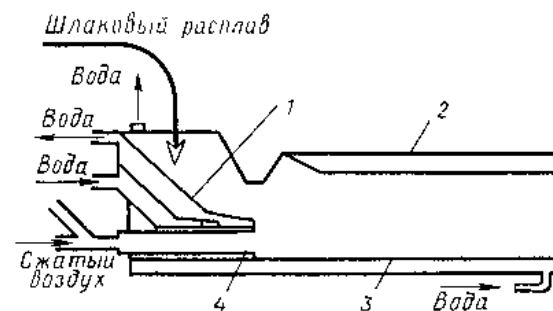


Рис. 10.12. Струйный аппарат:

1 — направляющий лоток; 2 — водяная рубашка; 3 — камера смешения; 4 — рабочее сегментальное сопло

страненного легкого заполнителя — керамзита. Ее себестоимость меньше в 2...3 раза, а удельные капитальные вложения в 1,5...2 раза. Анализ фактических показателей производства и применения наружных легкобетонных стен на основе шлаковой пемзы и керамзита показывает, что стоимость 1 м<sup>2</sup> наружных шлакопемзобетонных стен является минимальной. Вблизи металлургических заводов шлаковая пемза как эффективный и экономичный материал должна найти преимущественное применение в ограждающих и несущих легкобетонных конструкциях.

1. В чем принципиальные особенности стеклообразного состояния веществ? 2. Сущность важнейших стадий варки стекла. 3. Преимущества и недостатки лодочного и безлодочного способов формования стекломассы. 4. Перечислите и кратко охарактеризуйте изделия из стекла. 5. Основные области применения и технико-экономические преимущества стекла в строительстве. 6. Какие дополнительные возможности открывает направленная кристаллизация стекломассы? 7. Сопоставьте преимущества и недостатки вспучивания и грануляции шлаков центробежным, струйным и бассейновым способами.

## Глава 11

### ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

#### § 11.1. Общие сведения

● Теплоизоляционными называют материалы, характеризующиеся низкой теплопроводностью и применяемые для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов. Теплоизоляционные материалы способствуют снижению материалоемкости строительства, сокращению расхода топлива на отопление здания и производство различных промышленных продуктов. Использование материалов с низкой теплопроводностью, например в ограждающих конструкциях крупнопанельных жилых зданий, позволяет в 1,5...2 раза снизить расход стали и в 3...4 раза расход цемента по сравнению с конструкциями без тепловой изоляции. Снижение массы конструкций приводит и к уменьшению транспортных затрат. Изоляция поверхностей оборудования на тепловых электростанциях снижает потери теплоты в 25 раз. Во многих случаях тепловая изоляция способствует интенсификации технологических процессов. При этом создаются нормальные температурные условия труда и комфортабельный микроклимат в помещениях.

Общим признаком всех теплоизоляционных материалов является высокая пористость, которая достигается различными технологическими приемами: образованием волокнистого каркаса, вспучиванием массы в процессе формования или тепловой обработки, поризацией массы при смешивании с пеной, введением пористых заполнителей, выгорающих добавок, высоким водозатворением и др.

Теплоизоляционные материалы и изделия классифицируют по целому ряду признаков.

● По виду исходного сырья различают *неорганические* и *органические* материалы. К первым можно отнести минеральную и стеклянную вату, пеностекло, перлит и вермикулит и т. д., ко вторым — материалы и изделия из древесного и другого растительного сырья, теплоизоляционные пластмассы. *Смешанные материалы*, в состав которых входят неорганические и органические составляющие, относятся к первой (минеральные изделия) или ко второй группе (фибrolит) в зависимости от того, какие компоненты в смеси превышают 50% по массе.

● По структуре материалы подразделяют на *волокнистые* — древесноволокнистые или стекловатные изделия, *ячеистые* — пеностек-

ло, пенокерамика, пенобетон и *зернистые* (сыпучие) — вспученные перлит, вермикулит и др.

● По *форме и внешнему виду* различают *штучные* и *сыпучие теплоизоляционные* материалы. К *штучным* материалам относят различного вида и формы изделия. Они могут быть плоскими — кирпичи, маты, блоки, плиты; фасонными — цилиндры, сегменты, скорлупы; и шнуровыми — шнуры, жгуты. Применение *штучных* материалов повышает качество теплоизоляции и уменьшает трудозатраты. К *сыпучим* относятся порошкообразные, волокнистые и *зернистые рыхлые* материалы. Их применяют для засыпки пустот в каркасных стенах, в междуэтажных перекрытиях. Но со временем они слеживаются, уплотняются и их теплоизоляционные свойства понижаются. Некоторые порошки, затворенные водой, идут для приготовления мастичной изоляции (совелит, магнезит «ньювель», асбозурит), применяемой в основном для заделки швов между теплоизоляционными изделиями.

● По *жесткости* теплоизоляционные изделия подразделяют на *мягкие полужесткие, жесткие, повышенной жесткости и твердые*. Для индустриализации строительных работ все большее применение находят жесткие крупногабаритные теплоизоляционные материалы и изделия. Мера жесткости является величина их сжимаемости или относительной деформации сжатия. При удельной нагрузке 0,02 МПа жесткие материалы имеют относительное сжатие до 6%, полужесткие — 6...30 и мягкие — более 30%. В материалах повышенной жесткости и твердых при удельной нагрузке соответственно 0,04 и 0,1 МПа относительное сжатие не должно превышать 10%.

● По *плотности* теплоизоляционные материалы делят на *особо легкие* (особо низкой плотности) плотностью 15...75 кг/м<sup>3</sup>, *легкие* (низкой плотности) — 100...175, *средней плотности* — 200...350 и *плотные* — 400...600 кг/м<sup>3</sup>.

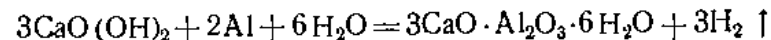
● По *теплопроводности* теплоизоляционные материалы делят на три класса: *низкой* — до 0,06, *средней* — 0,06...0,115 и *повышенной теплопроводности* — 0,115...0,175 Вт/(м·°С).

Для получения теплоизоляционных материалов используются разнообразные промышленные отходы — металлургические и топливные шлаки, зола-унос от сжигания топлива, отходы переработки древесины и др. Учитывая низкую плотность, теплоизоляционные материалы нежелательно транспортировать на дальние расстояния, их производство рационально с широким применением местных сырьевых ресурсов.

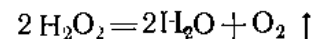
● **Технология производства.** Высокопористое строение материалов может достигаться чаще всего вспучиванием, удалением порообразователя: неплотной упаковкой, контактным омоноличиванием, объемным омоноличиванием, созданием комбинированных структур.

При вспучивании в пластично-вязкой массе выделяется или в нее вводится газовая фаза. При этом образуется дисперсная система и ячеистая пористая структура, объем пор которой зависит от

количества газообразующего компонента. Основными разновидностями вспучивания являются газо- и пенообразование. При газообразовании газы, выделяемые в результате химических реакций, выходя из пластичной массы, образуют поры. Газообразователи не должны разлагаться при хранении и перевозке, выделять газы, вредные для здоровья людей. В процессе газообразования компоненты массы могут участвовать или не участвовать в химическом взаимодействии с газообразователями. Примером реакции газообразования первого типа является взаимодействие между гидроксидом кальция и алюминиевым порошком при производстве газобетона:



Газообразование второго типа идет, например, при использовании в качестве газообразователя перекиси водорода:



Интенсификация процесса газообразования достигается вибрированием, при котором происходит непрерывное обновление поверхности соприкосновения реагирующих веществ.

С помощью газообразования получают газобетоны, ячеистое стекло, газонаполненные пластмассы.

**Пенообразование** заключается в смешивании пластичного теста со специально приготовленной пеной — дисперсной структурированной системой, состоящей из жидкой и газообразной фаз. Пенообразователями служат высокомолекулярные соединения, мыла и другие вещества, дающие прочные пленки, разделяющие пузырьки газа. Основными показателями качества пены служат ее *выход* (*пенистость*) — отношение объема пены к объему водного раствора пенообразователя и *стойкость* (*пеноустойчивость*) — способность пены сохранять первоначальный объем без разрушения. Для увеличения выхода пены вводят активаторы — добавки электролитов.

Необходимая стойкость пены достигается применением *стабилизаторов*, тормозящих процесс коалесценции — саморазрушения пены. Распространены следующие пенообразователи: продукт экстрагирования сапонина из некоторых растений; клееканифольный, получаемый из канифольного мыла и столярного или казеинового клея; алюмосульфонафтенный — продукт взаимодействия керосинового контакта и сернистого глинозема; ГК — гидролизованная кровь.

В настоящее время вместо пенообразователей на основе природных — органических продуктов все шире используют синтетические поверхностно-активные вещества — *продукты переработки нефти*. Разработка новых ПАВ с высокой воздухововлекающей способностью позволила применить для получения теплоизоляционных материалов способ аэрирования, т. е. насыщения концентрированных минеральных и полимерных суспензий воздухом.

Способностью к вспучиванию при быстром нагревании обладают некоторые горные породы и минералы — перлит, вермикулит, некоторые виды глин, в результате выделения из них при высокой температуре водяного пара или другого газа. Они при этом обычно (за исключением вермикулита) переходят в пластично-вязкое (пиропластическое) состояние. Коэффициент вспучивания — отношение объемов материала после и до нагрева — колеблется в широких пределах в зависимости от температуры и скорости ее подъема.

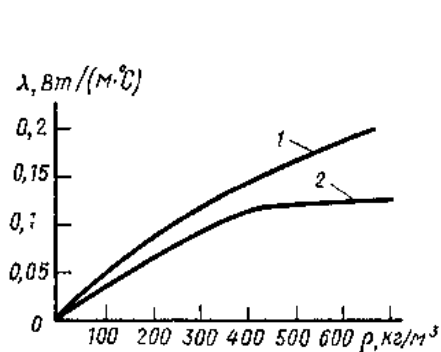


Рис. 11.1. Зависимость теплопроводности теплоизоляционных материалов от плотности:  
1 — неорганические материалы, 2 — органические материалы

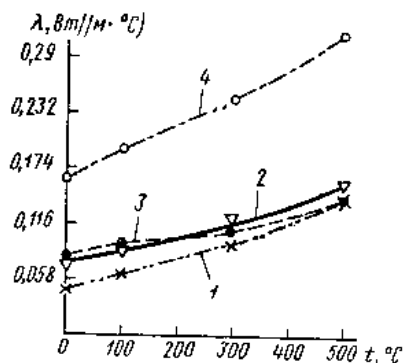


Рис. 11.2. Зависимость теплопроводности от температуры:  
1 — минеральная вата,  $\rho=200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; 2 — минераловатные плиты,  $\rho=350 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; 3 — совелитовые плиты,  $\rho=400 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; 4 — диатомитовый кирпич,  $\rho=700 \text{ кг}/\text{м}^3$

Образование пористой структуры без вспучивания имеет место при удалении порообразователя. В качестве *порообразователей* при этом используют воду, легколетучие жидкости, выгорающие добавки. Из масс с высоким содержанием воды (гидромасс) формируют древесно-волоконистые, торфяные, асбестоцементные теплоизоляционные плиты. Ячеистые бетоны способом высокого водозатворения изготовлять неэффективно, так как при этом требуется большой расход теплоты на испарение влаги. Высокую пористость за счет выгорающих добавок достигают при получении теплоизоляционных керамических изделий.

*Неплотную упаковку* как способ получения теплоизоляционных материалов используют при изготовлении изделий из волокнистых и зернистых компонентов.

Пористость волокнистых материалов обусловлена взаимным переплетением волокон, образующих жесткий каркас. Объем пор при этом зависит от диаметра волокон, их упругости, свойств поверхности. Более высокая пористость достигается длиноволокнистым материалом. При получении теплоизоляционных материалов широко используют волокна, получаемые механическими, термическими, гидравлическими и другими способами диспергации неорганического и органического сырья. Изделия из волокон часто формируют с

различными вяжущими (фибролит, арболит, минераловатные плиты и др.) или без них (прошивные минераловатные маты и др.).

При использовании зернистых компонентов неплотная упаковка достигается гранулометрическим составом частиц, обеспечивающим повышенную межзерновую пустотность. Таким путем получают различные сыпучие (засыпные) материалы.

*Контактное омоноличивание* заключается в связывании волокнистых или зернистых материалов в местах их контакта с помощью тонких прослоек цементного или глиняного теста, водных растворов полимеров и т. д. В отличие от контактного *объемное омоноличивание* основано на полном заполнении межзерновых пустот связующим. Для создания достаточно легких материалов применяют при этом способе высокопористые заполнители с оптимальным зерновым составом (перлит, вермикулит, распушенный асбест).

В ряде случаев получают теплоизоляционные материалы с комбинированными структурами — волокнисто-ячеистые, зернисто-ячеистые и др.

● **Свойства** теплофизические и физико-механические являются важнейшими для теплоизоляционных материалов.

*Теплопроводность*, т. е. способность пропускать тепло, — определяющий показатель качества теплоизоляционных материалов.

В соответствии с современными представлениями передача теплоты в твердых телах — диэлектриках объясняется колебаниями атомов кристаллической решетки. В материалах, проводящих электричество, она дополнительно обусловлена движением свободных электронов. У большинства теплоизоляционных материалов теплопроводность находится в интервале  $0,029 \dots 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Для наиболее эффективных высокопористых материалов она приближается к теплопроводности воздуха —  $0,025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Теплопроводность материалов зависит в первую очередь от объема пор и характеристики пористой структуры (рис. 11.1). Теплота через воздушный слой передается теплопроводностью, конвекцией и излучением. Конвективный теплообмен увеличивается по мере роста размеров пор и воздушных прослоек, связывающих эти поры. На лучистый теплообмен решающее влияние оказывает температура эксплуатации. Для теплоизоляционных материалов предпочтительно мелкопористое строение, затрудняющее теплопередачу конвекцией и лученоспущением. Важно создать также равномерное распределение пор в материале. Роль теплоизолятора воздух лучше выполняет в закрытых порах.

Теплопроводность материалов зависит от их химического состава и степени кристаллизации. Чем сложнее химический состав и ближе структура материала к аморфной, тем меньше теплопроводность. Например, у кристалла кварца теплопроводность  $7 \dots 8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , а у обычного стекла, которое кроме кремнезема содержит ряд других оксидов и имеет строение, близкое к аморфному, она составляет в среднем  $0,75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . В кристаллических

телах теплопроводность зависит от размера кристаллов, дефектов решетки и дислокаций. Теплопроводность с ростом кристаллов при направлении теплового потока вдоль оптической оси растет, и она значительно выше, чем перпендикулярно оси. Теплопроводность уменьшается с увеличением молекулярной массы, возрастает с повышением температуры плавления.

Для кристаллических тел она уменьшается в увеличении числа атомов в молекуле. Для жидкостей и газов имеет место обратная зависимость.

Для большинства теплоизоляционных материалов теплопроводность линейно зависит от температуры (рис. 11.2). Теплопроводность неорганических материалов при положительных температурах изменяется на 0,0025 Вт/(м·°С) на каждый градус, при отрицательных — на 0,005, для органических соответственно на 0,0035 и 0,005 Вт/(м·°С).

Зная теплопроводность  $\lambda_0$  при 20°С и температурную поправку на 1° повышения температуры, можно найти теплопроводность при данной средней температуре материала:

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

В нормативных документах величина теплопроводности приводится обычно при (25 ± 5)°С.

Теплопроводность воды примерно в 25 раз больше, чем теплопроводность воздуха, поэтому нельзя допускать увлажнения теплоизоляционных материалов. С определенной степенью приближения теплопроводность влажных материалов

$$\lambda_w = \lambda_c + \delta w_0,$$

где  $\lambda_c$  — теплопроводность сухого материала;  $\delta$  — прирост теплопроводности на 1% объемной влажности  $w_0$ .

Для снижения сорбционного увлажнения теплоизоляционные материалы подвергают объемной гидрофобизации, положительно влияет также сокращение объема микропор, в которых происходит конденсация влаги. Водопоглощение теплоизоляционных материалов зависит от их структуры: при закрытой пористости (пеностекло, пенопласты) оно сравнительно невелико, при открытой, сообщающейся пористости может достигать 400...600%.

Предельная температура применения является важным свойством, характеризующим качество теплоизоляционных материалов. Выше этой температуры материал изменяет структуру, теряет механическую прочность и разрушается, а органические материалы могут загораться. Предельная температура применения колеблется в широком диапазоне: для газонаполненных пластмасс она составляет 60...180°С, ячеистых бетонов — 400...700, минеральной ваты — 600, вспученного перлита и вермикулита 900°С.

Прочность теплоизоляционных материалов определяется прочностными показателями (табл. 11.1) твердой фазы и параметрами

поровой структуры. Положительное влияние на прочность оказывают однородное распределение пор по объему и уменьшение их среднего диаметра. Положительно сказывается также подбор связующего с улучшенными адгезионными свойствами по отношению к заполнителям, ориентация волокон в направлении действия напряжений и другие технологические приемы. Степень уплотняемости материалов характеризуется сжимаемостью (%) под действием удельной нагрузки.

Таблица 11.1. Свойства распространенных теплоизоляционных материалов

Материал	Средняя плотность, кг/м³	Предел прочности, МПа, при	
		сжатии	изгибе
Фибролит	400	—	0,7
Теплоизоляционная керамика	400	0,8	—
Асбестосодержащие материалы	350	—	0,17..0,3
Ячеистый бетон	350	0,6	—
Перлитовые изделия:			
на битуме	300	—	0,15
на цементе	300	0,8	0,25
Древесноволокнистые плиты	300	—	0,12
Пеностекло	200	1	0,7
Минераловатные плиты на синтетическом связующем	200	—	0,1
Пенопласты			
	25	0,07	0,1
	50	0,1	0,1
	100	0,2..0,4	—

• Долговечность теплоизоляционных материалов зависит от их химической и биологической стойкости, морозостойкости.

Область применения теплоизоляционных материалов определяется их горючестью, газо- и паропроницаемостью, химической и биологической стойкостью и др.

Минеральные материалы относятся к категории негорючих. Горючесть органических теплоизоляционных материалов снижается пропиткой их антипиренами, которые плавятся или разлагаются под действием высокой температуры, что приводит к повышению температуры воспламенения или выделению газов, препятствующих распространению пламени. Огнестойкость материалов повышают также, покрывая их силикатными красками и другими негорючими, малотеплопроводными покрытиями.

При тепловой изоляции печей, топок, труб следует учитывать газопроницаемость теплоизоляционных материалов, а при тепловой изоляции объектов, работающих при температурах более низких, чем температура окружающей среды (например, холодильников), —

их *паропроницаемость*. При недостаточной газо- и паронепроницаемости засасывается воздух или пар через стены конструкций, что ухудшает теплозащитные свойства конструкций.

## § 11.2. Неорганические теплоизоляционные материалы

Ведущее место в общем балансе теплоизоляционных материалов занимают неорганические или минеральные материалы: минеральная вата, ячеистые бетоны, материалы из вспучивающихся горных пород, пеностекло и др. Технология ячеистых бетонов была рассмотрена ранее в § 6.6.

● **Минеральная вата** состоит из стекловидных волокон и неволокнистых включений, образованных в результате затвердевания силикатного расплава. Волокна минеральной ваты имеют диаметр 1...10 мкм и длину от 2...3 до 20...30 см. При слишком тонких волокнах вата легко уплотняется и смешивается. С повышением диаметра волокон от 3 до 12 мкм теплопроводность увеличивается на 10%.

Для минеральной ваты характерна *высокая пористость*, достигающая 96...98%, и низкая плотность. Минеральную вату выпускают трех марок по плотности: М75, 100, 125. Определение *плотности* производится при удельной нагрузке 0,002 МПа. Для каждой марки ограничивается содержание неволокнистых включений «корольков». Для М75 оно должно быть не более 12%, для М100 — 20%, для М125 — 25%.

Допустимая *теплопроводность* минеральной ваты зависит от условий применения. При температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  она не должна превышать 0,045 Вт/(мм·°C), при  $(125 \pm 5)^\circ\text{C}$  — 0,064 и при  $(300 \pm 5)^\circ\text{C}$  — 0,105 Вт/(мм·°C). Предельная температура применения ваты 600...700°C, выше этой температуры наблюдается ее спекание. *Температуростойкость* ваты зависит от химического состава: более кислые составы имеют большую стойкость, чем основные.

Разрушение минеральной ваты может проходить под действием щавелевой, лимонной и других органических кислот, выделяемых некоторыми грибами. Большой грибостойкостью обладает вата повышенной кислотности.

Для минеральной ваты характерно *высокое водопоглощение*, достигающее при погружении в воду до 600%. Ее *гигроскопичность* составляет 0,2...2%.

*Сырьем* для производства минеральной ваты служат горные породы, а также другие силикатные материалы, отходы промышленности. Из горных пород наибольшее распространение получили диабазы, базальты, габбро и близкие к ним метаморфические горные породы и мергели. Химический состав этих горных пород находится обычно в пределах: 45...65% SiO<sub>2</sub>; 10...15% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 35...45% CaO; 5...10% MgO; 0,5% (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO).

В нашей стране основным сырьем для производства минеральной ваты являются доменные шлаки. Использование шлака вместо природного сырья дает экономию до 23 руб/т. Для получения минеральной ваты наряду с доменными применяют также ваграночные, мартеновские шлаки и шлаки цветной металлургии.

Основным критерием качества шлаков и другого минерального сырья для производства минеральной ваты служит модуль кислотности:

$$M_k = (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3) / (\% \text{CaO} + \% \text{MgO})$$

где SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO — содержание соответствующих оксидов, % по массе.

Минеральная вата высшей категории М100 имеет  $M_k \geq 1,4$ , а М75 —  $M_k \geq 1,5$ .

Требуемое соотношение кислотных и основных оксидов в шихте обеспечивается применением кислых шлаков. Кроме того, кислые шлаки более устойчивы против распада, недопустимого в минеральной вате. Повышение содержания кремнезема расширяет температурный интервал вязкости, т. е. разность температур, в пределах которых возможно волокнообразование. Модуль кислотности шлаков корректируется введением в шихту кислых или основных добавок. Кислыми добавками обычно служат бой керамического и силикатного кирпича, зола ТЭС, различные кремнеземистые горные породы, а основными — доломиты и известняки.

Для шлаков, содержащих повышенное количество оксидов железа и марганца, дополнительной качественной характеристикой является коэффициент насыщения — отношение процентного содержания (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) к суммарному процентному содержанию прочих оксидов. Этот коэффициент при плавке шихты в вагранках колеблется от 1,5 до 2.

*Технологический процесс* получения минеральной ваты складывается из получения расплава и переработки его в минеральное волокно. Для получения расплава применяют преимущественно вагранки, иногда ванны, электродуговые и другие печи.

*Вагранка* относится к шихтным плавильным печам непрерывного действия. Она состоит из корпуса, выполненного из листовой стали и футерованного огнеупорным кирпичом. Горение топлива и плавление сырья происходят в нижней, горновой части вагранки. Здесь для плавления минерального сырья устроен ватержакет — металлический цилиндр с двумя стенками, между которыми проходит проточная вода для охлаждения. Воздух, необходимый для горения топлива, подается через специальные отверстия или фурмы. Для производства минеральной ваты применяют вагранки диаметром 1000, 1250 и 1400 мм при отношении рабочей высоты к диаметру 3 : 5. Загружаемое в вагранку сырье по мере опускания вниз расплавляется. Теплообмен в таких печах происходит по принципу



противотока: продукты горения, поднимаясь вверх, отдают теплоту расплавленному материалу.

Производительность вагранок оценивается съемом расплава с 1 м<sup>2</sup> площади их поперечного сечения в единицу времени. Она колеблется от 1200 до 3600 кг/(м<sup>2</sup>·ч). Увеличение производительности вагранок достигается более высокой интенсивностью дутья, применением горячего дутья, обогащением воздуха кислородом.

Реже, чем вагранками, для получения минерального расплава пользуются *ванными* и *электрическими дугowymi печами*. Ванные печи применяют при получении ваты из огненно-жидких шлаков. Расплавленный шлак подогревается в них до требуемой температуры; здесь же корректируется его состав. Производство минеральной ваты из огненно-жидких шлаков на 30..50% экономичнее, чем из холодных при плавке в вагранках.

Силикатный расплав перерабатывают в минеральное волокно тремя способами: дутьевым, центробежным и комбинированным.

Сущность *дутьевого способа* заключается в воздействии на струю расплава водяного пара или сжатого газа, подаваемого со скоростью 400..800 м/с. При этом струя расплава расщепляется на отдельные элементы, вытягиваемые в волокна. В зависимости от направления струи энергоносителя различают горизонтальный и вертикальный дутьевые способы. Последний позволяет получить волокно более высокого качества и уменьшить содержание неволоконистых включений.

При *центробежном способе* волокно из силикатного расплава образуется за счет использования центробежной силы. Расплав обрабатывается на одной или нескольких центрифугах, которые по форме рабочего органа могут быть дисковыми, чашечными и валковыми.

Комбинированные способы основаны на использовании как силы дутья, так и центробежной силы.

При *центробежно-дутьевом способе* расплав с температурой 1300..1350°C вначале расщепляется на тонкие струи и капли в центрифуге, а окончательное их вытягивание в волокно происходит раздувом с помощью пара или воздуха в дутьевом кольце. Для бесперебойной работы каждая вагранка обеспечивается двумя центробежно-дутьевыми установками до 3000 кг расплава в час.

При производстве волокна по *центробежно-фильерно-дутьевому способу* расплав подают во внутрь полого вращающегося вала, на конце которого находится фильерная чаша. Истекающие из фильерных отверстий диаметром около 1 мм тонкие струйки расплава падают под двойное влияние центробежных сил и аэродинамических сил энергоносителя в виде горячего газа с температурой около 1100°C, который поступает с большой скоростью в зону фильерных отверстий. В результате получают тончайшие волокна (1..2 мкм), в которых практически отсутствуют посторонние включения.

В рыхлом виде минеральная вата имеет ряд недостатков: она уплотняется при транспортировании и хранении, укладка ее требует больших затрат ручного труда. Укладка в конструкцию облегчается при использовании гранулированной ваты. В строительстве широкое применение получили минераловатные изделия, которые изготовляют с применением связующего или без него.

Наиболее часто используют органические связующие: битумы, полимеры, крахмал, которые обладают высокой склеивающей способностью, хорошо диспергируются и покрывают волокна тонкой пленкой. При производстве минераловатных изделий получили распространение водорастворимые фенолоформальдегидные смолы — феиолоспирты, карбамидные смолы и композиционные битумно-бентонитовые, крахмально-бентонитовые и др.

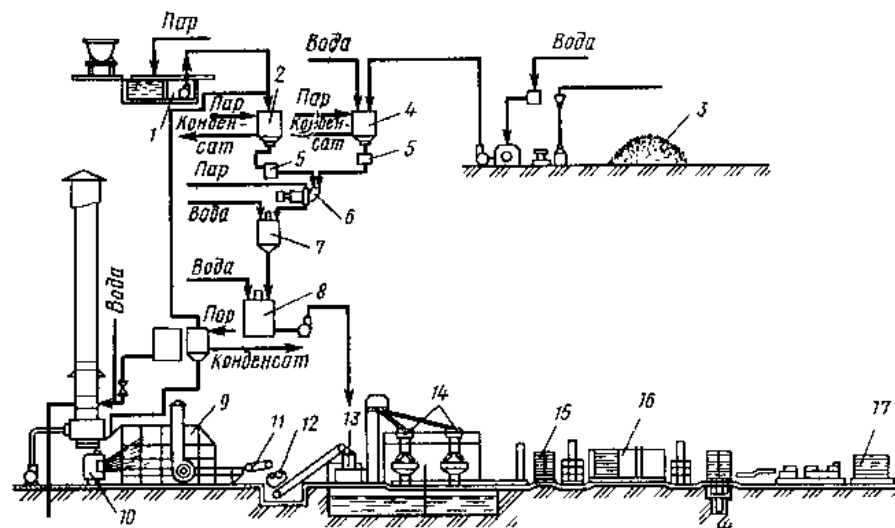


Рис. 11.3. Технологическая схема производства жестких минераловатных плит на битумном связующем:

1 — битумохранилище; 2 — бак для разогрева битума; 3 — склад диатомита; 4 — бак для диатомитовой суспензии; 5 — дозатор; 6 — диспергатор; 7 — бак-смеситель; 8 — расходный бак-смеситель; 9 — узел волокнообразования; 10 — камера волокноосаждения; 11 — промежуточный конвейер; 12 — трепальное устройство; 13 — гидросмеситель; 14 — формующая установка; 15 — сушильная вагонетка; 16 — туннельное сушило; 17 — склад готовой продукции

*Технологический процесс* получения минераловатных изделий (рис. 11.3) включает приготовление связующего, нанесение его на волокно, уплотнение и тепловую обработку. При получении рулонных изделий, мягких и полужестких плит с низкой плотностью раствор или эмульсию связующего наносят пульверизацией. При получении жестких и твердых минераловатных изделий связующее вводят проливом с последующим отжимом и вакуумированием в процессе смешивания с волокном и образования гидромассы. Минераловатные изделия

раловатный ковер, уплотненный с помощью подпрессовочных устройств, поступает в камеры теплообработки.

● Основными видами минераловатных изделий являются плиты мягкие, полужесткие и жесткие, навивные цилиндры и скорлупы (рис. 11.4). Основные свойства изделий приведены в табл. 11.2.

Плиты мягкие на битумном связующем (минераловатный войлок) получают в результате обработки битумом в момент образования минеральной ваты с последующим уплотнением получившегося ковра. Содержание битума в мягких плитах колеблется от 2 до 6%. При получении полужестких плит применяют более твердые сорта

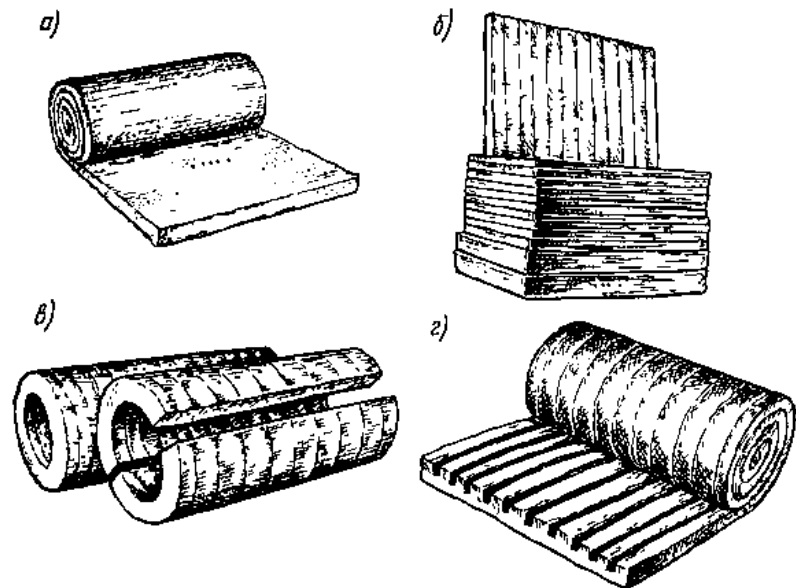


Рис. 11.4. Теплоизоляционные материалы из минеральной ваты:

а — войлок; б — полужесткие плиты; в — скорлупы; г — прошивной мат

битума, содержание которого доводят до 16...18%. Жесткие плиты на битумном связующем (минеральная пробка) изготавливают из гидромассы, полученной из минеральной ваты и битумной эмульсии, или пасты при вакуумировании и тепловой обработке в туннельных сушилках.

Плиты на синтетических связующих изготавливают обработкой минеральной ваты водными растворами полимеров.

Мягкие и полужесткие минераловатные плиты применяют для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей не выше 60°C. Жесткие теплоизоляционные плиты можно использовать при температуре изолируемых поверхностей до 70°C.

● Стекловолокно в отличие от минеральной ваты характеризуется большей длиной и меньшим содержанием неволоконистых включе-

ний. Стекловолокно получают из расплавленного стекла. Оно имеет ряд улучшенных физических свойств, более высокую прочность, вибростойкость, малую гигроскопичность, химическую устойчивость. Для теплоизоляции применяют волокно диаметром до 30 мкм. Из него изготавливают гибкие, полужесткие и жесткие изделия, которые применяют для строительной и монтажной изоляции, в качестве акустических материалов.

Таблица 11.2. Свойства минераловатных изделий

Изделия	Марка по плотности кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность при (25±5) °С не более, Вт/(м·°С)	Предел прочности, не менее, МПа, при		Сжимаемость под удельной нагрузкой 0,002 МПа, %	
			растяжения	изгиба		
Плиты на битуме: мягкие	100	0,046	—	—	55	
	150	0,052	—	—	27	
	200	0,056	—	—	24	
	250	0,064	—	—	17	
	300	0,07	—	—	12	
Изделия на битуме жесткие	200	0,058	—	0,1	6	
	250	0,064	—	0,11	6	
	300	0,07	—	0,12	6	
	350	0,076	—	0,13	6	
Плиты на синтетическом связующем:	мягкие	50	0,047	0,008	—	
		75	0,047	0,008	—	
	полужесткие	100	0,049	—	—	20
		125	0,049	—	—	15
	жесткие повышенной жесткости	150	0,051	—	—	6
		200	0,052	—	0,25	—

● Пеностекло (ячеистое стекло) — высокопористый теплоизоляционный материал из стекла с равномерно распределенными ячеистыми воздушными порами. Для пеностекла характерны следующие ценные свойства: относительно высокая прочность, водостойкость, способность легко обрабатываться режущим инструментом и воспринимать различную окраску. Пористость пеностекла составляет 80...95%; теплопроводность — 0,055...0,085 Вт/(м·°С); плотность — 100...700 кг/м<sup>3</sup>. Высокая прочность стекловидной фазы обуславливает значительно более высокую прочность пеностекла, достигающую 1...1,5 МПа при плотности 200...250 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент конструктивного качества пеностекла в 3 раза выше, чем соответствующий показатель равновесных ячеистых бетонов. Пеностекло негигроскопично и не разрушается под действием воды. Его объемное водопоглощение колеблется при преимущественном содержании закрытых пор от 1 до 10%. Низкое водопоглощение и высокая прочность способствуют морозостойкости пеностекла. Оно

выдерживает до 50 циклов попеременного замораживания при температуре от  $-15$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  и оттаивания при  $15..20^{\circ}\text{C}$ . *Температуростойкость* пеностекла зависит от его химического состава. Для бесщелочного стекла она достигает  $800..1000^{\circ}\text{C}$ , для стекол обычного состава —  $300..400^{\circ}\text{C}$ .

Производство пеностекла осуществляют *порошковым способом*, сущность которого заключается в нагревании измельченного в порошок стекла с добавкой газообразователя. Ячеистая структура образуется за счет вспучивания размягченной стекломассы и закрепляется при последующем обжиге.

*Сырьем* служат отходы стекольного производства и бой стекла. В некоторых случаях для получения пеностекла применяют гранулят специально сваренного стекла, что позволяет получить пеностекло более высокого качества. Гранулирование стекла производится при сливании стекломассы на конвейер, орошаемый водой. Для получения пеностекла могут также применяться ряд легкоплавких щелочесодержащих пород. Газообразователи для производства пеностекла должны разлагаться при температуре на  $50..70^{\circ}\text{C}$  выше температуры размягчения стекольного порошка. Этому требованию отвечают ряд карбонатов, пиролюзит, селитра и др. Содержание газообразователя в шихте составляет  $1..5\%$ . В зависимости от вида газообразователя изменяется поровая структура и цвет пеностекла. Например, применение добавки  $2..3\%$  кокса позволяет получить пеностекло с замкнутыми порами коричневого или черного цвета, а  $0,5..1\%$  известняка обеспечивает преимущественно сообщающиеся поры и белый цвет пеностекла.

Стекольный бой или гранулят измельчают и смешивают с газообразователем в *шаровых мельницах*, футерованных керамической или кремниевой футеровкой. Тонкость помола шихты определяют по остатку на сите с  $10\,000$  отв/см<sup>2</sup>, который не должен превышать  $8..10\%$ . Удельная поверхность шихты  $5000..7000$  см<sup>2</sup>/г.

Спекание стекольных шихт обычно происходит в *туннельных печах* в интервале  $850..950^{\circ}\text{C}$ . При этом происходит размягчение отдельных частиц стекла, разложение газообразователя, вспучивание вязкой стекломассы и закрепление образовавшейся ячеистой структуры.

Получение пеностекла может производиться как в формах, заполненных шихтой, так и непосредственно на жаростойких поддонах или лентах. Вспучивание и обжиг могут быть совмещены при одностадийном способе в одной туннельной печи или осуществляться раздельно. В последнем случае шихта поступает сначала в печь вспенивания, где изделия приобретают пористую структуру и охлаждаются до  $600^{\circ}\text{C}$ . Извлеченные из печи вспенивания блоки пеностекла направляют в печь обжига. При обжиге благодаря медленному охлаждению снимаются внутренние напряжения в стекле. Двухстадийный способ позволяет получить пеностекло более высокого качества.

Пеностекло рационально применять для тепловой изоляции холодильников, тепловых сетей при подземной бесканальной прокладке и одновременно как теплоизоляционный, звукопоглощающий и отделочный материал.

Теплоизоляционные материалы получают на основе вспученного перлита.

● **Перлит** относится к магматическим горным породам и входит в группу вулканических стекол. Структурная вода составляет  $1..6\%$  перлита. Часть ее удаляется при нагреве до  $500^{\circ}\text{C}$ , а остальная, «эффективная» вода обуславливает вспучивание перлита и удаляется при  $830..950^{\circ}\text{C}$ . Оптимальное содержание «эффективной» воды составляет  $1..3\%$ . При повышенном ее содержании возможно растрескивание породы в результате интенсивного парообразования, что приводит к образованию большого количества перлитовой пыли. В процессе нагревания порода переходит в пиропластическое состояние, образуемая при этом парогазовая смесь преодолевает предельное напряжение сдвигу стекловидного вещества, что приводит к образованию пор и увеличению объема материала. Для нормального вспучивания должно быть соответствие между вязкостью размягченной породы и давлением «эффективной» воды. Для получения вспученного перлита более предпочтительны породы, вспучивающиеся при температуре менее  $1050^{\circ}\text{C}$ . Трудновспучиваемые породы с температурой вспучивания более  $1050^{\circ}\text{C}$  дают продукт обжига с большей плотностью. Хорошей вспучиваемости перлита способствует повышенное содержание щелочных оксидов, понижающих температуру плавления вулканического стекла. Содержание щелочных оксидов в перлитах колеблется от  $2,5$  до  $9\%$ . Коэффициент вспучивания перлита возрастает с уменьшением размера зерен. При обжиге перлитового песка коэффициент вспучивания должен быть не менее  $6$ , а перлитового щебня — не менее  $4$ .

Производство вспученного перлита осуществляют в *шахтных, вращающихся трубчатых печах* (рис. 11.5), *печах с кипящим слоем*. Для повышения качества вспученного перлита целесообразно исходную породу подвергать предварительной теплообработке. Двухстадийный обжиг особенно желателен для сырья с излишним количеством «эффективной» воды. Вспученный перлитовый песок в основном получают в вертикальных трубчатых печах шахтного типа, а щебень — в горизонтальных вращающихся печах. Шахтные печи для вспучивания перлита имеют внутренний диаметр  $0,4..0,6$  м и высоту  $5..10$  м. Вращающиеся печи имеют сравнительно небольшие размеры, внутренний диаметр  $0,5..1,5$  м, длину  $6..10$  м.

Перлит в строительстве применяют в основном как заполнитель безобжиговых и обжиговых материалов. В качестве связующих для безобжиговых изделий используют битум, цемент, жидкое стекло, гипс, полимеры.

*Битумоперлит* получают в монолите и в виде изделий смешиванием вспученного перлитового песка и битума с добавкой асбеста

и без него. Соотношение между вспученным перлитом и битумом составляет примерно 1 : (1...1,5) по массе или 1 : (6...9) по объему. Расход битума на 1 м<sup>3</sup> готовой теплоизоляции 150...250 кг, расход перлита 1,6...2 м<sup>3</sup>. Физико-механические свойства битумоперлитовых изделий приведены в табл. 11.3.

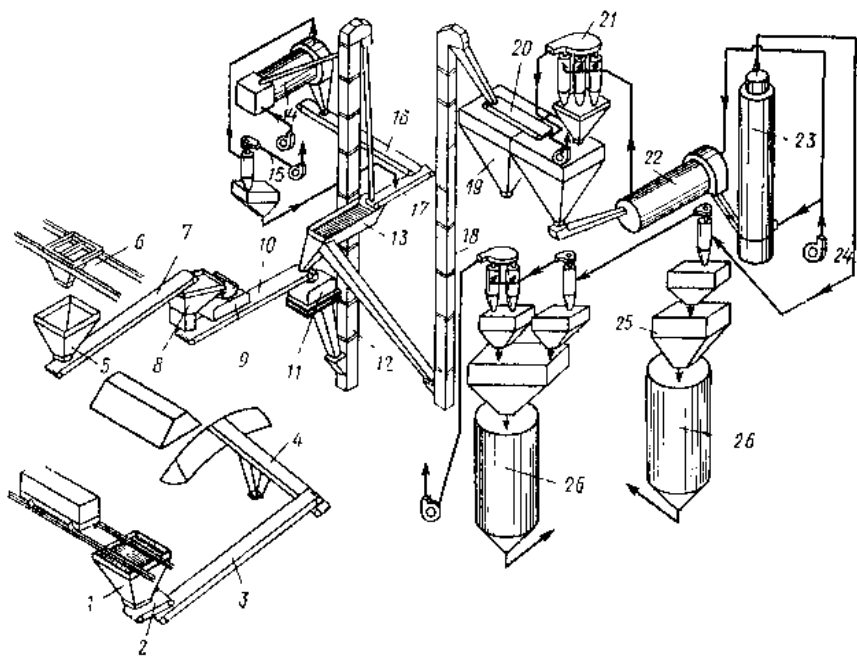


Рис. 115. Технологическая схема производства вспученного перлита: 1 — приемный бункер, 2 — подвесной пластинчатый питатель; 3 — ленточный конвейер, 4 — веерный конвейер; 5 — присыпная воронка, 6 — мостовой кран, 7 — пластинчатый транспортер, 8 — колосниковая решетка, 9 — щековая или молотковая дробилка, 10 — ленточный конвейер; 11 — валковая дробилка; 12, 18 — двухцепной элеватор; 13 — грохот; 14 — барабанное сушило, 15 — система очистки дымовых газов; 16, 17 — ленточный конвейер; 19 — бункера; 20 — реверсивный транспортер; 21 — система очистки дымовых газов; 22 — вращающаяся печь; 23 — вертикальная печь вспучивания, 24 — вентилятор, 25 — система охлаждения, 26 — силосы

Битумоперлит широко применяют для устройства теплоизоляции трубопроводов бесканальной прокладки и теплоизоляции бесчердачных покрытий.

Для теплоизоляции трубопроводов битумоперлит используют в сухих грунтах при температуре теплоносителя не выше 130°С. При более высоких температурах резко ухудшаются гидрофобные свойства битумоперлита и он должен защищаться надежной гидроизоляцией.

Перлитцементные изделия изготавливают из вспученного перлитового песка, портландцемента и распушенного асбеста V...VI сортов. На 1 м<sup>3</sup> перлитового песка расходуют 125...135 кг цемента и около

35 кг асбеста. Смесь перемешивают в лопастных растворосмесителях и прессуют под давлением 0,05 МПа. Изделия выдерживают 1...2 сут при нормальной температуре, а затем пропаривают при 60...90°С и высушивают до 5% остаточной влажности. Перлитцементные изделия имеют плотность 300...400 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе 0,25...0,5 МПа и теплопроводность 0,079...0,093 Вт/(м·°С). Они предназначены для тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600°С.

Таблица 11.3. Физико-механические свойства битумоперлитовых изделий

Наименование показателей	Плотность в высушенном состоянии, кг/м <sup>3</sup>			
	350	400	450	500
Прочность, МПа:				
при сжатии	0,25	0,35	0,4	0,5
при изгибе	0,1	0,15	0,2	0,2
Водопоглощение по объему за 24 ч, %	5	5	3	2,5
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,099	0,11	0,12	0,13

Перлитополимерные изделия (пластоперлит) получают из вспученного перлитового песка и синтетических полимеров: инден-кумароновых, мочевиноформальдегидных, фенолформальдегидных и других смол. Расход смол на 1 м<sup>3</sup> перлитополимерных изделий составляет 35...70 кг, вспученного перлита — 1,5...1,6 м<sup>3</sup>. Перлитополимерные изделия выпускают плотностью 120...300 кг/м<sup>3</sup>, с пределом прочности при сжатии 0,6...4 МПа, водопоглощением за 24 ч по объему 2...6%, теплопроводностью 0,05...0,06 Вт/(м·°С). Формование изделий производят прессованием, теплообработку ведут в сушильных камерах при температуре теплоносителя 140...150°С. Перлитополимерные изделия имеют сравнительно высокие прочность и водостойкость. Применяют их в качестве утеплителей самонесущих и навесных легких панелей с наружными слоями из стеклопластика, асбестоцемента и алюминия, для утепления кровли из профилированного настила.

Перлитофосфогелевые теплоизоляционные изделия изготавливают из вспученного перлитового песка, жидкого стекла, ортофосфорной кислоты и гидрофобной кремнийорганической жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11. На 1 м<sup>3</sup> изделия расходуется около 2,5 м<sup>3</sup> перлитового песка, 1,5 кг ортофосфорной кислоты, 115 кг жидкого стекла. Плотность изделий 200...300 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии не менее 0,35...0,5 МПа, а при изгибе 0,15...0,35 МПа, теплопроводность 0,075...0,099 Вт/(м·°С). Перлитофосфогелевые плиты целе-

сообразно применять для теплоизоляции строительных конструкций при температуре до 60°C, учитывая их несгораемость и сравнительно высокую прочность.

**Керамоперлит** является основным представителем группы обжиговых теплоизоляционных перлитовых изделий. Его изготавливают из массы, содержащей 50...60% вспученного перлитового песка и 40...50% глины. Производство керамоперлита заключается в получении шликера из пластичной глины, смешивании его с перлитовым песком, прессовании изделий, их сушке и обжиге при температуре 820...950°C. Плотность керамоперлитовых изделий 250...400 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие 0,35...1 МПа, теплопроводность 0,07...0,14 Вт/(м·°C). Недостатки керамоперлита — высокое водопоглощение (до 200...300% по массе) и хрупкость. Кроме глины в качестве связующих при получении обжиговых перлитовых изделий применяют жидкое стекло, буру, борную кислоту и др. С применением 15...20 кг/м<sup>3</sup> легкоплавкого связующего и 120...160 кг/м<sup>3</sup> вспученного перлитового песка получают перлитовый обжиговый легковес. Керамоперлит используют в основном для теплоизоляции поверхностей промышленных печей и оборудования при температуре до 900°C.

● **Изделия на основе вспученного вермикулита.** Вермикулит — минерал из группы гидрослюд. Характерной особенностью его является способность при быстром нагревании вспучиваться за счет расщепления на отдельные пластинки, частично скрепленные между собой. Вспучивание происходит в результате энергичного выделения паров воды, воздействующих перпендикулярно плоскостям спайности и раздвигающим пластинки слюды. Коэффициент вспучивания зерен вермикулита, равный отношению толщины зерна после вспучивания к первоначальной толщине, составляет 15...40. На процесс вспучивания влияют структура, химический состав и влажность сырья, степень и характер гидратации слюды, режим обжига. Наиболее энергичное вспучивание вермикулита идет при быстром нагревании до 800...1000°C. Процесс дегидратации осуществляется в три стадии: 1) испарение гигроскопической влаги (до 200°C); 2) удаление межпакетной влаги, сопровождаемое сильным вспучиванием (200...275°C); 3) удаление конституционной влаги и завершение процесса вспучивания (700...1100°C). Для снижения насыпной плотности вспученного вермикулита его после дробления фракционируют. Нежелательна излишняя продолжительность обжига, которая влечет увеличение хрупкости зерен.

Обжигают вермикулит в *шахтных* и *трубчатых печах*. При обжиге в шахтных печах важно обеспечить однородность фракционного состава зерен и создать таким образом оптимальные условия вспучивания материала. Трубчатые печи более эффективны. Они работают по принципу прямотока. Мелкие частицы быстро вспучиваются и удаляются из печи потоком горячих газов, более крупные задерживаются в печи более длительное время. Плотность вспучен-

ного вермикулита 60...200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при 25°C и уплотнении под нагрузкой 0,01 МПа 0,09...0,14 Вт/(м·°C), температуростойкость до 1100°C.

Из вспученного вермикулита формуют разнообразные изделия с применением неорганических и органических связующих веществ. Изделия на неорганических связующих имеют большую плотность и могут использоваться при повышенных температурах. С помощью органических связующих можно получить более легкие, но менее температуростойкие изделия. Для уменьшения усадочных деформаций, повышения прочности и упругости изделий эффективна добавка распушенного асбеста. Небольшая добавка асбеста (5...10%) заметно снижает также плотность изделий. Вермикулитовые изделия изготавливают плотностью 250...500 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 0,5...1 МПа и при изгибе 0,2...0,5 МПа, теплопроводностью 0,05...0,1 Вт/(м·°C). Для вермикулитовых изделий характерно удачное сочетание теплоизоляционных, акустических и декоративных свойств. Температура их применения зависит от вида связующего: для битума 60°C, жидкого стекла 500°C, керамической связки и портландцемента 1100°C.

● **Материалы на основе вспученного жидкого стекла.** В эту группу теплоизоляционных материалов входят продукты вспучивания гидратированных растворимых стекол и композиционные материалы на их основе. Жидкостекольные материалы вспучивают при нагревании или в результате химического взаимодействия с добавками-газообразователями. Исходным *сырьем* для производства материалов рассматриваемой группы служат натриевое жидкое стекло, тонкомолотые минеральные наполнители и специальные добавки. В качестве минеральных наполнителей применяют дисперсные порошки мела, известняка, талька, песка, золы и т. п. Наполнители необходимы для достижения оптимальных реологических характеристик жидкостекольной смеси. Специальные добавки вводят для гидрофобизации, повышения прочности, водостойкости и улучшения ряда других свойств материалов.

На первом этапе при производстве жидкостекольных материалов получают гранулированный полуфабрикат — стеклопор и силипор. Стеклопор с крупностью зерен более 5 мм получают гранулированием жидкостекольной массы с последующим вспучиванием при 500°C. Вспучивание гранулированного продукта идет в результате испарения связанной воды в жидком стекле при переходе его в пиропластическое состояние. Вспучивание осуществляют в обычном сушильном оборудовании с применением теплоты отходящих газов. Силипор отличается от стеклопора меньшими размерами зерен (от 0,01 до 5 мм). Кроме того, при его производстве грануляцию и вспучивание совмещают в одну операцию при распылении в башенном сушиле.

Стеклопор и силипор характеризуются высокой пористостью (98...99,6%), зависящей от состава исходной смеси и режима обжи-

га. Поры уменьшаются при введении в жидкое стекло добавок, кислот, спиртов и др., а также при медленном режиме нагревания.

Плотность зерен стеклопоро и силипора колеблется в диапазоне 40...200 кг/м<sup>3</sup>. Для наиболее легких гранулированных продуктов теплопроводность составляет 0,028...0,035 Вт/(м·°С). С повышением плотности она возрастает, но не превышает при нормальных условиях 0,065 Вт/(м·°С). Прочность при сжатии, определенная испытанием гранул в цилиндре, зависит от плотности материала и составляет 0,1...0,4 МПа. Рабочая температура применения вспученных жидкостекольных материалов — 200...+600°С. Она увеличивается при повышении силикатного модуля жидкого стекла и введении некоторых добавок. Вспученные жидкостекольные материалы имеют объемное водопоглощение 12...18%, сорбционную влажность не более 1%.

Изделия из вспученного жидкого стекла получают с применением различных связующих. На основе минеральных композиций разработана технология стеклосиликата, стеклофосфата, стеклоцемента при использовании в качестве связующих соответственно жидкого стекла, смеси жидкого стекла и ортофосфорной кислоты, цемента.

*Стеглосиликат* получают: 1) в виде разновидности крупнопористых легких бетонов плотностью 80...140 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 0,15...0,4 МПа, теплопроводностью 0,05...0,07 Вт/(м·°С); 2) как обжиговые материалы, при получении которых жидкостекольную связку подвергают вспучиванию при нагревании; 3) при использовании в качестве связующего самовспенивающихся композиций на основе жидкого стекла. Основные физико-механические свойства стеклосиликатов трех видов близки между собой.

*Стеглосцемент* получают при смешивании гранул стеклопоро с цементным молоком и последующем твердении и сушке. Плотность его 120...200 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 0,15...0,3 МПа, теплопроводность 0,07...0,1 Вт/(м·°С).

С применением полимерных связующих получают *стеклофенопласт*, *стеклопенополиуретан*, *стеклопенокарбамид*. Все эти материалы можно рассматривать как разновидности пенопластов, наполненных стеклопоро. Введение стеклопоро позволяет без увеличения расхода полимера повысить прочность, увеличить огнестойкость, уменьшить усадочные деформации. Плотность стеклополимеров 70...110 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 0,15...0,7 МПа, расход полимерного связующего 30...40 кг/м<sup>3</sup>.

### § 11.3. Материалы для высокотемпературной теплоизоляции

● Материалы для высокотемпературной теплоизоляции промышленных печей и оборудования составляют отдельную группу так называемых монтажных неорганических теплоизоляционных мате-

риалов, используемых при температуре изолируемых поверхностей 600...1300°С. Применение их позволяет повысить эксплуатационные показатели, степень индустриализации строительных работ и показатели работы тепловых агрегатов. Например, эффективная теплоизоляция вращающихся печей позволяет сэкономить на цементных заводах до 5...7 т топлива на 1000 т выпускаемого клинкера, а 1 т теплоизоляционных огнеупоров — 200 т условного топлива в год.

Критерием эффективности теплоизоляции промышленного оборудования является коэффициент сбережения теплоты (%):

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_2 \cdot 100,$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — потери теплоты установкой до и после устройства теплоизоляции. При надлежащей теплоизоляции коэффициент сбережения теплоты достигает 95...97%.

В группу материалов для высокотемпературной теплоизоляции входят минеральная и стеклянная вата, керамические и асбесто-содержащие теплоизоляционные материалы.

● **Керамические теплоизоляционные материалы** в отличие от обычных строительных керамических изделий имеют значительно более высокую пористость (55...75% и более). Их получают при введении в керамические массы пористых заполнителей или из поризованных керамических масс без заполнителей. Для поризации керамических масс применяют выгорающие добавки, пено- и газообразование, вспучивание в процессе обжига. При использовании *способа выгорающих добавок* в керамическую массу вводят лигнит, опилки, кокс, антрацит и другие материалы органического происхождения. Регулируя содержание добавок, можно изменять в необходимых пределах плотность изделий. Для нормального протекания процесса выгорания добавок следует обеспечить необходимый режим обжига, газопроницаемости садки и расстояние между отдельными изделиями. Значительное ускорение процесса выгорания добавок достигается при повышении степени их измельчения. Для предотвращения образования трещин необходимо, чтобы выделение газов, образующихся при выгорании добавок, опережало спекание керамики. Изделия с применением выгорающих добавок изготавливают из полусухих или пластичных масс, не содержащих избытка воды.

*Способ пенообразования* применим при использовании керамической массы в виде суспензии или шликера. Шликер смешивают, например, с 1,5%-ным раствором капифольного мыла или другого пенообразователя, возможно введение также уже готовой пены. При способе пенообразования обеспечиваются условия достижения пены более низкой плотности и необходимой пористой структуры керамики. Однако этот способ во многих случаях неприемлем по экономическим соображениям, так как требует повышенного расхода топлива, увеличения продолжительности сушки сырца. Кроме того,



высокая влажность массы приводит к значительным усадочным деформациям и короблению изделий.

Вспучивание керамических масс возможно осуществлять в процессе формования введением в массу *алюминиевой пудры с едким натром*, а также вспенивателей, выделяющих углекислый газ. Используют также способ вспучивания в момент обжига в среде водяного пара со снижением давления.

В зависимости от вида применяемого сырья керамические теплоизоляционные материалы бывают: *диатомитовыми* на основе диатомита или трепела; *легковесными огнеупорными*, получаемыми из огнеупорной глины или кварцита; *перлитовыми*, для изготовления которых служит вспученный перлит. Ниже рассматриваются особенности технологии керамических материалов первых двух групп. Технология керамоперлита рассмотрена ранее.

*Сырьем* для производства диатомитовых изделий служат диатомиты и трепелы, представляющие собой осадочные кремнеземистые породы. В состав диатомитов и трепелов входит 70...95%  $\text{SiO}_2$  и 3...8% гидратной воды. Кремнезем в этих породах находится в аморфном состоянии. Диатомиты образовались из панцирей одноклеточных водорослей. Трепелы являются продуктами разрушения диатомитов, для них характерна несколько большая плотность и более высокое содержание примесей. Диатомиты и трепелы при затворении водой образуют массу, обладающую пластичностью. Второй важной технологической особенностью этих пород является их высокое водопоглощение, достигающее 150% по массе. Оно способствует получению после обжига керамики с повышенной пористостью.

При получении диатомитовых изделий применяют способы, основанные на использовании *выгорающих добавок и пенообразователей*. При первом способе подсушенные сырьевые материалы измельчают, смешивают обычно с древесными опилками, увлажняют до пластичной консистенции и на обычных ленточных прессах формируют изделия, направляемые на сушку и обжиг. Введение выгорающих добавок позволяет отощить керамическую массу, увеличить ее теплопроводность и более интенсивно проводить процесс сушки. На обжиг изделий, который осуществляется при 800...900°C, расходуется в основном тепло, образованная при сжигании опилок. По мере выгорания опилок улучшаются условия для диффузии газов и ускорения процесса спекания сырья. Для получения изделий высокого качества помол и сушку диатомитов производят в шахтной мельнице. Опилки с диатомитом смешивают сначала в сухом виде в двухвальном противоточном смесителе, а затем с увлажнением на бегунах. Формовочная влажность опилочно-диатомитовых масс значительно выше, чем при производстве керамического кирпича, и достигает 60...65%. При использовании трепела формовочная влажность несколько меньше — 40...42%.

Основными стадиями получения пенодиатомитовых изделий яв-

ляются приготовление пластичной пенодиатомитовой массы и формование из нее изделий, стабилизация массы во время сушки, образование пористой керамики при обжиге.

При *подготовке сырья* по этому способу требуется более тщательное выделение каменистых включений, разрушающих пену. Для приготовления пенодиатомитовой массы применяют двух- или трехбарабанные пенобетоносмесители (более распространенные). В двух верхних барабанах отдельно готовят диатомитовый шликер и техническую пену, в нижнем барабане их смешивают, получая ячеистую массу. Плотность пены 50...65 кг/м<sup>3</sup>. Плотность шликера 1280...1330 кг/м<sup>3</sup>, его консистенция соответствует погружению стандартного конуса на глубину 10...12 см. Повышение устойчивости пены может быть достигнуто ее минерализацией, которая основана на прилипании твердых минеральных частиц к пузырькам пены. Для минерализации эффективно во взбитую смесь в процессе перемешивания постепенно вводить сухую смесь в распыленном состоянии.

*Формуют пенодиатомитовые изделия литьевым способом* в металлических формах, размер которых учитывает усадку изделий при сушке и обжиге. Сушка пенодиатомитовых изделий производится по мягкому удлиненному режиму. Удельные производственные затраты при производстве диатомитовых изделий способом пенообразования в 2...2,5 раза выше, чем при введении выгорающих добавок.

Кроме диатомитовых изделий, к керамическим теплоизоляционным материалам относится высокопористая огнеупорная керамика. В практике для теплоизоляции энергетических установок находят применение шамотные, корундовые теплоизоляционные изделия из чистых огнеупорных оксидов, а в последние годы — искусственные волокна и изделия на их основе.

Для *производства шамотных изделий* используют в основном огнеупорные каолиновые глины, содержащие 25...37%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 45...60%  $\text{SiO}_2$ .

Шамотом называют огнеупорную глину, обожженную до спекания и измельченную. Шамот вместе с необожженной огнеупорной глиной входит в шихту шамотных изделий и служит отощителем, снижающим усадку керамической массы при сушке и обжиге. Шамотные теплоизоляционные изделия классифицируют по огнеупорности на четыре класса: класс О с огнеупорностью 1750°C, класс А — 1730°C, класс Б — 1670°C и класс В — 1580°C.

При маркировке шамотных теплоизоляционных изделий указывают класс и среднюю плотность. Например, марка изделия ШЛБ-0,6 означает, что оно представляет собой шамотный легковес класса Б со средней плотностью 0,6 г/см<sup>3</sup>. По мере увеличения средней плотности изделий от 400 до 800 кг/м<sup>3</sup> прочность их на сжатие растет от 0,8 до 2,5 МПа, теплопроводность — от 0,149 до 0,545 Вт/(м·°C) при 350°C. Температура начала размягчения ша-

мотных легковесов по мере повышения их средней плотности также несколько увеличивается (от 1100 до 1270°C). Шамотные теплоизоляционные изделия изготавливают в основном с применением пенообразования, без или с введением пористых заполнителей необходимой огнеупорности.

При *подготовке масс* предварительно измельченные шамот и глину подвергают тонкому измельчению в шаровых мельницах. Тонкость помола компонентов увеличивается по мере снижения плотности изделий. Из глиношамотной смеси и технической пепы изготавливают формовочную массу, затем формуют и обжигают теплоизоляционные изделия.

Для *производства корундовой высокопористой керамики* основным сырьевым материалом служит технический глинозем, содержащий 97...99%  $Al_2O_3$ . Применяют также для снижения огневой усадки электрокорунд, получаемый в электродуговых печах плавлением технического глинозема и последующего раздува образцового расплава.

Корундовые легковесы имеют среднюю плотность 600...1000 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сжатии 2,5...13 МПа, огнеупорность более 1900°C.

К очень эффективным теплоизоляционным керамическим материалам относят *огнеупорные волокна и материалы на их основе*. Их теплопроводность при температуре 1000°C и выше в 2 раза ниже, чем материалов с ячеистой структурой. При их применении резко сокращается трудоемкость футеровочных работ. Для получения огнеупорных волокон используют оксиды  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  и др. Волокно может быть получено быстрым испарением пленки коллоидной суспензии с нагретой плоской поверхности, продавливанием смеси тонкомолотого оксида и органического связующего через фильтры с последующим обжигом по прядильной технологии аналогично получению органических волокон и переработкой расплава. Последний способ при получении огнеупорных волокон, так же как и минеральной ваты, является основным. Сырьевая смесь состоит из двух огнеупорных оксидов. Например, при получении каолиновой ваты используют технический глинозем и чистый кварцевый песок. Расплав получают в электродной печи. Струя расплава раздувается паром под давлением 0,6...0,8 МПа.

*Каолиновая вата* имеет среднюю плотность 80 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,06...0,2 Вт/(м·°C) при изменении температуры от 100 до 1000°C. Для каолиновой ваты характерны вибро-, водо- и химическая стойкость, высокие диэлектрические свойства. Из нее изготавливают рулонные и штучные материалы аналогично минераловатным изделиям.

● **Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы** получают из смеси асбеста с высокопористыми веществами: диатомитом, трепелом, известью, легкими магнезиальными солями и др. Содержание асбеста колеблется обычно от 15 до 30%. Асбестовое волокно

в результате армирующего действия упрочняет материалы, придает им некоторую эластичность и предотвращает образование трещин при вибрациях, значительно уменьшает усадочные деформации. Одним из самых ценных технических свойств асбеста является температуростойкость, достигающая 600°C. При более высокой температуре завершается дегидратация асбеста, что приводит к потере им прочности и разрушению волокон. Температура плавления асбеста 1000...1500°C.

Важной особенностью асбеста для производства теплоизоляционных материалов является высокая адсорбционная активность, обусловленная его развитой удельной поверхностью. Благодаря силам адсорбции волокна асбеста обладают высокой водоудерживающей способностью, что приводит к понижению плотности изделий. Водоудерживающая способность асбеста увеличивается по мере удлинения его волокон и степени распушки, которая резко увеличивает общую поверхность волокон.

Асбестосодержащие теплоизоляционные материалы можно разделить на ряд групп: асбестотрепельные (диатомитовые), асбестоцементные, асбестоизвестково-кремнеземистые, асбестомагнезиальные, асбестодоломитовые, асбестогипсовые.

*Асбестотрепельные материалы* представляют собой сыпучие порошкообразные смеси асбеста и трепела (диатомита) с добавками других веществ. Наиболее распространенной разновидностью материалов этой группы является асбозурит. Асбозурит получают двух классов А и Б с плотностью соответственно менее 650 и 850 кг/м<sup>3</sup> и теплопроводностью при 100°C — 0,128 и 0,233 Вт/(м·°C). Асбозурит наносят после затворения водой в виде мастики на нагретые поверхности. При получении асбозурита асбест распушивают сначала на бегунах, а затем в дезинтеграторе. Трепел измельчают и высушивают.

*Асбестоизвестково-кремнеземистые материалы* получают из асбеста, извести и кремнеземистых горных пород с применением автоклавной обработки. Кремнеземистым компонентом служит песок, диатомит или трепел. Наиболее известным материалом этой группы является вулканиг. Технология изготовления вулканига предусматривает дробление диатомита, получение известкового молока, распушку асбеста, смешивание исходных компонентов до получения однородной гидромассы, отливку изделий в металлических формах и их автоклавную обработку. Обработка в автоклавах идет в течение 4 ч при давлении 0,8 МПа. Выгружаемые из автоклава изделия подвергают сушке до 30%-ной относительной влажности. Разработан совмещенный метод тепловлажностной обработки и сушки известково-кремнеземистых изделий в автоклаве. На первой стадии в автоклав подают насыщенный водяной пар, сушат изделия путем перегрева паровой среды, который достигается с помощью специальных теплообменных устройств, смонтированных в автоклаве. Этот способ позволяет значительно сократить общую длитель-

ность тепловлажностной обработки и сушки изделий. Вулканистые изделия получают в виде плит, сегментов или скорлуп и применяют при температуре изолируемой поверхности не более  $600^{\circ}\text{C}$ . Плотность вулканита  $200 \dots 400 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность при  $100^{\circ}\text{C}$  —  $0,07 \dots 0,09 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , прочность при изгибе  $0,3 \dots 0,35 \text{ МПа}$ .

*Асбестомagneзиальные материалы* включают асбест и легкие углекислые соли магния. Основным представителем этой группы является совелит. Совелит изготавливают М350 и 400. Предел прочности его при изгибе  $0,17 \dots 0,2 \text{ МПа}$ , теплопроводность  $0,082 \dots 0,086 \text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ . По сравнению с другими асбестосодержащими материалами для совелита характерно более медленное возрастание теплопроводности с ростом температуры. Предельная температура применения совелита  $550^{\circ}\text{C}$ . Совелит выпускают как в виде порошка для мастичной теплоизоляции, так и в виде штучных изделий. Процесс получения совелита складывается из обжига доломита при температуре  $1000^{\circ}\text{C}$  в шахтных или вращающихся печах, гашения образовавшихся активных оксидов кальция и магния, карбонизации доломитового молока в специальных аппаратах — карбонизаторах и проваривания массы при  $95^{\circ}\text{C}$ , для получения четырехводного основного карбоната магния  $\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , который вместе с  $\text{CaCO}_3$  составляет основу совелита. Из полученной массы с помощью вакуум-фильтрации или прессования изготавливают изделия, направляемые на тепловлажностную обработку.

Кроме рассмотренных асбестосодержащих материалов для теплоизоляции применяют *асбестовые бумагу, картон, войлок и шнур*.

#### § 11.4. Органические теплоизоляционные материалы

● **Органические теплоизоляционные материалы** изготавливают на основе древесины или отходов при ее переработке, а также другого растительного сырья и шерсти животных. В эту группу входят также теплоизоляционные пластмассы, рассмотренные в гл. 12.

На долю отходов приходится значительная часть всей массы перерабатываемой древесины (ветви, сучья, вершины, откомлевки, козырьки, опилки, лии, корни, кора и хворост, в сумме составляющие около 21% всей массы древесины). При переработке древесины на пиломатериалы выход продукции достигает 65%, остальная часть образует отходы в виде горбыля (14%), срезок и мелочи (9%), опилок (12%). При изготовлении из пиломатериалов строительных деталей, мебели и других изделий возникают отходы в виде стружки, опилок и отдельных кусков древесины, составляющие до 40% массы переработанных пиломатериалов.

Наибольшее значение для производства строительных материалов и изделий имеют опилки, стружки и кусковые отходы. Последние используют как для изготовления строительных изделий, так и для переработки их на технологическую щепу, а затем стружку, дробленку, волокнистую массу и т. д.

Важным источником строительного сырья являются также сельскохозяйственные отходы растительного происхождения. К ним относятся, например, костра, дробленые стебли хлопчатника и др. Ценным сырьем для производства органических теплоизоляционных материалов являются также торф, стебли камыша и др.

Сыпучие материалы растительного происхождения могут применяться для теплоизоляционных засыпок. Однако будучи неантисептированными, они, подвергаясь увлажнению, быстро загнивают, дают значительную осадку, что резко снижает эффективность теплоизоляции.

Большинство органических теплоизоляционных материалов изготавливают в виде крупноразмерных плит, применение которых ускоряет и удешевляет строительство. Основными представителями материалов этой группы являются древесноволокнистые плиты, фибролит, арболит, торфяные плиты, камышит.

● **Древесноволокнистыми плитами** называют листовые материалы, получаемые из древесины путем измельчения ее в волокнистую массу, формования и тепловлажностной обработки. Важнейшие нормируемые физико-механические свойства древесноволокнистых плит приведены в табл. 11.4. Древесноволокнистые плиты легко поддаются механической обработке, им можно придавать текстуру древесины, кожи и т. п., покрывая их соответствующими пленками из синтетических полимеров. Для всех видов древесноволокнистых плит характерны высокое водопоглощение и гигроскопичность. Для мягких плит водопоглощение за 2 ч достигает 12...30%, гигроскопичность при относительной влажности воздуха 100% составляет 10...12%. Поглощенная влага ухудшает качество плит, приводит к их разбуханию, снижению прочности и загниванию. Для уменьшения гигроскопичности плит и повышения их водостойкости волокнистую массу обрабатывают эмульсиями гидрофобизирующих веществ: канифолью, парафином, церезином и пр. Эмульгаторами служат олеиновая кислота, синтетические жирные кислоты, талловое масло и другие ПАВ. Биостойкость плит возрастает при добавке в исходную массу антисептиков неорганического или органического происхождения (фторид натрия, хлорид цинка, фенол, креозол и др.). Для повышения температуростойкости плит в состав волокнистой массы добавляют также минеральные вещества (асбест, гипс и др.).

Пористость изоляционных древесноволокнистых плит достигает 80%. Теплопроводность плит увеличивается примерно на 5...6% на 1% объемной влажности.

Изоляционные плиты выпускают длиной до 3000 мм и шириной до 700 мм. Толщина их колеблется от 8 до 25 мм. Они легко поддаются различным видам механической обработки, обладают хорошей гвоздимостью.

*Сырьем* для производства древесноволокнистых плит служит неделовая древесина хвойных и лиственных пород, отходы при

заготовке леса и деревообработке, отходы целлюлозно-бумажной промышленности, макулатура, стебли камыша, тростника, подсолнечника, солома, костра и т. п. Главное требование к сырью заключается в возможности получения его при переработке длинных и прочных волокон. Для получения волокнистой массы древесину и другие виды сырья подвергают измельчению. Исходным продуктом для получения волокнистой массы служит щепа. Предварительно окоренная древесина перерабатывается в щепу на дисковых или барабанных рубильных машинах. Рабочими органами этих машин служат соответственно диск или барабан с закрепленными на них

Таблица 11.4. Свойства древесноволокнистых плит

Наименование показателей	Мягкие			Полу твердые	Твердые и сверхтвердые		
	М 4	М 12	М 20		ПТ-100	Т 350	Т 400
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	<150	<350		400...800	>850		>950
Влажность, %		<12				8±2	
Максимальное водопоглощение, %:							
за 2 ч		<30					
за 24 ч		Не нормируется		40	Не нормируется		15
Максимальное набухание по толщине за 24 ч, %		»			30		12
Максимальный предел прочности на статический изгиб, МПа	0,4	1,2	2	1,0	3,5	4,0	5,0
Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более	0,055	0,07	0,09		Не нормируется		

режущими ножами. Заключительным этапом изготовления щепы является ее сортировка. Из рубильных машин щепа выходит неоднородной по величине, а для нормальной работы агрегатов, размалывающих древесину, необходимо иметь щепу определенных размеров. Оптимальные размеры щепы: длина вдоль волокон 15...30 мм, ширина поперек волокон 15...25, толщина 3...7 мм. Для сортировки щепы применяют вибрационные и вращающиеся машины, имеющие сита с соответствующими размерами отверстий. Щепа, не прошедшая через сита, дополнительно измельчается на молотковых и ножевых дезинтеграторах. В технологической щепе ограничивается или не допускается вовсе гниль, содержащие минеральных примесей 0,3...1%.

Размол древесины и превращение ее в волокна может осуществляться тремя способами: механическим, термомеханическим и химико-механическим. При механическом способе получение волокна основано на истирании чуряков древесины в специальных агре-

гатах. Для облегчения размола эффективен прогрев древесины или применение некоторых щелочных растворов. Наиболее распространен термомеханический способ размола древесины, позволяющий получить волокнистую массу с высоким содержанием длинных и тонких волокон при сравнительно небольшом удельном расходе электроэнергии. Помол древесины термомеханическим способом производят в различных размольных агрегатах: дефибраторах, рафинерах, гидропульперах, ролах и т. п.

Самые распространенные из них дефибраторы применяют не только для получения древесного волокна, но также и других растительных волокон. В дефибраторах после нагрева в течение 1...1,5 мин, щепа растирается между двумя стальными дисками, работающими в замкнутой камере при давлении 1...1,2 МПа. После обработки волокнистая масса через разгрузочное устройство шлюзового типа выбрасывается давлением пара в циклон, где смешивается с водой и поступает на дальнейшую переработку. Тонкость помола волокнистой массы характеризуется скоростью ее обезвоживания. По мере снижения плотности плит должна увеличиваться степень размола волокна. Средняя длина волокон древесной массы колеблется от сотых долей миллиметра до 3...4 мм, диаметр достигает 30...50 мкм.

Древесноволокнистые плиты изготавливают в основном мокрым, а в некоторых случаях сухим способом.

При использовании *мокрого способа* древесина после разделки и получения волокна загружается в бассейн, где она перемешивается с водой до образования гидромассы, имеющей после сгущения концентрацию 2,5...3%. Для улучшения свойств изделий гидромассу обрабатывают эмульсиями химических веществ. При получении сверхтвердых плит в массу для повышения механической прочности, термостойкости и водостойкости вводят до 5% термореактивных полимеров. После проклейки химикатами массу разбавляют водой до 1%-ной концентрации и направляют в отливочные машины, где вода фильтруется, а волокна образуют слой войлокообразного ковра, отжимаемый затем прессованием. Ковер разрезают на отдельные изделия и направляют на сушку для получения мягких изоляционных плит и на горячее прессование для получения твердых и сверхтвердых плит. Основной недостаток мокрого способа — потребление большого количества воды для приготовления пульпы и необходимость очистки отработанной воды от токсичных веществ.

При использовании *сухого способа* волокнистая масса после размола высушивается горячим воздухом, затем из нее в воздушной среде формируется ковер. Полотна с влажностью 5...8% поступают на горячее прессование. При сухом способе требуется присадка 0,5...2% связующего.

● Арболит представляет собой легкий бетон на органических заполнителях, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной смеси, состоящей из минерального вяжу-

шего, заполнителей (отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки, дробленых стеблей хлопчатника, костры конопли и льна), химических добавок и воды. Арболит применяют для изготовления теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных изделий, эксплуатируемых в сборных и монолитных зданиях различного назначения с относительной влажностью воздуха не более 75%. Допускается применение изделий из арболита с пароизоляционным слоем на внутренних поверхностях для строительства животноводческих зданий с относительной влажностью воздуха помещений более 75%. Изделия из арболита изготовляют *неармиро-*

Таблица 11.5. Физико-механические свойства арболита

Наименование показателей	Теплоизоляционный материал	Конструктивно-теплоизоляционный материал
Марка арболита по прочности на сжатие	5; 10; 15	25; 35
Плотность в высушенном состоянии, кг/м <sup>3</sup>	400; 500; 550	600; 650; 700 (для внутренних стен 800)
Предел прочности, МПа: при сжатии	—	2; 2,5
при растяжении на изгиб	0,2; 0,5	0,7; 1
Модуль упругости при сжатии, МПа	150; 200	300; 400
Водопоглощение, %: заполнители из отходов лесозаготовок	60; 70	60; 70
то же, лесопиления	85	85
Морозостойкость, циклы	Не нормируется	15; 25
Теплопроводность при влажности 15%, Вт/(м·°С)	0,157	0,177; 0,193

ванными, однослойными и многослойными. При плотности выше 400 кг/м<sup>3</sup> арболит относится к *трудносгораемым*, ниже 400 кг/м<sup>3</sup> — к *сгораемым* и при защите его от увлажнения — к *биостойким материалам*. Нормируемые физико-механические свойства арболита приведены в табл. 11.5.

Арболит обладает способностью поддерживать в помещениях хорошие зоогигиенические условия (осушающий режим), на поверхности стен с применением арболита не выступает конденсат, нет резких колебаний их влажности, что особенно важно для сельскохозяйственных зданий. Арболит имеет хорошую сцепляемость со штукатурными растворами, красками и керамическими плитками. Усадка его составляет примерно 0,5%, или 5 мм на 1 м, а набухание — 0,25 ... 2 мм/м.

*Теплоизоляционный арболит* применяют для совмещенных конструкций — покрытий, многослойных стен, а также перекрытий и полов. *Конструктивно-теплоизоляционный арболит* рекомендуется

применять для панелей и блоков наружных и внутренних стен, стеновых камней, плит перекрытий и покрытий зданий, панелей, перегородок.

Арболит — эффективный материал, он почти вдвое дешевле железобетона. Удельные капиталовложения на организацию его производства вдвое ниже, чем для кирпича, и в 4 раза, чем для железобетона.

Наиболее часто в качестве заполнителя арболита применяют древесную дробленку, получаемую дроблением щепы. Длина древесных частиц должна быть не более 40 мм при наибольшей толщине 5 мм и ширине 10 мм. Примесь коры и листьев не должна превышать 5% по массе к сухой смеси заполнителей. При выборе породы древесины для изготовления дробленки предпочтение отдают хвойным породам. Они содержат меньше водорастворимых экстрактивных веществ и в особенности различных сахаров, дубильных и смолянистых элементов, отрицательно влияющих на процессы твердения цемента. Для уменьшения количества экстрагируемых веществ в древесных отходах наличие примесей коры должно быть минимальным, полезно также вылеживание древесины после рубки на складах в течение 4 ... 6 мес. Применение свежесрубленной древесины всех пород для производства арболита не допускается.

Состав арболита подбирают расчетно-экспериментальными методами. Расход цемента, органического заполнителя и воды зависит от марки арболита по прочности при сжатии. Для теплоизоляционного арболита М5 ... 15 расход цемента М400 колеблется от 260 до 360 кг/м<sup>3</sup>, а конструктивно-теплоизоляционного М25 ... 35 расход составляет 330 ... 450 кг/м<sup>3</sup>. Минимальный расход цемента имеет место при использовании дробленки из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород, а максимальный — из отходов лесозаготовок смешанных пород и костры. Добавки хлорида кальция и жидкого стекла не превышают 8 ... 9 кг/м<sup>3</sup>, сульфата аммония — 15 ... 20 кг/м<sup>3</sup>.

Технология изготовления арболитных изделий (рис. 11.6) включает подготовку сырьевых материалов, приготовление смеси и ее укладку в формы, твердение и сушку, отделку и складирование. Арболитовую смесь приготавливают в смесителях принудительного действия. Изделия формируют трамбованием, прессованием при давлении 0,4 ... 0,5 МПа в горизонтальных или вертикальных формах, виброуплотнением с пригрузом 0,008 ... 0,01 МПа, на силовых вибропрокатных станах. Ускоренное твердение осуществляют в камерах при температуре не более 40°C и относительной влажности воздуха 50 ... 60%, а также с помощью электропрогрева при температуре не более 50°C. Арболит приобретает 50% проектной прочности через 20 ... 24 ч тепловой обработки и после выдерживания при температуре не ниже 15°C в течение 1 ... 2 сут.

● **Ксилобетон** — разновидность арболита с заполнителем опилками и вяжущим — цементом или известью и гипсом. Ксилобетон при

плотности 300 ... 600 кг/м<sup>3</sup> и прочности при сжатии 0,4 ... 3 МПа применяют как теплоизоляционный, а при плотности 600 ... 1200 кг/м<sup>3</sup> и прочности при сжатии до 10 МПа как конструктивно-теплоизоляционный материал. Из ксилобетона изготавливают теплоизоляционные плиты длиной 600 мм, шириной 400 и толщиной 40 ... 100 мм.

● **Фибролит** в отличие от арболита в качестве заполнителя и одновременно армирующего компонента имеет стружку длиной 200 ...

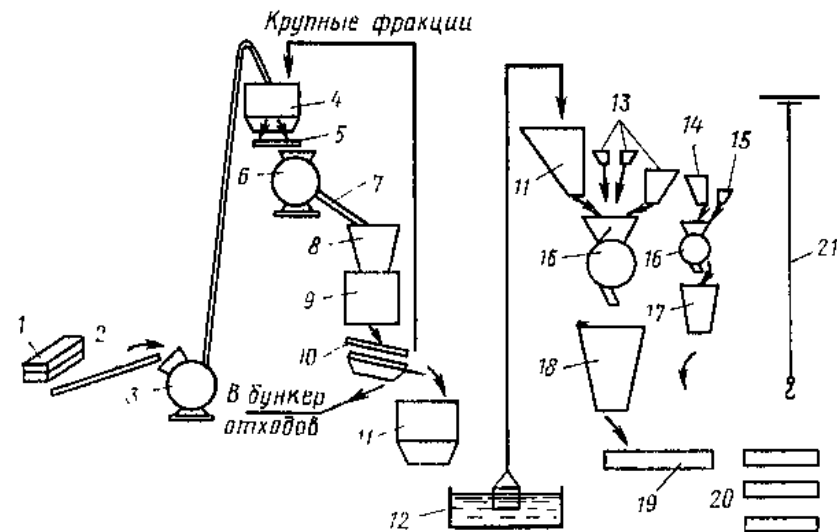


Рис. 11.6. Технологическая схема производства изделий из арболита на древесных отходах:

1 — приемная площадка; 2 — конвейер; 3 — рубильная машина; 4 — циклон; 5 — молотковая дробилка; 6 — пневмоконвейер; 7 — промежуточный бункер; 8 — виброгрохот; 9 — дозаторы; 10 — бункер для заполнителя; 11 — ванна; 12 — дозатор для воды; 13 — растворосмеситель; 14 — бункер для заполнителя; 15 — дозатор для воды; 16 — растворосмеситель; 17 — ванна; 18 — арболитоукладчик; 19 — формовочные посты; 20 — пост выдержки и сушки изделий; 21 — край

500 мм, шириной 4 ... 7 и толщиной 0,25 ... 0,5 мм. Такую стружку получают из неделовой древесины хвойных, реже лиственных пород на специальных станках. В исходном сырье исключается присутствие гнили, косослоя и свилеватости, а также сучков диаметром свыше 30 мм, расположенных на расстоянии менее 200 мм друг от друга.

Фибролит выпускают в виде плит длиной 2400 ... 3000 мм, шириной 500, 600 и 1200 мм и толщиной 30 ... 100 мм. Для него установлены марки по плотности: 300, 400 и 500. Влажность плит не должна превышать 20%. Фибролит с плотностью до 400 кг/м<sup>3</sup> применяют в качестве теплоизоляционного материала. Он имеет теплопроводность 0,0936 ... 0,122 Вт/(м·°С). При средней плотности 400 кг/м<sup>3</sup> и более фибролитовые плиты, являясь теплоизоляционными материалами, одновременно могут использоваться и для возведения

стен, перегородок, перекрытий и т. д. Теплопроводность конструктивно-теплоизоляционного фибролита 0,122 ... 0,152 Вт/(м·°С).

Фибролит отличается высокой звукопоглощаемостью, обусловленной сообщающимся характером пор, легкой обрабатываемостью, гвоздимостью, хорошим сцеплением со штукатурным слоем и бетоном. Отрицательными свойствами фибролита являются значительная воздухопроницаемость, большое водопоглощение, низкая водостойкость, подверженность во влажном состоянии поражению грибом.

Прочность фибролита зависит от размеров и качества стружки, расхода цемента, толщины плит, усиления прессования, режима тепловой обработки. При изменении средней плотности изделий от 300 до 500 кг/м<sup>3</sup> минимально допустимый предел прочности при изгибе изменяется от 0,4 до 1,2 МПа. При увлажнении фибролита до 50% его механическая прочность понижается в 1,5 ... 2 раза. Водопоглощение фибролитовых плит возрастает по мере уменьшения плотности и достигает 35 ... 60%.

Процесс производства фибролита включает приготовление стружки, обработку ее минерализатором, смешивание с цементом, прессование плит и их термическую обработку. Стружку получают из предварительно окоренной и выдержанной в течение не менее 4 ... 6 мес древесины на специальных станках. Рабочий орган этих станков — плита со строгальными ножами, имеющими возвратно-поступательное движение. Существуют также станки с вращательным движением ножей. Из полученной стружки удаляются в грохотах или воздушной сепарацией пыль и наиболее мелкие фракции. Для уменьшения отрицательного действия экстрагированных веществ и более глубокой последующей минерализации стружку подсушивают до влажности 20 ... 25% в камерных или конвейерных сушилках. Подсушенная стружка минерализуется 3 ... 4%-ным водным раствором хлористого кальция или жидкого стекла. Минерализацию осуществляют окунанием стружки в раствор минерализатора или распылением раствора. С этой целью применяют конвейер с перфорированной лентой, барабанные смесители и другие устройства. Смешивают стружку с цементом в гравитационных смесителях или смесителях принудительного действия. Для теплоизоляционного фибролита соотношение между стружкой и цементом по массе составляет 1 : (2 ... 3), при этом влажность шихты 45 ... 50%. Увеличение расхода цемента сверх оптимально необходимого приводит к повышению плотности без заметного увеличения прочности.

Фибролитовые плиты можно *формовать прессованием с помощью прессов различных конструкций или изготавливать конвейерным способом в виде непрерывно движущейся ленты*, разрезаемой на отдельные изделия. Более распространен первый способ. Теплоизоляционные плиты прессуют при давлении 0,06 ... 0,1 МПа на пневматических прессах. Более тяжелые плиты прессуют на гидравлических прессах при давлении прессования до 0,25 ... 0,4 МПа.



Для ускорения набора прочности фибролитовые плиты высушивают. Распространена *двухстадийная теплообработка*. На первом этапе плиты в пакетах выдерживают при относительной влажности 60...70% и температуре 30...35°C в течение 8...24 ч. На втором этапе их распалубливают и сушат при температуре 60°C и относительной влажности 60...70% в течение 1...2 сут. Остаточная влажность плит должна быть 15...20%.

Теплоизоляционные фибролитовые плиты применяют для изготовления ограждающих конструкций зданий различного назначения и утепления их производства утепленных стеновых панелей и т. п., конструктивно-теплоизоляционный фибролит — для устройства перегородок и покрытий в зданиях преимущественно сельскохозяйственного назначения, а также как стеновой материал для малоэтажных зданий.

● **Торфяные** теплоизоляционные изделия (плиты, скорлупы, сегменты) получают из волокон мха-сфагнума, склеенных смоляными веществами, выделившимися из торфа при тепловой обработке. Основную долю теплоизоляционных изделий и торфа составляют плиты размером 1000×500×30 мм. Различают водостойкие, трудногораемые, биостойкие торфяные плиты и плиты, обладающие комплексом указанных свойств (биостойкие, биоводостойкие и др.). Для придания соответствующих свойств плитам в процессе их производства вводят соответствующие добавки: гидрофобизаторы, антипирены, антисептики. Торфяные теплоизоляционные плиты имеют плотность 170...220 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе — не менее 3 МПа, теплопроводность 0,058...0,064 Вт/(м·°C).

Для торфяных изделий характерно волокнистое мелкопористое строение и пористость 84...91%. По плотности и теплопроводности они входят в группу эффективных теплоизоляционных материалов из природного волокнистого сырья. Основные недостатки торфяных изделий — высокое водопоглощение и низкая огнестойкость. Для обычных торфяных плит водопоглощение за 24 ч достигает 180...190%, для водостойких плит оно в 3 раза меньше. Торфяные изделия воспламеняются при 160°C, предельная температура их эксплуатации 100°C. При хранении их следует учитывать способность изделий к самовоспламенению в штабелях. Температура воспламенения около 300°C.

Теплоизоляционные изделия из торфа получают из гидромассы *сухим* и *мокрым* (чаще) способами формования. Предварительно заготовленный кусковой торф измельчается в торфяную крошку в зубчатой вальцовой дробилке (волок-машине) и поступает в варочные чаны, где смешивается с водой до получения гидромассы с концентрацией около 5% по массе и прогревается острым паром до 50...70°C. При перемешивании гидромассы торф расщепляется на отдельные волокна, что ускоряется в процессе подогрева. В процессе варки гидромассу пропитывают гидрофобизаторами, антисептиками и антипиренами.

Плиты прессуются на гидравлических прессах при давлении 0,2 МПа в металлических формах с отверстиями для стока отжимаемой воды. Сырые изделия подвергают тепловой обработке на поддонах в туннельных сушилах. При сушке в торфяной массе идет процесс коагуляции коллоидов и образуются смолистые вещества, склеивающие волокна.

Торфяные теплоизоляционные изделия применяют в основном для изоляции холодильников, чему способствует невосприимчивость их к запахам хранящихся продуктов, а также для утепления наружных стеновых панелей и изоляции ограждений. Для защиты плит от увлажнения устраивают пароизоляцию.

● **Камышит** — теплоизоляционный материал, изготавливаемый в виде плит или рулонов из плотно уложенных стеблей камыша, скрепленных оцинкованной проволокой. Камышитовые плиты могут быть с поперечным и продольным расположением стеблей. Плотность камышита 175...200 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при изгибе около 0,5 МПа, теплопроводность 0,058...0,093 Вт/(м·°C). Плиты выпускают длиной 2400...2800 мм, шириной 550...1500 и толщиной 50...100 мм. Недостатки этого эффективного для районов, богатых зарослями камыша, материала — поражаемость грибами, загниваемость, неогнестойкость.

Камышитовые плиты применяют главным образом как местный материал в сельскохозяйственном строительстве для теплоизоляции ограждающих конструкций.

## § 11.5. Акустические материалы

● **Акустические материалы** предназначены для акустического благоустройства зданий и помещений. Они делятся на две группы — звукопоглощающие и звукоизоляционные.

● **Звукопоглощающие материалы** обеспечивают необходимые условия слухового восприятия или снижение уровня шума. Звуковое поле в помещении определяется наложением прямого и отраженного звуков. Многократное отражение звука в помещении увеличивает шум на 10...15 дБ по сравнению с шумом от того же источника на открытом воздухе. При этом не только увеличивается интенсивность звука, но неблагоприятно изменяется и его звучание. Задача звукопоглощающих материалов заключается в снижении энергии отраженных звуковых волн и изменении в необходимом направлении характеристик звукового поля в помещении. К звукопоглощающим материалам относят такие материалы, у которых коэффициент звукопоглощения на средних частотах (500 Гц) более 0,4, т. е. поглощается больше 40% энергии звуковых волн. Эффект звукопоглощения возникает за счет явлений резонанса и потери энергии звуковых волн при прохождении через пористые материалы. Гашение звуковой энергии происходит при проникании звуковых волн в поры материала и возникающего при этом вязкого трения, а также

в результате активного сопротивления материала вынужденным колебаниям. Высокое звукопоглощение обеспечивается пористыми материалами с открытой поверхностью (рис. 11.7). Коэффициент звукопоглощения для пористых материалов имеет повышенные значения в области средних и высоких частот. В области низких частот звукопоглощение увеличивают за счет толщины материала или воздушного зазора между материалом и жесткой поверхностью.

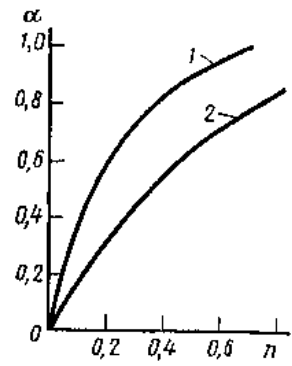


Рис. 11.7. Зависимость коэффициента звукопоглощения  $\alpha$  от сквозной пористости материала:  
1 — стекловата; 2 — акустическая штукатурка

Высокое звукопоглощение в широком диапазоне частот позволяет обеспечить комбинации перфорированного покрытия с пористым материалом.

Звукопоглощающие свойства материалов определяются временем реверберации, т. е. временем, за которое уровень звукового давления при прекращении работы источника звука снизится на 60 дБ. Определение времени реверберации производится в специальной камере в диапазоне частот 80... 5000 Гц.

● **Звукоизоляционные материалы** служат для обеспечения звукоизоляции ограждений — перекрытий, стен и перегородок. При этом основное назначение звукоизоляционных материалов в конструкции — предотвратить распространение структурного или ударного звука. Этот вид звука вызывается

ударами при передвижении мебели, шагами, вибрацией механизмов. Для звукоизоляции необходимо нарушить непрерывность жесткой конструкции здания, введя разрывы на пути распространения звуковых колебаний. Это достигается с помощью упругих прокладок из звукоизоляционных материалов. Распространенными решениями звукоизоляции междуэтажных перекрытий являются плавающие полы с применением звукоизоляционных прокладок и рулонные полы на теплоизоляционной основе.

Основной характеристикой звукоизоляционных материалов служит динамический модуль упругости (с понижением модуля упругости понижается и скорость распространения звука), относительная сжимаемость, характеризующая уменьшение первоначальной толщины материала под нагрузкой, и коэффициент внутреннего трения (коэффициент потерь).

Звукопоглощающие материалы классифицируются по структурному сырьевому и конструктивному признакам. В зависимости от структуры звукопоглощающие материалы подразделяются на зернистые, волокнистые и ячеистые. *Зернистые материалы* изготавливают на основе пористых легких заполнителей и применяют как в виде монолитных штукатурных покрытий, так и отдельных изделий. К *волокнистым материалам* относятся изделия на основе минераль-

ных и органических волокон. В строительной практике особенно широко применяют минераловатные акустические плиты с гибким, полужестким и жестким скелетом. Из *ячеистых материалов* хорошими акустическими свойствами обладают ячеистые бетоны и поропласты, имеющие сообщающуюся систему пор.

Звукопоглощающие материалы используют как для сплошных, так и локальных облицовок. Для *сплошных облицовок* применяют однородные пористые материалы, перфорированные экраны с пористым наполнителем, резонансные конструкции. *Локальные акустические облицовки* располагают в непосредственной близости от

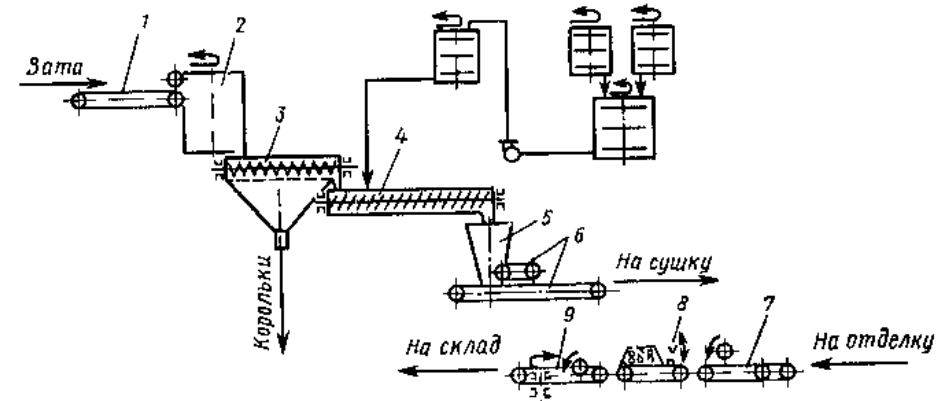


Рис. 11.8. Технологическая схема производства декоративно-акустических плит «акмигран»:

1 — конвейер; 2 — гранулятор; 3 — шнек; 4 — смеситель непрерывного действия; 5 — бункер гидромассы; 6 — формующие конвейеры; 7 — шлифовальный станок; 8 — камера окраски и сушки; 9 — калибровочный станок

источника шума. Локальные звукопоглощающие отделки выполняют в виде щитовых или объемных конструкций. Щитовые конструкции применяют в зрительных залах, студиях, аудиториях в области частот до 200 Гц. Они представляют собой каркасы, на которые прибавают фанеру (можно древесноволокнистые плиты) или натягивают плотную ткань (пленку). Воздушный промежуток заполняют волокнистым материалом.

В помещениях, где необходимо равномерное звуковое поле, устраивают рассеивающие звуки. Для достаточно полного звукопоглощения поглотителям придается форма клина, конуса или пирамиды. Проволочный каркас такой формы заполняют минеральной ватой.

Из разнообразных звукопоглощающих изделий наиболее распространены *минераловатные плиты на крахмальном или каолиновом связующем*. Такие плиты изготавливают на основе гранулированной минеральной ваты или суспензированной минеральной волокна. В нашей стране минераловатные плиты на крахмальном

связующем выпускают по *формовочной технологии без обжига* (плиты «акмигран») (рис. 11.8) или с *обжигом связующего* (плиты акминит), а также по *отливочной технологии* (минераловатные плиты).

Минераловатные звукопоглощающие плиты имеют плотность 350 ... 450 кг/м<sup>3</sup>, прочность при изгибе 1 ... 1,8 МПа, реверберационный коэффициент звукопоглощения 0,6 ... 0,8.

Плиты выпускают размерами 300×300, 600×600, 1200×1200 мм при толщине 12 ... 16 мм. Их окрашивают обычно белыми красками со светоотражательной способностью 70 ... 85%, отличительная особенность плит — высокая огнестойкость.

*Сырьем* для производства минераловатных звукопоглощающих плит служат минеральная вата, крахмал, каолин и добавки для улучшения свойств изделий. Крахмал выполняет роль связующего. По химическому составу он представлен высокомолекулярными углеводами, содержит жирные кислоты, азотистые вещества. Промышленное использование крахмала основано на его основном свойстве — *клейстеризации*. Наиболее крупные зерна крахмала клейстеризуются при 70 ... 181°C. Температура клейстеризации и вязкость уменьшаются с уменьшением размера зерен крахмала. Наиболее доступным для производства плит является кукурузный (маисовый) крахмал. Он может быть заменен карбоксиметилцеллюлозой, также позволяющей получать жесткие и прочные минераловатные изделия. При использовании крахмалов и карбоксиметилцеллюлозы получают пластичные, хорошо формируемые массы. Для повышения огнестойкости, улучшения формируемости и прочности плит к крахмальному связующему добавляют минеральные добавки глины или каолина. С целью повышения водостойкости вводят 5 ... 10% парафина от массы крахмала, в качестве антисептика применяют буру или бурную кислоту и другие добавки. Качество основного исходного компонента плит или минеральной ваты зависит от диаметра волокна, содержания неволоконистых включений, соотношения кислотных и щелочных оксидов. Оптимальным является волокно диаметром 5 ... 7 мкм. Нежелательно присутствие в вате корольков, снижающих акустические и физико-механические свойства плит.

Наиболее распространенные составы минераловатных плит на крахмальном связующем (% по массе): минеральная вата — 100, крахмал — 12 ... 14, каолин — 14 ... 20, парафин — 1,5 и борная кислота — 0,5 ... 1.

Наиболее сложным и ответственным процессом в производстве акустических минераловатных плит является *грануляция минеральной ваты*. Она заключается в разрыве ваты или разрезке минераловатного ковра с последующей закаткой образованных кусочков. При разрыве ваты на клочки используют вертикальные трубные, а при резке минераловатного ковра — дисковые грануляторы. Закатка гранул производится в сепараторах — перфорированных бараба-

нах, обеспечивающих отделение корольков. Приготовление связующего включает получение сначала крахмальной, а затем крахмально-каолиновой суспензии, варку ее при 185 ... 190°C с последовательным введением добавок, улучшающих огне-, био- и водостойкость изделий. Гранулированную минеральную вату перемешивают со связующим в лопастных смесителях непрерывного действия.

При получении плит «акмигран» масса равномерно распределяется по плоскости конвейера или форм-поддонов и подпрессовывается до необходимой плотности. При этом одновременно обеспечивается получение необходимой фактуры плит. Формование заготовок осуществляется на сетчатом конвейере с отжимом связующего. Отжатый раствор корректируется и направляется на дальнейшее использование. Сушка плит ведется до остаточной влажности 1% в туннельных сушилках. Сухие заготовки подвергают механической обработке: шлифовке, обрезке кромок, раскрою на плиты заданных размеров.

При отливочной технологии получают гидромассу с концентрацией 1 ... 3%. При этом минеральную вату не гранулируют, а подвергают *суспензированию с гидросепарацией корольков*. Гидромасса подается к отливочной машине, где формируется волокнистый ковер, который обезвоживается с применением *вакуумирования* и *уплотняется*. Полученные заготовки транспортируют в камеру тепловой обработки.

Акустические минераловатные плиты изготавливают не только на крахмальном, но и на синтетическом связующем, в качестве которого применяют композиции из поливинилацетатной эмульсии и фенолспиртов и уплотняются с последующей сушкой. Заготовки для звукопоглощающих изделий получают при значительно больших (в 2 ... 2,5 раза) содержаниях связующего и уплотнении (в 1,3 ... 1,6 раза), чем для теплоизоляционных изделий. При полимеризации синтетического связующего фиксируется пористая структура при плотности для минераловатных плит 120 ... 200, стекловолоконистых 40 ... 200 кг/м<sup>3</sup>. Плиты имеют длину и ширину 500 мм, толщину 20 мм. Коэффициент звукопоглощения при частотах 200 ... 1000 Гц колеблется в диапазоне 0,08 ... 0,67. Содержание синтетического связующего 9 ... 12%.

Плиты различаются видом фактурного слоя: *гладкий* и *перфорированный* или в виде «набрызга». Наиболее высокими звукопоглощающими свойствами обладают перфорированные плиты. Здесь поглощение звука происходит не только за счет перехода звуковой волны через материал, но и за счет энергии колебаний, особенно в условиях резонанса. Собственные колебания перфорированных изделий определяются объемом воздушных пробок и упругостью материала. Звукопоглощение плит зависит от степени перфорации, с увеличением ее максимальное поглощение сдвигается в область более высоких частот. Гашение звуковой волны облегчается при уменьшении диаметра волокна.

В качестве звукопоглощающих материалов кроме минераловатных плит применяют *двухслойные древесноволокнистые плиты*, полученные склеиванием твердой перфорированной и мягкой изоляционной плиты; *плиты «силакпор»* из теплоизоляционного ячеистого бетона с системой сообщающихся пор; *полиуретановые поропластовые плиты*; *гипсовые перфорированные плиты*.

Звукопоглощающие материалы используют как в конструкциях без защитной оболочки, так и с защитными оболочками и экранами. Из последних распространены гипсовые акустические плиты, армированные стекловолокном, со сквозной перфорацией, чаще всего их применяют размерами 500×500×30 мм (штампованные), 600×600×30 и 810×810×30 мм (литые) с диаметром отверстий 4,5... 10 мм и коэффициентом перфорации 3... 15%. Пространство между ребрами плит заполняют преимущественно минераловатными поглотителями на синтетическом связующем. С тыльной стороны гипсовые акустические плиты оклеивают алюминиевой фольгой.

Звукоизоляционные материалы классифицируют по структуре на *ячеисто-зубчатые* (резиновые изделия, поропласты), *волокнистые* (материалы на основе силикатных и растительных волокон), *зернистые* (опилкобетоны и др.). По форме они делятся на *маты, плиты, полосовые и штучные прокладки, рулоны, засыпки*. Плотность звукоизоляционных материалов не должна превышать 300 кг/м<sup>3</sup>.

Звукоизоляционные материалы с относительным сжатием не более 5% относят к *жестким*, 5... 15% — к *полужестким* и более 15% — к *мягким*. По величине динамического модуля упругости  $E_d$  их разделяют на три группы: *первая* с  $E_d$  менее 1 МПа; *вторая* — более 1 и менее 5 МПа; *третья* — более 5 и менее 15 МПа.

1. Какой общий признак характерен для всех теплоизоляционных материалов и какими путями он обеспечивается? 2. Каковы основные виды неорганических теплоизоляционных материалов и в соответствии с их свойствами рациональные области их применения? 3. Какова специфика состава и свойств материалов для высокотемпературной теплоизоляции? 4. Что такое арболит и фибролит? Сопоставьте их свойства и технико-экономические показатели с другими материалами. 5. Какая разница между звукопоглощающими и звукоизоляционными материалами?

### § 12.1. Общие сведения

● Битумными и дегтевыми материалами называют материалы, получаемые на основе битума или дегтя. К ним относят битумные и дегтевые вяжущие и разнообразные материалы на их основе: эмульсии, пасты, асфальтовые мастики, растворы и бетоны, рулонные и штучные изделия. Общими особенностями этих материалов являются высокая водостойкость, водонепроницаемость, химическая стойкость, повышенная адгезионная способность.

Асфальтовые материалы относятся к числу самых древних строительных материалов. Еще в древности благодаря высокой стойкости и непроницаемости в воде асфальтовые материалы применялись как гидроизоляционные. До нашего времени сохранилась гидроизоляция из природных асфальтов бассейна в г. Мохенджо-Даро (Пакистан), выполненная пять тысяч лет назад, туннелей под Евфратом и висячих садов дворца Семирамиды (Сирия) — в IV веке до н. э., сводов башни Кик-ин-де-Кек в Таллинне — в 1475 г. Свое значение для гидроизоляции асфальтовые материалы, изготовляемые в основном уже из искусственных нефтяных битумов, сохранили и в настоящее время.

Еще в VI в. до н. э. в Вавилоне природный битум применялся при строительстве дорог. В настоящее время в дорожном строительстве асфальтовые материалы занимают ведущее место, на их выполнение расходуется до 75% всего объема битумных и дегтевых вяжущих. Велико значение битумных и дегтевых материалов при кровельных работах, где они могут заменять железо, черепицу, шифер, являясь более дешевыми. Применение этих материалов для устройства кровель требует наименьших затрат труда.

В настоящее время наиболее распространены битумные рулонные кровельные материалы. Удельный вес их в покрытиях гражданских зданий составляет более 50%, а промышленных — около 90%.

Битумные и дегтевые материалы — химически малоактивны, особенно при невысоких температурах. Это позволяет широко применять их в антикоррозионной технике.

Битумные и дегтевые материалы непрерывно совершенствуются, растет объем и развивается технология их производства. В последние годы, например, налажено производство новых эффектив-

ных и долговечных кровельных материалов — стеклорубероида, рубероида с цветной посыпкой, перфорированного и эластичного рубероида и т. д. Промышленность выпускает такие эффективные гидроизоляционные материалы, как фольгоизол, изол, бризол и др. Развиваются новые области применения битумных и дегтевых материалов. Так, на битумных вяжущих изготавливают мягкие и полужесткие минераловатные плиты, а также теплоизоляционные изделия с применением вспученного перлитового песка. Для комплексной теплогидроизоляции железобетонных гидросооружений в районах с суровым климатом, а также для теплоизоляции теплофикационных сетей и покрытий зданий применяют легкие асфальтобетоны (асфальтокерамзитобетон, асфальтошлакобетон и др.).

Новые богатые возможности совершенствования свойств битумных и дегтевых материалов и создания новых эффективных композиционных материалов открывает совмещение их с добавками синтетических полимеров. При этом существенно повышаются эластичность, теплостойкость, клеящая способность, прочность и долговечность асфальтовых материалов.

Битумные и дегтевые материалы можно классифицировать по виду вяжущего вещества, технологическим особенностям, структуре и назначению.

● В зависимости от вида вяжущего различают *битумные, дегтевые, гидрокамовые, дегтебитумные, битумно-полимерные, дегтеполимерные материалы*.

● По технологическим особенностям выделяют *штучные (листовые) и рулонные материалы, эмульсии и мастики, растворы и бетоны*. Для каждой группы битумных и дегтевых материалов возможна классификация по **структурным признакам**. Например, асфальтовые бетоны различаются в зависимости от **зернистости минеральной смеси, пористости и степени конгломератности**. Рулонные материалы делят на *основные и безосновные, покровные и беспокровные*.

● По назначению битумные и дегтевые материалы бывают *дорожными, гидроизоляционными, теплоизоляционными, герметизирующими, кровельными, антикоррозионными*. В ряде случаев для них характерно полифункциональное значение. Они одновременно могут служить гидро- и теплоизоляционными, гидроизоляционными и кровельными или антикоррозионными.

## § 12.2. Битумные и дегтевые вяжущие

● Битумы и дегти относятся к органическим вяжущим, состоящим из смеси высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных. Кроме битумов и дегтей, получаемых путем перегонки органических веществ, в группу органических вяжущих входит большое число синтетических полимеров.

Битумы и дегти объединяет близость состава и структуры и, как следствие, сходство основных технических свойств. Главными ком-

понентами битумов являются масла (45 ... 65%), смолы (15 ... 30%) и асфальтены (10 ... 30%), в дегтях кроме масел (60 ... 80%) и смол (15 ... 25%) содержится свободный углерод (5 ... 25%). Масла представляют собой вязкие жидкости, состоящие из смесей углеводородов с молекулярной массой 300 ... 500. Смолы — вязкопластичные высокомолекулярные вещества, включающие углеводороды с молекулярной массой 600 ... 800. Асфальтены — твердые хрупкие вещества с молекулярной массой 1000 ... 5000 и выше. Свободный углерод также представляет собой твердое вещество, состоящее из сложных органических соединений с высокой молекулярной массой. В битумы кроме асфальтенов могут в небольшом количестве входить и другие твердые вещества: *карбены и карбонды (1 ... 2%), парафины (0,6 ... 8%)*. До 1% битумов составляют *асфальтогенные кислоты* — смолообразные вещества, обладающие высокой полярностью и способствующие более интенсивной адгезии битумов к каменным материалам. В дегтях содержатся также *нафталин, антрацен, фенолы* и некоторые другие примеси.

В отличие от неорганических органические вяжущие твердеют не в результате физико-химических процессов взаимодействия с водой и образования гидратов. Битумы и дегти являются гидрофобными веществами, образующими коллоидные системы мицеллярного строения. *Мицелла* — это частица коллоидного вещества, представляющая собой сложное новообразование, в котором дисперсная фаза (ядро частицы) находится в определенной физико-химической связи с окружающей средой через слой ионов, так называемую сольватную оболочку. В битумах ядрами мицелл являются частицы асфальтенов, а в дегтях — свободного углерода. Ядра мицелл стабилизированы адсорбированным слоем смол. Мицеллы суспензированы в масляной среде, в зависимости от их количества они могут быть как отдельными, так и связанными в цепочные соединения.

От соотношения масел, смол и твердых компонентов зависит агрегатное состояние битумов. Контакт между мицеллами отсутствует при избыточном содержании масел, с повышением температуры мицеллы разрушаются. В обоих случаях битумы и дегти находятся в жидком состоянии. Наоборот, с повышением концентрации дисперсной фазы имеет место коагуляция, т. е. слипание частиц, что приводит к увеличению вязкости и твердению битумов и дегтей. Переход системы в вязкое или твердое состояние идет также при охлаждении битумов и дегтей с постепенным выделением частиц наибольшей молекулярной массы, которые становятся центрами образования новых мицелл. При высокой концентрации мицеллы вступают в непосредственный контакт и структура вяжущих переходит в состояние геля, т. е. структурированной системы, образовавшейся в результате действия молекулярных сил сцепления между коллоидными частицами. Таким образом, в отличие от неорганических гидратационных вяжущих битумы и дегти можно отнести к органическим коагуляционным вяжущим материалам.

● **Технология производства.** По происхождению различают битумы природные и нефтяные.

*Природные битумы* являются продуктами естественного видоизменения нефти, протекающего в земной коре в течение многих столетий. Они встречаются иногда в чистом виде, образуя озера (например, Охинское озеро на Сахалине), в виде твердых скоплений — асфальтита, но чаще пропитывают горные породы — известняки, доломиты, песчаники. Такие горные породы называют битуминозными или асфальтовыми. Содержание битума в них колеблется от 10 до 80%. В нашей стране известны такие крупные месторождения асфальтовых пород, как Сызранское, Бахилловское (на правом берегу Волги) и др. Битум из асфальтовых пород получают путем экстрагирования с помощью различных растворителей или вываривания в горячей воде. Однако эти способы, требующие значительных затрат, распространения не получили. Извлекать битум целесообразно лишь при содержании его в породах не менее 10...15%. Чаще асфальтовые породы измельчают в порошок и используют для изготовления масрик и асфальтовых бетонов. В природных битумах содержится большее количество кислородсодержащих соединений, чем в нефтяных, что придает им более высокую адгезионную способность к поверхности каменных материалов. Они имеют также повышенную погодоустойчивость. Природные асфальтовые материалы не получили широкого распространения в строительстве, что обусловлено в ряде случаев недостаточной экономичностью разработки их залежей и непостоянством состава.

Основными видами битума, применяемыми в строительстве, являются *нефтяные битумы*. Стоимость нефтяных битумов в 5...6 раз ниже, чем природных. По способу получения различают нефтяные битумы остаточные и окисленные, а также крекинг-битумы, компаундированные и битумы деасфальтизации. Остаточные битумы получают как остаток после отгонки из нефти бензина, керосина и части масел. Фракционирование нефти осуществляют на трубчатых перегонных установках. Остающийся мазут подвергают дополнительной разгонке с выделением более тяжелых масляных фракций (рис. 12.1) — гудрона, а также жидких или более вязких битумов (5...15% объема перегоняемой нефти). Высокий выход остаточных битумов характерен для нефтей, содержащих большое количество асфальтосмолистых веществ (тяжелые нефти).

Для полного извлечения из нефти низкокипящих углеводородов (например, бензина) применяют *крекинг-процесс* расщепления нефтяных продуктов под действием высокой температуры и давления (термический процесс) или температуры и катализатора (каталитический процесс). Исходными продуктами для крекинга служат мазут, соляровое масло или другие тяжелые нефтепродукты. Тяжелые нефтепродукты, так же как и гудроны, служат сырьем для получения битума способом окисления. Однако крекинг-битумы содержат большое количество твердых компонентов — карбенов и кар-

боидов, что ухудшает их свойства и вызывает быстрое старение.

В СССР наиболее распространено производство *окисленных битумов*. Для их получения нефтяные остатки окисляют кислородом воздуха в кубах периодического или непрерывного действия, в трубчатых реакторах или окислительных колоннах. Кубы (конверторы) для окисления битума представляют собой цилиндрические емкости объемом до 250 м<sup>3</sup> с устройством для вдувания воздуха (маточника). Нефтяные остатки перекачивают в окислительные кубы при температуре 200...230°C. Воздух распределяется под давлением по

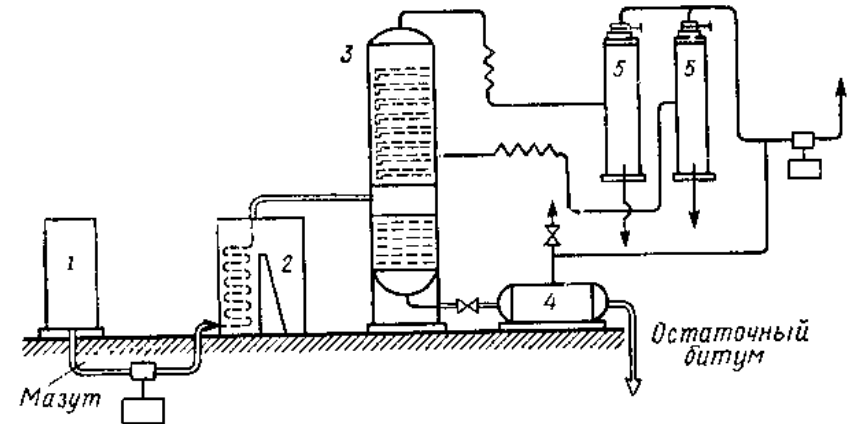


Рис. 12.1. Технологическая схема производства остаточного битума: 1 — сырьевой мерник; 2 — трубчатая печь; 3 — вакуумная колонка; 4 — битумный бак; 5 — конденсаторы

трубам и с большой скоростью выходит в виде пузырьков через отверстие, перемешивая битум. Под действием кислорода воздуха происходит быстрое окисление углеводородов, повышается содержание асфальтенов, уплотняются смолы и, как следствие, повышается вязкость битума. Длительность процесса (10...50 ч) зависит от реакционной способности исходного сырья, интенсивности продувки и требуемой вязкости битума.

Для создания непрерывного процесса кубы монтируют в ступенчатом порядке и объединяют линиями для перетока битума из одного куба в другой. Сырье непрерывно подается в первый куб и постепенно перетекает в последующие, а затем после окончания окисления — в раздаточный бак. Непрерывное окисление битума производят также в эмульсионном состоянии в трубчатых реакторах. В гудрон, протекающий по трубам, вдувается сильная струя воздуха, образуемая битумная пена (эмульсия) окисляется в змеевике реактора. Преимуществом эмульсионных установок является малая длительность процесса окисления.

Значительное количество битума на нефтеперерабатывающих заводах получают смешиванием (компаундированием) нефтяных



продуктов различной вязкости, таким образом легче обеспечить требуемые свойства битумов.

**Битумы деасфальтизации** (экстрактные) получают осаждением асфальтосмолистой части гудронов пропаном и другими растворителями.

При разжижении вязких битумов жидкими нефтяными продуктами установленного фракционного состава с добавлением поверхностно-активных веществ получают *жидкие нефтяные битумы*. В зависимости от скорости формирования структуры жидкие битумы делят на три класса: БГ — быстрогустеющие, СГ — густеющие со средней скоростью и МГ — медленногустеющие.

Транспортируют битумы в железнодорожных или автомобильных цистернах, а также в специальных битумных полувагонах-бункерах. Перед выгрузкой битума из цистерны его предварительно подогревают паром через змеевики. При выгрузке битума из бункерных вагонов пар пропускают между двойными стенками. Тугоплавкие битумы перевозят в виде болванок на железнодорожных платформах.

На предприятиях по производству асфальтовых материалов оборудуются закрытые металлические или железобетонные битумохранилища, имеющие устройства для подогрева.

● **Технология производства.** Дегти являются продуктами деструктивной (без доступа воздуха) перегонки твердых видов топлива или нефти. В зависимости от вида исходного сырья получают каменноугольные, сланцевые, торфяные и нефтяные дегти.

Наибольшее распространение в строительной практике получили дегти, образующиеся при коксовании или газификации каменного угля. В процессе коксования угля одновременно с коксом (73...77%) получают сернистый газ (15...25%), сырой деготь (5%), а также воду, бензол, аммиак и др. Коксование осуществляют в специальных печах при температуре 1100...1250°C. Пары сырого дегтя улавливаются и конденсируются в холодильниках. *Сырой деготь* (сырая каменноугольная смола) — маслянистая жидкость темного цвета, содержащая углеводороды ароматического ряда, придающие ей резкий специфический запах. Высокое содержание в сыром дегте летучих и водорастворимых компонентов приводит к быстрой потере им пластичности и старению. В связи с этим и учитывая ценность продуктов, содержащихся в сыром дегте, его подвергают разгонке. Обычно сырой деготь разгоняют на четыре фракции: легкие — по 170°C, средние — 170...270, тяжелые — 270...300 и антраценовые масла — 300...350°C. Твердым остатком при перегонке сырого дегтя является пек — твердое, хрупкое вещество черного цвета (вследствие высокого содержания свободного углерода) с характерным блестящим и раковистым изломом. Интервал пластичности для пека ничтожен: при нормальных температурах он твердый, а при нагревании до 40...50°C начинает течь. Это свойство пеков (холодная текучесть) обусловлено наличием в них низкоплавких эвтектических сплавов.

В качестве строительных вяжущих применяют *отогнанные* и *составленные дегти*. Отогнанные дегти образуются при отборе из сырого дегтя летучих веществ в процессе фракционной перегонки до получения необходимой вязкости. Составленные дегти получают смешиванием в варочных котлах при 130...145°C пека с антраценовым маслом или сырым дегтем. Соотношение между пеком и разжижителем усугубляют лабораторным путем, подбирая смесь необходимой вязкости. Составленные дегти получили в нашей стране наибольшее распространение из-за сравнительно простой технологии.

При работе с дегтевыми материалами и в особенности с пеком следует учитывать, что они могут вызывать раздражение слизистой оболочки и кожи человека и обладают канцерогенным действием.

● **Свойства битумов и дегтей** обусловлены особенностями их состава и структуры. Главными показателями этих материалов являются вязкость, пластичность и теплостойкость. Эти показатели взаимосвязаны. С увеличением содержания масел, повышением температуры и длительности воздействия нагрузок понижается вязкость и возрастает пластичность. Смолы обуславливают вяжущие свойства битумов и дегтей, придают им пластичность, увеличивают клеящую способность. Асфальтены в битумах и свободный углерод в дегтях повышают температуру размягчения и твердость.

**Структурная вязкость** — основное механическое (реологическое) свойство битумов и дегтей. Для жидких битумов и дегтей вязкость определяется с помощью стандартных вискозиметров по времени истечения пробы через отверстие 5 или 10 мм при постоянной температуре. Для полутвердых и твердых битумов вязкость измеряется в условных единицах по величине пенетрации (рис. 12.2) — глубине погружения иглы определенного диаметра при 25°C в десятых долях миллиметра (градусах пенетрации). Дегтевые мицеллы менее термоустойчивы, чем битумные, и с повышением температуры вязкость дегтей снижается быстрее.

**Пластичность** измеряется для битумов (условно) величиной растяжимости (дуктильности), т. е. способностью вытягиваться в нить (рис. 12.3).

**Теплостойкость** битумов и дегтей, как и других материалов, не имеющих кристаллической решетки, определяется на приборе «коль-

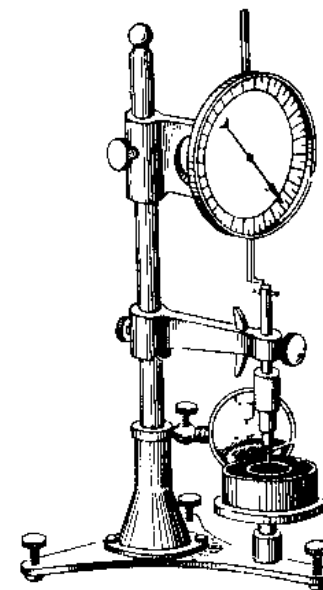


Рис. 12.2. Пенетромтр

цо и шар» (рис. 12.4) температурой размягчения, при которой битум или пек, залитые в кольцо, выдавливаются на определенную глубину под действием стального шарика.

При необходимости для битумов и дегтей определяются дополнительные качественные показатели: температура вспышки, температура хрупкости, сцепление с каменными материалами и др.

Битумы и дегти хорошо растворяются в органических растворителях, особенно неполярного типа (дихлорэтане, бензоле, уайт-спирите и др.). Разрушают эти материалы концентрированные щелочи и кислоты.

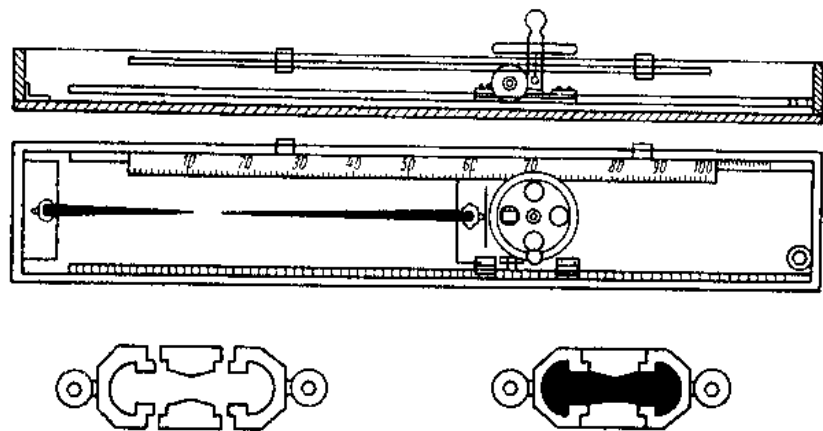


Рис. 12.3. Дуктилометр

Под влиянием кислорода воздуха и температуры в битумах и дегтях происходят окислительные процессы старения, необратимо изменяющие их структуру. Сущность процессов старения заключается в последовательном окислении масел и смол и образовании дополнительного количества асфальтенов в битумах и свободного углерода в дегтях. При этом вместо коагуляционной формируется жесткая пространственная структура, которая постепенно разрушается за счет развития в узлах и элементах структурной сетки локальных перенапряжений.

● В строительстве применяют дорожные, строительные, кровельные и изоляционные битумы. Они отличаются (табл. 12.1) в основном значениями вязкости, пластичности и теплостойкости.

*Дорожные битумы* (наименее вязкие) применяют в основном для дорожно-строительных работ и производства асфальтовых бетонов, окрасочной, инъекционной и пропиточной гидроизоляции; *строительные* — для получения более твердых и тугоплавких асфальтовых мастик; *кровельные* — для получения кровельных мастик и рулонных материалов; *изоляционные* — для антикоррозионной защиты подземных трубопроводов. Выпускают также специальный туго-

плавкий битум — *рубракс*, являющийся продуктом окисления обычных битумов при 160...300°C в присутствии щелочи. Рубракс используют для получения гидроизоляционных материалов повышенной теплостойкости.

Дегти используют значительно реже, чем битумы. *Каменноугольные дегти* (ГОСТ 4641—80) выпускают шести марок, различающихся в основном вязкостью. Дегти имеют более узкий интервал термостабильности и быстрее стареют под влиянием атмосферных факторов. Они менее пластичны, так как в них содержится меньше смол, чем в битумах. Вместе с тем дегти лучше смачивают поверхность минеральных материалов, придают им биостойкость. Их применяют для изготовления антикоррозионных составов, дегтебитумных материалов, а также рулонного кровельного и гидроизоляционного материала — толя.

● **Композиционные битумные и дегтевые вяжущие.** Совмещением битума с добав-

ками дегтя, резины и разнообразных синтетических полимеров достигается существенное улучшение свойств вяжущего. Введение в битум добавки дегтя позволяет повысить его адгезионную способность и биохимическую стойкость. Эти свойства особенно важны при изготовлении рулонных материалов на картонной основе. При простом сплавлении в битум можно ввести до 15...20% дегтя. Значительно большее количество дегтевых продуктов совмещается с битумом при совместном окислении. Окислением нефтяного гудрона и антраценового масла при соотношении от 7:3 до 4:6 в реакторе при 200...250°C получают гудрокам, а окислением гудрона, антраценового масла и каменноугольного пека в соотношении 3:1:1 — гудропек. При частичной или полной замене антраценового масла пеком увеличивается выход готового продукта и сокращается длительность окисления. Битумно-дегтевые материалы содержат свободные фенолы, поэтому их нельзя применять в водопроводных сооружениях для питьевой воды.

Эластичность, температуры размягчения и долговечность битумов существенно улучшаются при введении добавок резинокаучуковых веществ. Так, при соотношении резины и битума 1:1 относи-

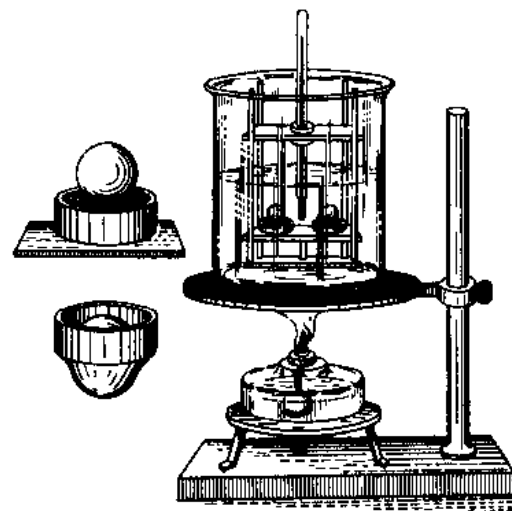


Рис. 12.4. Кольцо и шар

тельное удлинение вяжущего увеличивается более чем в 2 раза, эластичность — почти в 3 раза, сопротивление разрыву — до 0,8 МПа, температура размягчения — до 120°C, а температура хрупкости снижается до —20°C. В результате связывания резиной части масел в битумах предотвращается быстрое старение материала. Содержание резины в битумно-резиновых смесях колеблется от 5 до 30%,

Таблица 12.1. Основные требования к нефтяным битумам

Марки битумов	Температура размягчения, °C	Температура хрупкости, °C, не более	Температура вспышки, °C, не менее	Глубина проникновения иглы 0,1 мм при		Растяжимость, см, не менее	
				25 °C	0 °C	25 °C	0 °C

*Нефтяные дорожные вязкие битумы ГОСТ 22245—76*

БНД 200/300	35	—20	200	201 300	45	—	20
БНД 130/200	40	—18	220	131 200	35	65	6
БНД 90/130	45	—17	220	91 130	28	60	4,2
БНД 60/90	48	—15	220	61 90	20	50	3,5
БНД 40/60	52	—10	220	40 60	13	40	—

*Строительные битумы ГОСТ 6617—76*

БН 50/50	50	—	231	41 60	—	40	—
БН 70/30	70	—	230	70 80	—	3	—
БН 90/10	90	—	240	5 20	—	1	—

*Кровельные битумы ГОСТ 9458—74\**

БНК 45/180	40 50	—	240	140...220	—	—	—
БНК 90/40	85 95	—20	240	35 45	—	—	—
БНК 90/30	85 95	—10	240	25 35	—	—	—

*Изоляционные битумы ГОСТ 9812—74\**

БНИ-IV-3	65	—	230	30 50	15	4	—
БНИ-IV	75	—	230	25 40	12	3	—
БНИ-V	90	—	230	20	9	2	—

оптимальная ее концентрация возрастает по мере снижения вязкости битума. Обычно применяют резиновую крошку из старых автомобильных покрышек и других отходов производства. Изношенная резина измельчается в шинорезках и молотковых дробилках до частиц размером не более 1 мм, подогревается до 70...80°C и поступает в котел, где смешивается с расплавленным при температуре 200...215°C битумом. При механическом воздействии в среде расплавленного битума резина девулканизуется и приобретает высокую пластичность. Битумно-резиновые сплавы применяют в качестве вяжущего для рулонных и мастичных материалов типа изол, бризол.

В последние годы разработан ряд композиций битумов с добавками таких полимеров, как латексы, этиленпропиленовый каучук и бутилкаучук, дивинилстирольный термоэластопласт, полиэтилен и др. Полимеры в составе этих композиций выполняют роль структурирующих или пластифицирующих добавок, содержание которых колеблется от 3 до 20%. Для битумно-полимерных композиций характерны сравнительно высокие показатели теплостойкости, механической прочности и деформативной способности, особенно при отрицательных температурах. Получение их возможно как механическим холодным способом, так и путем сплавления. В первом случае вяжущее приготавливают на вальцах, во втором — битум сплавляют при температуре 160...200°C с полимером, вводимым в виде раствора, эмульсии или крошки, при интенсивном перемешивании до получения однородного материала.

Жидкие битумы и дегти с полимерными добавками применяют в качестве лаков для гидроизоляции и антикоррозионной защиты. Из многочисленных битумно-дегтевых лакокрасочных материалов распространены битумный лак БТ-577, краска БТ-177, каменноугольные лаки. Содержание в битумных и дегтевых лаках органических растворителей придает им токсичность. Битумно-полимерные сплавы служат в качестве вяжущих при изготовлении улучшенных гидроизоляционных мастик.

● **Эмульсии и пасты.** Микрогетерогенные дисперсные системы, состоящие из двух несмешивающихся жидкостей, одна из которых диспергирована в другой в виде мелких капелек, называют эмульсиями. Для строительных целей применяют эмульсии, одной из фаз которых является вода. С целью обеспечить устойчивость эмульсий в них присутствуют эмульгаторы — добавки поверхностно-активных веществ. Эмульгаторы адсорбируются на частицах дисперсной фазы и способствуют удерживанию их во взвешенном состоянии.

Эмульсии бывают двух типов: прямые и обратные. В прямых эмульсиях частицы битума или дегтя диспергированы в воде и покрыты защитной пленкой эмульгатора (эмульсия «масло в воде»). В эмульсиях обратного типа дисперсионной средой является битум или деготь, а дисперсной фазой — капельки воды (эмульсия «вода в масле»). Эмульсии могут быть концентрированными — с содержанием органического вяжущего до 74% и высококонцентрированными — 74...95%. Последние при применении разбавляют водой до необходимой консистенции. Разновидностью высококонцентрированных эмульсий, эмульгаторами в которых служат тонкодисперсные нерастворимые в воде порошки, являются битумные и дегтевые пасты.

Для получения эмульсий прямого типа применяют нефтяные дорожные битумы БНД 200/300, БНД 130/200, БНД 90/130, а также сланцевые и каменноугольные дегти высоких марок и их смеси. Эмульсии обратного типа изготавливают обычно с применением дегтевых вяжущих пониженной вязкости. Для получения эмульсион-

ных паст чаще применяют дорожные битумы БНД 60/90 и БНД 40/60. Битумные эмульсии не требуют подогрева и вместе с тем в отличие от жидких битумов безопасны, так как не содержат летучих растворителей.

В зависимости от природы эмульгатора различают эмульсии анионные и катионные. В анионных эмульгаторах служат мыла высокомолекулярных органических кислот (асидол, мылонафт, окисленный петролатум), в катионных — органические азотсодержащие соединения (амины). Эмульгаторами для паст могут служить пластичные глины, известь, содержащая не менее 70% оксида кальция, хризотилловый асбест и др. Чем выше содержание в эмульгаторе коллоидных частиц менее 0,005 мм, тем более высокодисперсной и концентрированной будет приготовленная паста.

Высококонцентрированные эмульсии и пасты готовят обычно в лопастных смесителях с числом оборотов вала 10...120 об/мин. Сначала готовят водную суспензию эмульгатора, которая должна иметь температуру 70...95°C, затем в нее вводят при интенсивном перемешивании расплав битума или деготь. В пасте содержится 8...15% тонкодисперсного порошка-эмульгатора (глина, известь), 40...55% битума и 25...40% воды.

Обычные эмульсии с органическими эмульгаторами готовят с помощью разнообразных диспергирующих машин: гомогенизаторов, коллоидных мельниц, ультразвуковых установок.

Важнейшими показателями качества эмульсий являются *однородность, устойчивость* при хранении, *содержание вяжущего, вязкость, скорость распада*. Однородность и устойчивость эмульсий при хранении определяют по остатку на сите с отверстием 0,14 мм. Показателем вязкости служит отношение времени истечения 200 мл эмульсии при температуре 20°C и такого же количества дистиллированной воды. Этот показатель характеризуется также временем истечения на вискозиметре ВЗ-4 с отверстиями 3 или 5 мм.

Класс эмульсий и область их применения определяются *скоростью распада*. Обычно скорость распада измеряется временем в минутах от начала введения в эмульсию цемента до образования комка. Различают *быстро-, средне- и медленнораспадающиеся эмульсии*. На скорость распада в основном влияют тип и количество используемого эмульгатора.

В табл. 12.2 приведены требования к битумным эмульсиям и пастам, применяемым для изготовления гидроизоляционных составов.

В дорожном строительстве битумные эмульсии применяют при устройстве дорожных покрытий, в гидроизоляционных работах — для устройства временных покрытий и инъекционных завес. Получили распространение окрасочные битумные эмульсии, содержащие 10...20% латекса. Эмульсионные пасты служат вяжущим для широко применяемых в настоящее время холодных асфальтовых мастик.

## § 12.3. Асфальтовые бетоны и мастики

● **Асфальтовые (дегтевые) бетоны и мастики** — искусственные строительные материалы, полученные в результате твердения рационально подобранных однородных смесей битумов (дегтей) с минеральными заполнителями и тонкодисперсными наполнителями. Мастики в отличие от бетонов не содержат заполнителя, они представляют собой пластичные смеси органических вяжущих с порошкообразным или волокнистым наполнителем.

Таблица 12.2. Требования к битумным гидроизоляционным эмульсиям и пастам

Наименование показателей	Эмульсии		Эмульсионные пасты	
	окрасочные	инъекционные	гидроизоляционные	для заполнения швов
Содержание битума, %	55..65	50..60	45..55	35..50
Средний диаметр частиц битума мкм	2..5	1...2	30	100
Остаток, %, не более на ситах с ячейками, мм.				
0,15	0,5	0,1	—	—
0,15 через 10 сут хранения	1,0	0,1	—	—
1	—	—	5	—
3	—	—	—	5
Условная вязкость, с, по вискозиметру ВЗ-4 с отверстиями, мм:				
3	2..10	2..6	—	—
5	—	—	5..15	10..20
Коэффициент распада при высыхании, %	10...50	60..100	—	—
Распад после смешения с цементом, мин, не более	5	10	—	—
Плотность, г/см <sup>3</sup>	—	—	1,05..1,15	1,05..1,25
Водопоглощение в высушенном состоянии, %, не более	—	—	5	15
Набухание в высушенном состоянии, %, не более	—	—	3	—

Заполнители и наполнители сложным образом взаимодействуют с битумом и дегтем, выполняя роль структурообразующих компонентов. Минеральные порошки переводят органическое вяжущее в пленочное состояние благодаря высокоразвитой поверхности и образуют структурированную дисперсную систему, обладающую повышенной прочностью, вязкостью и водостойкостью. В асфальтовых бетонах они также заполняют мелкие пустоты между частицами заполнителей. Высококачественные минеральные порошки должны обладать хемосорбционной активностью. Такую активность по от-

ношению к битумам имеют основные горные породы: известняки, доломиты, доломитизированные известняки и др.

Структурообразующая роль песка и щебня значительно отличается от роли минерального порошка. Основным макроструктурным элементом асфальтовых бетонов является щебень, главное назначение которого заключается в формировании жесткого пространственного каркаса. Пустоты между крупными зернами щебня заполняются песком. Песок повышает также удобообрабатываемость смеси, улучшает ее однородность. Оптимальной структурой асфальтовых бетонов является такая структура, при которой полидисперсные зерна минеральной смеси контактируют через прослойки вяжущего вещества, а общее количество последнего является предельно минимальным для образования сплошной пространственной сетки в монолите и поддержания необходимой удобообрабатываемости массы на всех стадиях технологии, особенно при уплотнении.

● Основными классификационными признаками для асфальтовых бетонов служат температура укладываемой смеси, плотность, хрупкость и содержание скелетных фракций. Асфальтовые бетоны применяют в горячем, теплом и холодном состояниях. Горячие асфальтобетоны укладывают в покрытие при температуре 120...160°C, теплые — 60...80 и холодные — при обычных температурах окружающего воздуха, но не ниже 10°C. Горячие и теплые асфальтобетоны разделяют в зависимости от наибольшего размера зерен щебня (гравия) на крупнозернистые (до 40 мм), среднезернистые (до 20 мм), мелкозернистые (до 15 мм), песчаные (до 5 мм). Холодные асфальтобетоны выпускают только мелкозернистыми или песчаными.

Различают плотные и пористые асфальтобетоны. Первые имеют остаточную пористость 2,5...5% и применяются в верхнем слое покрытия, вторые с остаточной пористостью 5...10% используют в нижнем слое и для устройства оснований. Плотные (горячие и теплые) асфальтобетоны изготавливают многощебенистыми с содержанием щебня 50...65% (тип А), средне- и малощебенистые (типы Б и В) соответственно с содержанием щебня 35...50 и 20...35%, а также песчаными из дробленого песка при содержании частиц 1,25...5 мм не менее 35% (тип Б) и из природного песка — не менее 14% (тип Д).

● Кроме того, асфальтовые бетоны классифицируют по способу уплотнения на укатываемые, трамбованные, вибрированные и литые.

● В зависимости от производственного назначения различают асфальтовые бетоны дорожные, аэродромные, гидротехнические, кислотостойкие и цветные.

● Мастики классифицируют по виду вяжущего (битумные, дегтевые, битумно-резиновые, битумно-полимерные и др.), способу применения (горячие и холодные) и производственному назначению (гидроизоляционные, антикоррозионные, кровельные, герметизирующие и др.).

Основными компонентами асфальтовых бетонов являются битум, минеральный порошок, песок и щебень. Для приготовления горячих асфальтобетонных смесей применяют вязкие дорожные битумы марок БНД 90/130, БНД 60/90 и БНД 40/60. В теплых смесях используют битумы пониженной вязкости БНД 200/300, БНД 130/200, а также жидкие быстро- и среднегустеющие битумы. Холодные асфальтобетоны приготавливают на основе жидких средне- и медленогустеющих битумов. Для асфальтобетонов, применяемых в гидроизоляции, эффективно использование битумно-полимерных вяжущих.

Минеральные порошки получают измельчением известняков и доломитов с прочностью не менее 20 МПа и содержанием глинистых веществ не более 5%, асфальтовых пород, основных металлургических шлаков. Применяют также цементную пыль и другие пылевидные материалы. Удельная поверхность минеральных порошков составляет 2500...5000 см<sup>2</sup>/г, содержание частиц мельче 0,071 мм должно быть не менее 70%. С целью снижения битумоемкости асфальтобетонов пористость минеральных порошков ограничивается не более 35%. Набухание смеси порошка с битумом в воде при остаточной пористости образцов 5...6% не должно превышать 2,5%.

Усиление структурообразующей роли минеральных порошков достигается их физико-химической активацией. С этой целью при размоле их обрабатывают смесью анионоактивных веществ и битума (1,5...2% от массы порошка). Добавки ПАВ улучшают смачивание поверхности частиц битумом. При активировании на поверхности частиц порошка образуется первичный контактный слой битума и они приобретают гидрофобность. Активированные порошки имеют меньшую пористость, более развитую поверхность, равномернее распределяются в асфальтобетоне, способствуют снижению его битумоемкости, повышению прочности, плотности, теплостойкости, водонепроницаемости. При использовании активированных порошков снижаются температура смеси, продолжительность ее перемешивания, улучшается удобообрабатываемость.

Требования к песку и щебню для асфальтовых бетонов аналогичны требованиям к заполнителям для цементных бетонов. Предпочтительнее применение крупных и средних песков с остроугольными зернами и достаточно широким гранулометрическим составом. Щебень для асфальтобетонов получают из прочных морозостойких горных пород и нераспадающихся металлургических шлаков. Максимальная крупность щебня должна быть не более 0,6 толщины верхнего слоя и 0,7 нижнего.

Для улучшения сцепления поверхности минеральных зерен с органическим вяжущим при изготовлении асфальтовых бетонов применяют добавки ПАВ, разделяемые на анионо- и катионоактивные. Характерными представителями анионоактивных ПАВ служат высшие карбоновые кислоты и их соли, катионоактивных — четырехзамещенные аммониевые основания, соли аминов. Анионоактивные

ПАВ улучшают сцепление битума с карбонатными материалами, катионоактивные — с кислыми породами. Применение добавок ПАВ эффективно при увлажненной поверхности минеральных материалов, для уменьшения температуры нагрева смеси и сокращения времени перемешивания, уменьшения старения битумов и ускорения формирования дорожных покрытий из смесей с битумами малой вязкости.

Наиболее широко применяют в строительстве горячий асфальтобетон. Это обусловлено высокой скоростью формирования покрытий на его основе, их устойчивостью к транспортным нагрузкам.

Для определения состава асфальтовых бетонов в нашей стране получил распространение метод СоюздорНИИ по предельным кривым плотных минеральных смесей, обеспечивающий выбор такого соотношения компонентов смеси, при котором достигаются оптимальная структура и требуемые показатели технических свойств материала. Он включает следующие стадии: выбор и испытание исходных материалов, определение соотношения минеральных компонентов в зависимости от их гранулометрического состава, установление оптимального количества битума для подобранной минеральной смеси, испытание контрольных образцов.

На практике для выбора соотношения минеральных компонентов пользуются готовыми таблицами или кривыми, приведенными в нормативных документах для разных асфальтобетонных смесей.

Оптимальное количество битума подбирают опытным путем. Для средне- и мелкозернистых плотных асфальтобетонных смесей оно составляет 5...7% от массы минеральной части, для песчаных — 7...9%. С целью уточнения расхода битума готовят три смеси, в одной из них содержание битума соответствует среднему значению, рекомендуемому ГОСТ 9128—84, в двух других отличается на 0,5% в большую и меньшую стороны. По результатам физико-механических испытаний образцов строят графические зависимости для показателей основных свойств и определяют оптимальное содержание битума.

● **Технология производства.** Асфальтобетонные смеси изготавливают на специализированных заводах и установках, откуда их в горячем, теплом или холодном состоянии доставляют к месту работ. Промышленность выпускает комплекты автоматизированного технологического оборудования для производства асфальтобетонных смесей производительностью до 100 т/ч и более. В состав типового асфальтобетонного завода входят цех по обогащению и переработке каменных материалов, включающий дробильно-сортировочное оборудование для производства фракционированного щебня и помольную установку для получения минерального порошка; битумный цех, состоящий из битумохранилища, битумоплавильных котлов и насосных станций; смесительный цех, в котором размещены асфальтобетонные машины — смесители. Смесители могут быть периодического и непрерывного действия, свободного и принудительного перемешивания

и располагаются по вертикальной (башенной) или горизонтальной (партерной) схеме. Смесители периодического действия предпочтительны при изготовлении асфальтобетона разных марок, непрерывного — постоянной рецептуры. В состав смесительной установки входят три основных блока оборудования: сушильный, сортировочно-смесительный и пылеулавливающий (рис. 12.5) Приготовление асфальтобетонной смеси включает высушивание и нагрев

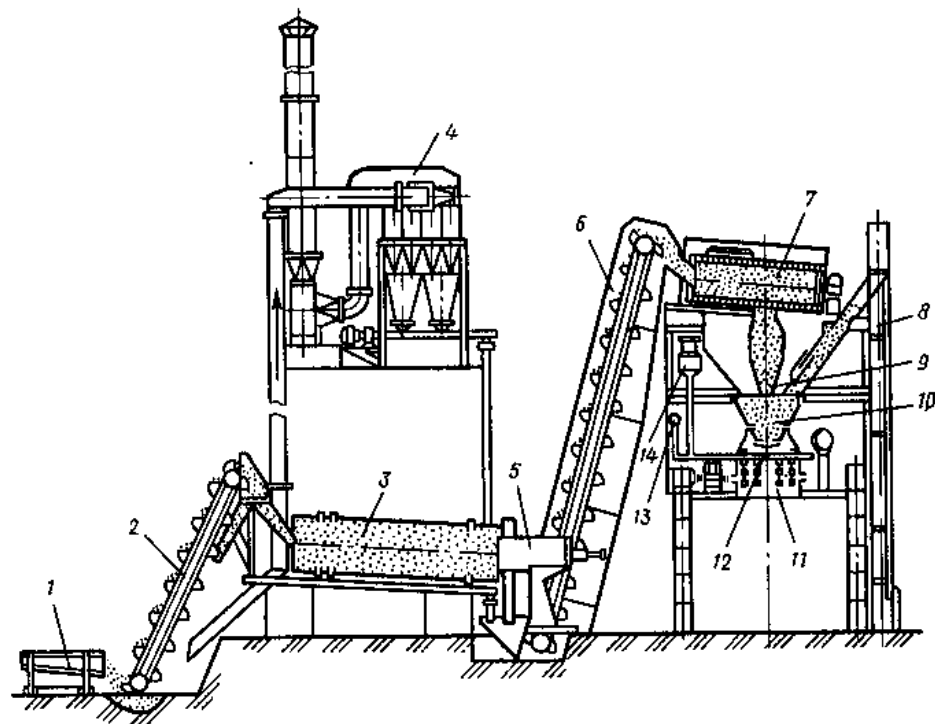


Рис. 12.5. Технологическая схема производства асфальтобетона:

1 — питатель; 2 — элеватор; 3 — сушильный барабан; 4 — пылеулавливающая установка; 5 — топка; 6 — горячий элеватор; 7 — грохот; 8 — элеватор минерального порошка; 9 — бункер для горячих материалов; 10 — бункер; 11 — лопастной двухвальцовый смеситель; 12 — битумная труба с соплами в смесителе; 13 — дозатор по поверхности активных добавок; 14 — дозатор битума

материалов до рабочей температуры, дозирование и перемешивание. Сушка и нагрев минеральных материалов производится в сушильных барабанах до температуры 160...180°C. Горячие минеральные материалы сортируются на отдельные фракции, поступают на дозирование по массе, а затем в расходный бункер и смеситель. После предварительного перемешивания заполнителей и минерального порошка в смесь подается расплавленный битум с температурой 150...165°C. Общая длительность перемешивания мелко- и среднезернистых смесей 45...60 с, крупнозернистых 20...30 с. Готовая горячая асфальтобетонная смесь при выпуске из смесителя имеет



температуру 140...175°C. При введении добавок ПАВ температура снижается до 120...150°C.

● **Свойства.** Основными нормируемыми свойствами асфальтовых бетонов (табл. 12.3) являются прочность при сжатии, тепло- и водостойкость. Прочность определяют при 50, 20 и 0°C на цилиндрических образцах, размер которых зависит от типа асфальтобетона. Решающим является показатель прочности при максимальной эксплуатационной температуре. С повышением температуры прочность

Таблица 12.3. Технические требования к плотным дорожным горячим асфальтобетонам

Наименование показателей	Нормы для марок		
	I	II	III
Предел прочности при сжатии, МПа, при температурах			
20°C для асфальтобетонов всех типов	2,5	2,2	2,0
50°C для асфальтобетонов типов:			
А	0,9	0,8	—
Б и В	0,9..1,3*	0,8..1,2	0,8..1,1
Г	1..1,6	0,9..1,4	0,8..1,3
Д	—	1..1,2	0,8..1
0°C для смесей всех типов, не более	9..13	10..13	10..13
Коэффициент водостойкости, не менее	0,95..0,85	0,9..0,8	0,85..0,7
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее	0,95..0,85	0,85..0,7	0,75..0,6

\* Для различных дорожно-климатических зон нормируются свои показатели.

асфальтобетонов плавно понижается, при 50°C она в 1,5...3 раза ниже, чем при 30°C (рис. 12.6). Отношение предела прочности асфальтобетона на сжатие при 20°C к соответствующему показателю при 50°C называют *коэффициентом теплостойкости*. Отношение значений прочности при 20 и 0°C характеризует *коэффициент эластичности*. В асфальтобетонных покрытиях недостаточной теплостойкости развиваются значительные деформации сдвига в теплый период года, при неудовлетворительной эластичности возникает опасность трещинообразования при пониженных температурах.

Решающее влияние на прочность асфальтобетонов оказывает характер взаимодействия между битумом и минеральными материалами. Прочность выше в асфальтобетонах с применением карбонатных горных пород, более вязких битумов, при содержании в минеральной смеси преимущественно остроугольных зерен, при оптимальном содержании битума и соотношении битум: минеральный порошок, обеспечивающем получение наиболее плотного асфальтобетона.

*Водостойкость* асфальтовых бетонов характеризуется водопоглощением, набуханием под вакуумом и коэффициентом водостойкости — отношением пределов прочности при сжатии водонасыщенных и сухих образцов при 20°C. Важнейшими факторами, определяющими водостойкость асфальтобетона, являются плотность смеси и водостойкость исходных материалов. В гидротехническом асфальтобетоне, к которому предъявляются более жесткие требования по водостойкости и водонепроницаемости, содержание битума и минерального порошка на 1...2% больше, чем в дорожном.

*Остаточная пористость* для всех марок асфальтобетонов 2,5...4,5% при пористости минерального остова для бетонов типов А, Б — 15...19%; В, Г — 18...22%; Д — не более 22%.

*Водонасыщение* по объему колеблется от 1,5 до 4,5%.

Основные свойства асфальтовых бетонов улучшаются добавками каучукоподобных полимеров (эластомеров): резинового порошка, бутадиенстирольного и хлоропренового каучуков, полиизобутилена и др. Каучуки в количестве 2...3% от массы битумов увеличивают интервал пластичности асфальтобетонных смесей до 100...120°C, понижают на 10...20°C температуру хрупкости, существенно повышают их эластичность в широком диапазоне температур. Асфальтополимербетоны в меньшей степени накапливают остаточные деформации при повышенных температурах и имеют большую деформативность при отрицательных температурах. Положительной особенностью асфальтовых бетонов с добавками полимеров является повышение способности поглощать упругие деформации (демпфирующая способность).

Асфальтовые мастики (горячие) наиболее распространены в строительстве. Их делят на консистентные, насыщенные наполнителями, и эмали, содержащие сравнительно небольшое количество порошка — 10...30%. В мастиках применяют порошкообразные и волокнистые наполнители. Порошкообразными наполнителями служат продукты тонкого измельчения карбонатных пород — известняка, доломита, кирпичного боя, золы от сжигания каменного угля и горючих сланцев (кукермит), цементной пыли и др.

Важными условиями, учитываемыми при выборе наполнителей мастик, являются сцепление их с битумом, *водостойкость* и при необходимости *кислото-* или *щелочестойкость*. Рекомендуемый гранулометрический состав порошков находится в следующих пределах:

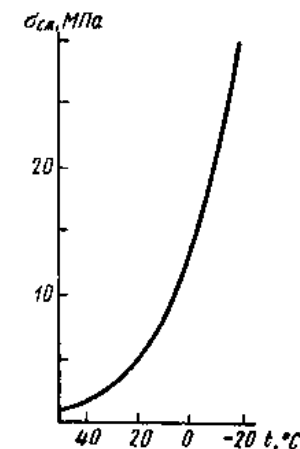


Рис. 12.6. Изменение предела прочности при сжатии асфальтобетона в зависимости от температуры

частиц мельче 0,5 мм — не менее 95%, в том числе 0,15 мм — 80% и 0,074 мм — 60%, 0,005 мм — не менее 1,5%. Волокнистым наполнителем мастик служит обычно коротковолокнистый асбест, добавка которого уже в количестве 1...2% резко повышает тепло- и трещиностойкость асфальтовых материалов. В качестве волокнистых наполнителей применяют также минеральную вату, стекловолокно, целлюлозу. Горячие битумные мастики готовят на централизованных установках или непосредственно на строительных площадках в варочных котлах с лопастными мешалками (рис. 12.7). Для пре-

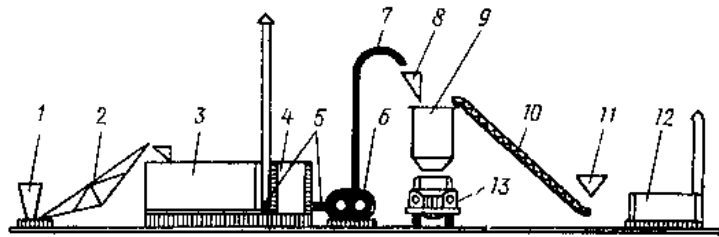


Рис. 12.7. Технологическая схема приготовления горячей битумной мастики:

1 — дробилка, 2 — транспортер, 3 — битумоплавильный котел; 4 — бункер с горячим битумом, 5 — пробковые краны, 6 — шестеренчатый насос; 7 — битумопровод; 8 — дозатор битума; 9 — смеситель; 10 — многоковшовый элеватор, 11 — дозатор наполнителя, 12 — сушило наполнителя, 13 — мастиковоз (пробковые краны, насос, битумопровод, дозатор и смеситель оборудуются паровой рубашкой)

дотвращения вспенивания битума в процессе варки добавляют пеногаситель, например полиметилсилоксановую жидкость. Наполнитель вводится порциями в расплавленное вяжущее при температуре 160...180°C.

При необходимости обеспечить требуемую температуру размягчения мастики битумное вяжущее подбирают смешиванием битумов различных марок. Содержание (%) более тугоплавкого битума

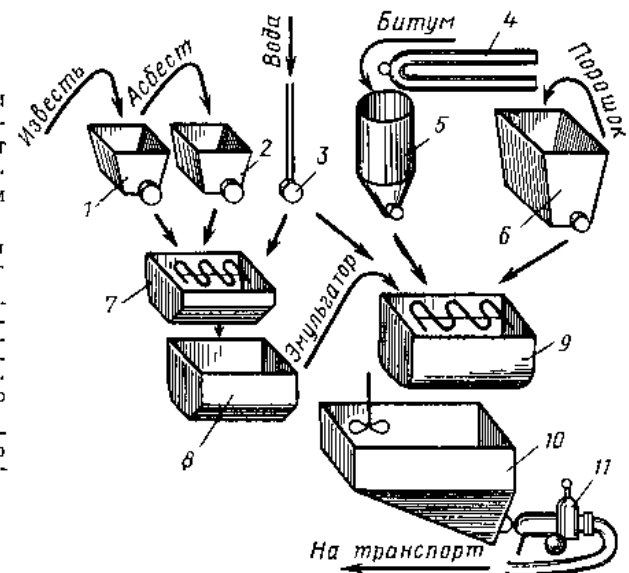
$$B_T = \frac{t - t_M}{t_T - t_M} 100, \quad (12.1)$$

где  $t$ ,  $t_T$  и  $t_M$  — температура размягчения соответственно смешанного битумного вяжущего, более тугоплавкого и менее тугоплавкого битумов.

Для приготовления битумно-резиновых мастик типа «изол» первоначально готовят битумно-резиновое вяжущее с добавкой кумароновой смолы, затем в смеситель вводят необходимое количество наполнителя и для придания биостойкости — антисептик. Готовая однородная масса гранулируется и охлаждается, а затем пропускается через вальцы и пластифицируется. Из мастики формируют жгуты или пластины, пропуская ее через шнековый смеситель. Другую битумно-полимерную мастику — полимербитум готовят сплавлением битума и низкомолекулярного полиэтилена.

Холодные битумные мастики получают на основе разжиженных и эмульгированных битумов. Они представляют собой дисперсные системы битума и наполнителя, теряющие жидкотекучее состояние по мере испарения растворителя или разбавителя. При разжижении битумов предпочтительно использование легких и средних растворителей: бензина, бензола, толуола, лигроина, уайт-спирита. Тяжелые растворители — соляровое и зеленое масла, керосин — нежелательно применять в зимний период для предотвращения сильного заустевания мастики и снижения скорости набора прочности. При получении мастики из разжиженных битумов смесь растворителя с наполнителем перемешивают с разогретым до температуры 60...75°C битумом.

Рис. 12.8. Технологическая схема приготовления битумных эмульсионных паст и мастик при эмульгировании битума в высоковязком состоянии:



1 — дозатор для известки и глины; 2 — дозатор для коротковолокнистого асбеста; 3 — дозиметрический битумопровод; 4 — дозатор для битума; 5 — дозатор для минерального наполнителя; 6 — смеситель для приготовления комбинированного эмульгатора; 7 — бункер и дозатор для эмульгатора; 8 — пастосмеситель; 9 — бункер для готовой мастики; 11 — растворонасос

Технология производства эмульсионных мастик включает две стадии: приготовление эмульсий и смешивание их с наполнителями (рис. 12.8). До введения наполнителя эмульсию разбавляют водой. Установка для приготовления эмульсионной мастики состоит из растворосмесителя, дозаторов битумной эмульсии, воды и минеральных наполнителей, вибросита для очистки эмульсии и мастики.

Разновидностью эмульсионных битумно-полимерных мастик являются битумно-латексные мастики, вяжущим в них служит смесь битумной и латексной эмульсий, смешиваемых при температуре не выше 40°C. Для достаточной устойчивости в состав эмульгатора вводят асидол-мылонафт, едкий натр, жидкое стекло и воду. При применении битумно-латексная мастика смешивается с коагулятором — хлоридом кальция.

Из битумной пасты или раствора битума и стабилизированного латекса изготавливают мастики типа «эластик». Получение этого вида битумно-полимерных мастик возможно также на основе сплава битума с латексом при последующем его растворении или эмульгировании. Латексы стабилизируют водными растворами поташа, жидкого стекла или казеина.

К битумно-полимерным относятся также холодные битумно-резиновые мастики, получаемые растворением битумно-резинового сплава с наполнителем.

Битумно-наиритовые, битумно-эпоксидные, битумно-силиконовые и ряд других битумно-полимерных мастик получают смешиванием растворов битума и соответствующих полимеров (наирит-раствор хлоропренового каучука).

● **Состав и свойства** мастик определяются их назначением. Общими требованиями к мастикам являются надежное сцепление с материалами, водо-, трещино- и теплостойкость. Для гидроизоляционных и кровельных мастик, кроме того, важное значение имеют водо- и паронепроницаемость, стойкость в минерализованных водах, атмосфере- и морозостойкость, прочность при статических и динамических нагрузках. Для приклеивающих мастик на передний план выдвигается клеящая способность, антикоррозионных — химическая стойкость.

Вид и содержание наполнителей существенно влияют на свойства мастик, особенно при значительном их количестве и переводе вяжущего в адсорбционно-связанное состояние. Оптимальное содержание наполнителей может колебаться в широком диапазоне (5 ... 70%) и зависит от требуемой консистенции и других свойств мастики.

При выборе вида мастики руководствуются строительными и технологическими особенностями, а также технико-экономическими соображениями. Горячие мастики быстро затвердевают при охлаждении, обладают высокой водостойкостью и клеящей способностью. Однако работы с применением горячих асфальтовых смесей с трудом поддаются механизации и сопряжены с рядом характерных трудностей: повышенной липкостью, необходимостью специального обогрева транспортирующих устройств и др. Холодные мастики позволяют обеспечить комплексную механизацию гидроизоляционных и кровельных работ, повысить их производительность и условия труда, создать более тонкий обмазочный слой и экономнее расходовать органическое вяжущее. Необходимая удобоукладываемость и вязкость холодных мастик легко регулируются изменением содержания растворителя или разбавителя. Особенно перспективно в настоящее время применение холодных битумно-полимерных мастик, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами и высокой долговечностью.

● **Применение.** Асфальтовые гидроизоляционные мастики применяют для наружной и внутренней гидроизоляции подземных частей

зданий и сооружений; конструкций резервуаров и других емкостей; гидроизоляции напорных поверхностей гидротехнических сооружений и герметизации деформационных швов; гидро- и пароизоляции стен и междуэтажных перекрытий помещений.

Кровельные мастики предназначены для приклеивания к основанию кровельного ковра из битумных рулонных материалов и склеивания их, устройства покровного слоя кровель, а также мастичных кровель, армированных волокнистыми стекломатериалами. Кроме того, мастичные составы применяют для крепления керамических плиток и гипсовых листов, разнообразных синтетических материалов. Битумные мастики служат и для кладки штучных кислотоупорных изделий и защиты строительных конструкций от действия разбавленных растворов кислот и щелочей, оксидов азота, сернистого газа, паров аммиака и других газов.

Дегтевые мастики применяют для наклеивания толевых и гудрокамовых материалов. Вяжущими в них могут служить сплавы дегтя, антраценового и каменноугольного масла с пеком. Температура размягчения дегтевого сплава колеблется от 45 до 65°C в зависимости от содержания и температуры размягчения пека. Введение наполнителей повышает теплостойкость мастик до 50 ... 85°C. Дегтепексовый сплав получают при температуре 140 ... 155°C, при этой же температуре его перемешивают с наполнителями. В холодных мастиках применяют разжиженные и эмульгированные дегтевые вяжущие и их смеси с полимерами.

#### § 12.4. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы

● К рулонным относятся материалы, представляющие собой полотно значительной длины, поставляемые на строительство в виде рулонов. Рулонные материалы классифицируют в зависимости от вида вяжущего, структуры и назначения. Для производства таких рулонных материалов, как рубероид, пергамин, гидроизол, применяют битумное вяжущее, изол, бризол, стекло- и фольгоизол, битумно-полимерные композиции. К дегтевым кровельным и гидроизоляционным материалам относится толь.

● По структуре различают *основные* рулонные материалы, получаемые при обработке органическими вяжущими основы (картона, стеклохолста и др.), и *безосновные*, изготавливаемые путем термомеханической обработки смесей вяжущих с наполнителями с последующей прокаткой их в полотно.

Наиболее широкое применение в строительстве находят основные материалы, полученные обработкой кровельного картона, выполняющего роль своеобразной арматуры для битумных и дегтевых вяжущих. Основные материалы, кроме того, делятся на *покровные* и *беспокровные*. При получении первых основу сначала пропитывают вяжущими, а затем наносят на нее с двух сторон покровный

слой, при получении вторых — покровный слой не наносят. Представителями покровных материалов являются рубероид и толь, беспокровных — гидроизол, пергамин. Покровный слой защищает основу от воздействия окружающей среды и улучшает физико-механические свойства материала. Рулонные материалы применяют для устройства кровель и гидроизоляции. Строгое разделение между кровельными и гидроизоляционными материалами провести нельзя, так как кровлю также можно рассматривать как разновидность гидроизоляционного покрытия. Для кровельных материалов наряду с прочностью и водостойкостью важное значение имеют атмосферо- и теплостойкость, для гидроизоляционных материалов выдвигаются дополнительные требования по водонепроницаемости, гнессино- и биостойкости и др.

Кровля из рулонных материалов состоит из нескольких слоев — кровельного ковра, укладываемого по сплошному основанию. Количество слоев кровельного ковра может быть от 2 до 5 и зависит от уклона кровли, класса зданий и климатических условий района. В наиболее сложных условиях эксплуатации находится верхний слой кровельного ковра, он раньше других слоев подвержен старению под влиянием атмосферных факторов и переменной температуры. Очевидно, что для устройства верхних слоев кровельного ковра должны применяться материалы с улучшенными физико-механическими свойствами. Для нижних слоев используют менее ответственные подкладочные рулонные материалы. Рулонные кровельные материалы применяют в основном при устройстве бесчердачных покрытий с малыми уклонами, для защитных покрытий на плоских крышах и крышах с внутренними водостоками. Битумные рулонные материалы приклеивают к основанию и склеивают между собой битумными мастиками, дегтевые — соответственно дегтевыми мастиками.

Рулонные гидроизоляционные материалы служат также для оклеечной гидроизоляции, выполняемой путем наклеивания нескольких слоев на изолируемую поверхность.

Из основных рулонных материалов наибольшее применение находит *рубероид* — материал, получаемый пропиткой кровельного картона мягкими нефтяными битумами с последующим нанесением на обе стороны полотна тугоплавкого битума с наполнителями и минеральной посыпки. В зависимости от назначения различают рубероид *кровельный* — для верхнего слоя кровельного ковра и *подкладочный* — для нижних слоев. В наименовании марки рубероида указываются его назначение, характер минеральной посыпки и марка картона. Например, рубероид кровельный с крупнозернистой посыпкой на картоне марки А-420 (числа обозначают массу 1 м<sup>2</sup> сухого картона) — РКП-420А, рубероид подкладочный с пылевидной посыпкой на картоне марки А-300 — РПП-300А. Промышленность выпускает также рубероид с *чешуйчатой* (РКЧ) посыпкой.

Основой рубероида, пергамин и толя служит кровельный картон, изготавливаемый из тряпичного волокна, макулатуры и других

отходов. Волокнистое сырье измельчают, очищают от посторонних включений, отливают, прессуют, сушат и наматывают в рулоны. Основными показателями кровельного картона являются вписываемость, время пропитки и разрывной груз.

● **Технология производства рубероида** состоит из трех основных этапов: пропитки картона, нанесения покровной массы, посыпки полотна минеральным материалом. На рубероидном агрегате (рис. 12.9) после размотки и склеивания кровельный картон, предварительно обработанный горячей битумной массой, поступает на пропитку сначала в пропиточную ванну, а затем в камеру допропитки. На поверхность пропитанного битумом полотна картона наносят с двух сторон покровный слой. Покровную массу готовят смешиванием при температуре 175 ... 200°С окисленного битума с минеральным наполнителем — тальком. Минимальная толщина покровного слоя на лицевой поверхности кровельного рубероида должна быть не менее 0,6 мм, а на нижней поверхности — 0,2 мм. Заключительным этапом технологического процесса является нанесение на обе стороны полотна рубероида посыпочных материалов. Крупнозернистая посыпка должна содержать не менее 80% зерен крупнее 0,63 мм, через сито № 025 должно проходить не более 1% материала. В пылевидной посыпке не менее 93% зерен составляют фракцию 0,05 ... 0,63 мм. Посыпочные материалы имеют температуру 100 ... 125°С, обеспечивающую частичное подплавление покровной массы. После нанесения посыпочного материала полотно рубероида охлаждается и наматывается в рулоны.

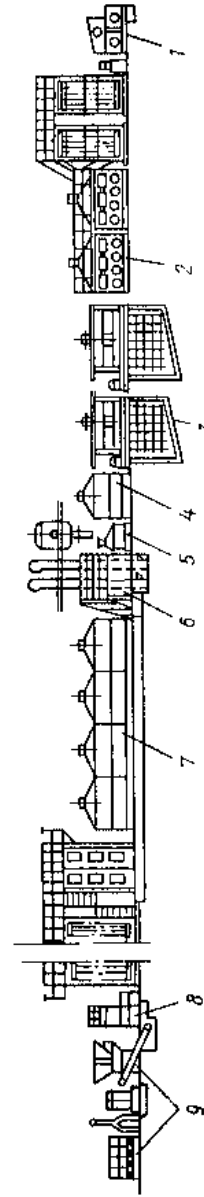


Рис. 12.9. Автоматизированная линия по производству кровельных и гидроизоляционных материалов: 1 — размоточный станок; 2 — установка для нагрева картона; 3 — пропиточное устройство; 4 — устройство для допропитки; 5 — устройство для нанесения покровного слоя; 6 — то же, что станок 5, но для нижней поверхности; 7 — установка для смешивания битума с наполнителем; 8 — станок для нанесения минеральной посыпки; 9 — станок для охлаждения и намотки рулонов.

Современный рубероидный агрегат представляет собой поточно-механизированную технологическую линию, обеспечивающую при непрерывном транспортировании картона выполнение технологиче-

Таблица 12.4. Физико-механические характеристики рубероида

Наименование рубероида	Марка рубероида	Отношение массы пропиточного битума к массе абсолютно сухого картона, не менее	Масса по кровному составу, г/м <sup>2</sup>		Средняя величина разрыва на грузах при растяжении рубероида, Н, не менее	Гибкость при изгибании по полукривости стержня диаметром, мм, при °С
			с нижней стороны, не менее	с верхней стороны, не менее		
1	2	3	4	5	6	7
Рубероид кровельный с крупнозернистой посыпкой	РКК-420А	1,40 : 1	200	800	340	30/18
	РКК-420Б	1,25 : 1	200	600	340	30/25
	РКК-350Б	1,25 : 1	200	600	320	30/25
Рубероид кровельный с чешуйчатой посыпкой	РКЧ 350Б	1,25 : 1	200	600	320	30/25*
Рубероид кровельный с пылевидной посыпкой	РКП-350А	1,40 : 1	200	700	280	30/25
	РКП-350Б	1,25 : 1	200	600	280	30/18
Рубероид подкладочный с пылевидной посыпкой	РПП-300А	1,40 : 1	300	300	220	20/18
	РПП-300Б	1,30 : 1	250	250	220	20/18
Рубероид подкладочный с пылевидной посыпкой, эластичный	РПЭ	1,35 : 1	300	300	230	20/—2

Примечание. Температура размягчения по методу «кольцо и шар» для пропиточного битума всех марок должна быть 40...50 °С, кровного состава — не ниже 85 °С; \* В числителе — диаметр стержня, в знаменателе — температура испытаний.

ского процесса при высоком уровне механизации и автоматизации трудоемких операций. В настоящее время внедрены автоматизированные технологические линии по производству рубероида производительностью 50 млн. м<sup>2</sup> в год.

На рубероидных агрегатах кроме рубероида изготавливают перга-

мин — беспокровный рулонный материал, получаемый пропиткой кровельного картона нефтяными битумами. Пергамин служит подкладочным материалом для кровельного ковра и применяется главным образом для кровель временных строений и пароизоляции. Имея самостоятельное значение, пергамин вместе с тем является промежуточным продуктом при получении рубероида. В этом случае полотно пергамина дополнительно проходит через покрывную ванну и установку для посыпки и охлаждения.

Качество рубероида оценивается комплексом показателей: отношением массы пропиточного битума к массе сухого картона; массой кровельного состава, водопоглощением, водонепроницаемостью, механической прочностью, гибкостью (табл. 12.4).

Улучшенные свойства имеет рубероид с эластичным покровным слоем. Этот материал содержит в покровном слое 4...6% резиновой крошки, предварительно растворенной в битуме БНК 90/40, благодаря чему повышаются атмосферостойкость и эластичность. Применение этого материала увеличивает в 2 раза срок службы кровли в районах с холодным климатом. Эффективно применение в строительстве также наплавленного рубероида, на поверхность которого поверх покровной массы в заводских условиях наносят дополнительно слой битумной мастики. Рулонный ковер из наплавленного рубероида наклеивают, подплавляя мастичный слой с помощью специальных газоздушных горелок или других средств нагрева.

Гидроизоляционные свойства рулонных материалов коренным образом улучшаются при замене кровельного картона гнилостойкими материалами — асбестовым картоном, стекловолокнистым холстом, алюминиевой фольгой.

При пропитке асбестового картона нефтяными битумами получают беспокровный рулонный материал — гидроизол. Гидроизол выпускают двух марок: гидроизоляционный (ГИ-Г) и кровельный (ГИ-К). Он предназначен для гидроизоляции подземной части зданий и сооружений, антикоррозионной защиты металлических трубопроводов. Кровельный гидроизол применяют при гидроизоляции плоских кровель.

Технологической особенностью производства гидроизола является пропитка полотна в ваннах периодического действия револьверного типа, а не непрерывного, как при получении пергамина и рубероида. Это обусловлено сравнительно низкой впитывающей способностью асбестового картона. Для предотвращения слипания гидроизола в рулонах поверхность его посыпают слоем талька. В табл. 12.5 приведены для сравнения физико-механические показатели двух беспокровных материалов — гидроизола и пергамина. Обращает внимание значительно более низкое водопоглощение гидроизола, его повышенные прочность и водонепроницаемость.

Нанесением битумного или резинобитумного вяжущего на стекловолокнистый холст получают соответственно стеклорубероид и стеклоизол. Стеклорубероид применяют как для устройства кро-

вельного ковра, так и для клеечной гидроизоляции. Стеклоизол используют в ответственных случаях для устройства гидроизоляционных покрытий. Кровельный стеклорубероид выпускают двух марок: с крупнозернистой С-РК и с чешуйчатой С-ЧК посыпкой с лицевой стороны. Гидроизоляционный стеклорубероид имеет мелкую или пылевидную посыпку с двух сторон. В последнее время промышленность освоила выпуск утяжеленного стеклорубероида марок К-1 и Г, предназначенного для особо ответственной гидроизоляции туннелей метрополитенов, мостов, гидротехнических сооружений. Его получают нанесением битумной пасты на биостойкую штательную стеклоткань.

Таблица 125. Свойства пергамин и гидроизол

Наименование показателей	Пергамин	
	Пергамин	Гидроизол
Температура размягчения пропиточной смеси, °С	40-50	48-55
Отношение массы пропиточного битума к массе абсолютно сухого картона, не менее	1,25:1	0,56-0,53
Водопоглощение через 24 ч, %, не более	20	6-10
Средняя величина нагрузки при растяжении сухих образцов в продольном направлении, кгс, не менее, Н	270	350-300
Водонепроницаемость под давлением столба воды высотой 5 см, сут, не менее		30-20

**Нормируемые показатели стеклорубероида:**

Температура размягчения битумного вяжущего, °С, не менее	85
Температура хрупкости битумного вяжущего, °С, не более	-15
Общая масса вяжущего, г/м <sup>2</sup> , не менее	2100
Содержание пылевидного наполнителя по отношению к общей массе битумного вяжущего, %, не менее	20
Водопоглощение, г/м <sup>2</sup> , не более	25
Разрывной груз при растяжении образцов в продольном направлении, Н, не менее	300
Температуростойкость, °С, не менее	80

Разновидностью гидроизоляционных материалов, армируемых стекловолокном, является *армобитеп*. На стеклохолст, стекловолокно или стеклоткань с двух сторон наносят утолщенный слой битумно-каучуковой мастики с крупно- или мелкозернистой посыпкой. Этот материал отличается повышенной температуростойкостью, морозостойкостью и гибкостью.

К высококачественным гидроизоляционным материалам относится *фольгоизол* — рулонный материал, состоящий из тонкой фольги, покрытой с нижней стороны слоем битумно-резинового или полимербитумного вяжущего, смешанного с минеральным наполни-

телем и антисептиком. Так же как и стеклорубероид, фольгоизол по назначению подразделяют на *кровельный* и *гидроизоляционный*. Отличительные особенности фольгоизола — низкое водопоглощение (не более 4 г/м<sup>2</sup>), высокая водонепроницаемость (не менее 0,2 МПа) и температуростойкость (не менее 100...110°С). Эти особенности позволяют применять фольгоизол для верхних слоев кровельного ковра зданий, расположенных во всех климатических зонах страны, защитного слоя теплоизоляции трубопроводов, для уплотнения деформационных швов.

Таблица 126. Свойства толя

Наименование показателей	Нормы для марок					
	ТГ-300	ТГ-350	ГКП-350	ТКП-400	ТКК-350	ТКК-400
Температура размягчения пропиточного состава, °С	45-48		38-42		26-28	
Средняя разрывная нагрузка при растяжении образцов, Н, не менее	490	5890	2740	2940	2740	2940
Водопоглощение, % по массе, не более		20				12
Водонепроницаемость при давлении на образец 0,04 МПа, миц, не менее	30	10	5			10

С применением легких вяжущих изготавливают *кровельный* и *гидроизоляционный толь*. Производство толя осуществляют аналогично производству рубероида. Толь кровельный с крупнозернистой посыпкой ТКК-350 и ТКК-400 получают с применением кровельного слоя из тугоплавких дегтевых продуктов с наполнителем. На лицевую сторону впрессовывают слой крупнозернистой посыпки, на нижнюю — мелкозернистой или пылевидной. При получении кровельного толя с песчаной посыпкой (ТКП-400 и ТКП-350) на обе стороны полотна наносят кровельную пленку пропиточного состава и слой кварцевого песка. Толь гидроизоляционный после пропитки дегтевыми материалами обрабатывают мелкозернистой минеральной посыпкой.

Нормируемые показатели физико-механических свойств толя приведены в табл. 12.6.

Толь применяют для устройства кровель временных сооружений, пароизоляции, в качестве подкладочного материала, гидроизоляции фундаментов.

Главными представителями группы безосновных материалов являются *изол* и *бризол*, получаемые прокатом смеси битумно-резинового вяжущего, асбестовых волокон и добавок (пластификаторов, антисептиков и др.). Изол и бризол — материалы, близкие по составу и технологии. В состав сырьевой массы изола входят: 25...30% резиновой крошки, 20...25% битума БНД 40/60, 28...30% битума БН 90/10 или рубракса, 25...30% асбеста 7-го сорта, 1...2% кумаро-



новой смолы и до 1% креозота. Бризол получают из смеси 52...58% битума БН 70/30, 22...30% резиновой крошки, 12...20% асбеста 7-го сорта и 1...5% озокерита. Возможны и несколько другие соотношения компонентов. При изготовлении бризола эффективно введение добавок полиизобутилена и полиэтилена.

Технологический процесс получения изола и бризола состоит из следующих основных операций: дробления изношенной резины в крошку, смешивания ее с битумом, наполнителями и пластификаторами в смесителе, где происходит при температуре 150...200°C девулканизация резины, частичное растворение ее в битуме и образование битумно-резинового вяжущего, пластификации массы на вальцах и прокатки ее в полотнища с последующей обрезкой кромок, посыпки полотна тальком и свертывания в рулоны (рис. 12.10).

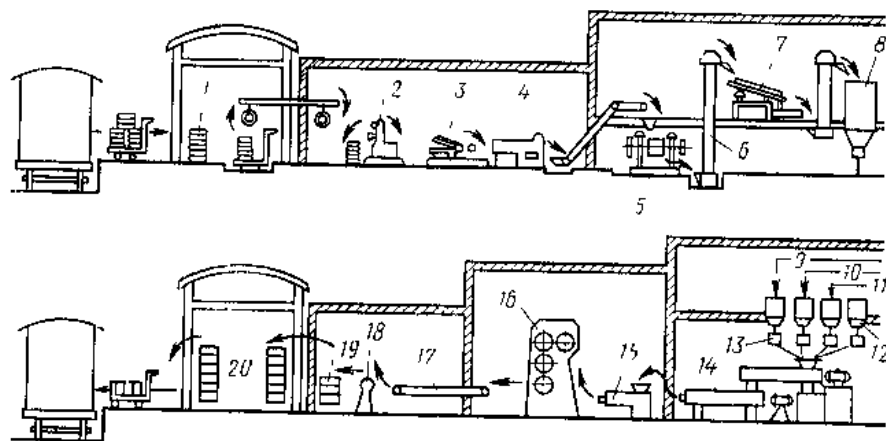


Рис 12.10. Технологическая схема производства бризола:

1 — склад и развеска старых покрышек; 2 — борторез; 3 — механические ножницы; 4 — шинорез; 5 — дробильные вальцы; 6 — элеватор; 7 — вибрационная сепарка; 8 — бункер заласа дробленой резиновой крошки; 9 — бачок для предварительного плавления битума; 10 — бачок для плавления озокерита; 11 — расходный бункер для асбеста 7-го сорта; 12 — то же, для дробленой резины; 13 — мерники; 14 — шнековый смеситель для варки и смешения битумно-резиновой смеси; 15 — шприц-машинка; 16 — каландр; 17 — усадочный конвейер; 18 — закаточная стойка; 19 — промежуточный склад каландрованных рулонов бризола; 20 — склад готовой продукции

Изол и бризол выгодно отличаются от ряда основных рулонных материалов повышенной деформативной способностью и эластичностью. Изол изготовляют двух марок (табл. 12.7): без добавок (И-БД) и с полимерными добавками (И-ПД). Для последнего характерны более высокие механическая прочность, эластичность, пониженное водопоглощение.

Бризол делят на две марки в зависимости от прочности и температуры воздуха, при которой возможно его применение: средней прочности (Бр-С) — 5...+30°C; повышенной прочности (Бр-П) — 5...+45°C.

Рулонный изол применяют для оклеечной гидроизоляции стен подвалов, подземных сооружений, фундаментов, бассейнов. Основное назначение бризола — антикоррозионная защита подземных металлических трубопроводов. Изол и бризол приклеивают битумно-резиновыми или битумными мастиками. При соприкосновении с горячими мастиками прочность этих материалов понижается, при этом возможно образование разрывов. Вследствие повышенной ползучести на вертикальных поверхностях может иметь место деформирование (оплывание) битумно-резиновых материалов.

Таблица 12.7. Свойства изола и бризола

Наименование показателей	Нормы для			
	изола		бризола	
	И-БД	И-ПД	Бр-С	Бр-П
Предел прочности при разрыве, МПа, не менее	0,55	0,6	0,8	1,5
Относительное удлинение, %	70	80	70	72
Остаточное удлинение, %, не более	25	30	15. 35	15. 33
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	22	18	—	—
Гибкость на стержне диаметром 10 мм при температуре, °С	—15	—20	—5	—15
Температуроустойчивость, °С	50	50	—	—
Эластичность по количеству двойных перегибов, не менее	—	—	10	12

В последние годы в производство внедрены полимердегтебитумные (ПДБ) и полимердегтерезинобитумные (ПРДБ) пленки, применяемые для гидроизоляции магистральных газо- и нефтепроводов. Полимерным компонентом сырьевой массы служит смесь полиизобутилена и полиэтилена. Пленки изготовляют с помощью двухвалных шнековых смесителей или прокатом. Для пленок характерны высокая механическая прочность, био- и термостойкость, долговечность.

Новый рулонный полимерный материал *гидробутил*, приготовляемый на основе бутилкаучука и хлорсульфополиэтилена, сохраняет прочность и эластичность в диапазоне температур —50...+100°C, позволяет заменять многослойные рулонные ковры на однослойные, повышает производительность труда в 2...4 раза. Гидробутил имеет прочность при разрыве не менее 1,5 МПа и относительное удлинение не менее 300%.

? 1 В чем состоит специфика свойств битумных и дегтевых вяжущих и каковы особенности их твердения? 2. Как получают окисленные битумы? 3. В чем сущность процессов старения битумов и дегтев? 4. Как готовят асфальтобетонные смеси? 5. Перечислите рулонные гидроизоляционные материалы. 6. Какие требования предъявляют к рулонным кровельным материалам? 7. Особенности технологии изготовления изола.

## § 13.1. Общие сведения

● Полимерными материалами или пластмассами называют материалы, полностью или частично состоящие из полимеров — высокомолекулярных органических соединений, обладающих на определенной стадии их переработки пластичностью. Пластмассы можно отнести к композиционным материалам. Полимеры в них выполняют роль связующего вещества. Кроме них в состав пластмасс входят наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, красители и другие компоненты.

Наполнители прежде всего снижают расход полимеров и стоимость полимерных материалов, улучшают ряд механических свойств, снижают усадочные деформации. Наполнителями могут быть как органические, так и неорганические порошкообразные или волокнистые материалы — мел, тальк, кварцевая мука, асбест, стекловолокно, древесный шпон, бумага, хлопчатобумажная, стеклянная ткань и др. Наполнители могут активно взаимодействовать с полимерами, улучшая структуру пластмасс. Пластификаторы улучшают формуемость пластмасс, снижают их хрупкость и жесткость. Пластификаторами часто служат сложные эфиры спиртов и кислот, камфора, глицерин и т. д. Механизм их действия сводится к ослаблению связей между звеньями и молекулами полимера, что приводит к повышению гибкости и эластичности последних, увеличению ударной вязкости и деформативной способности пластмасс. Стабилизаторы способствуют длительному сохранению свойств пластмасс в процессе их изготовления и эксплуатации. Они предотвращают или замедляют процессы старения полимеров при тепловом или световом воздействии (термо- и фотостабилизаторы). Отвердители переводят полимеры в неплавкое и нерастворимое состояние. Красящие вещества, или пигменты, служат для получения цветных пластмасс. В пластмассы вводят при необходимости также *смазывающие вещества* для предотвращения прилипания при формовании изделий, *порообразователи* — для получения пластмасс с пористой структурой (пено- и поропластов), *антипирены* — для повышения стойкости против возгорания.

Пластмассы классифицируют по составу, способу получения, физико-механическим свойствам и назначению.

● В зависимости от состава пластмассы разделяют на *ненаполненные, наполненные и газонаполненные*. Ненаполненные пластмассы состоят только из полимеров и некоторых добавок, наполненные содержат наполнители, а газонаполненные имеют структуру с большим количеством пор, заполненных воздухом или другим газом. Примерами ненаполненных пластмасс являются *органические стекла, полиэтиленовая пленка*, наполненных — *рулонные и погонажные поливинилхлоридные изделия, стеклопластики, газонаполненных — пено- и поропласты*. Наиболее распространены в строительстве пластмассы, наполненные порошком, волокнистыми наполнителями (волокниты), хлопчатобумажными тканями (текстолиты), древесным шпоном (древеснослойные пластики), тканью из стекловолокна (стеклопластики) и др.

● В зависимости от *вязкоупругих свойств* выделяют *жесткие, полужесткие, мягкие и эластичные пластмассы*. Жесткие, полужесткие и мягкие пластмассы называют также *пластиками*, эластичные — *эластиками*. Жесткие пластмассы (*фено- и аминопласты, глифталевые пластмассы*) имеют сравнительно высокий модуль упругости (более 1000 МПа), они хрупко разрушаются с незначительным удлинением при разрыве. Полужесткие пластмассы (*полипропилен, полиамиды*) имеют промежуточные значения модуля упругости (более 400 МПа), остаточные деформации их обратимы и полностью исчезают при нагревании. Для мягких пластмасс (поливинилацетат, полиэтилен) характерны низкий модуль упругости (20...100 МПа) и высокое относительное удлинение при разрыве. Эластичные пластмассы имеют модуль упругости менее 20 МПа, деформации их в основном обратимы при нормальной температуре. К эластикам относятся каучуки, полиизобутилен. По мере изменения температуры различия между пластиками и эластиками уменьшаются.

● В зависимости от *способа получения полимеров* пластмассы делят на четыре класса: *полимеризационные* (класс А), *поликонденсационные* (класс Б), *полученные модификацией природных полимеров* (класс В), *переработкой природных смол и других органических веществ* (класс Г). В строительстве распространение получили пластмассы на основе синтетических полимеров классов А и Б.

● По *поведению при нагревании* пластмассы делят на *термопластичные и терморезистивные*. Термопластичные материалы — термопласты (*полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол* и др.), способные многократно при нагревании размягчаться, а при охлаждении затвердевать. Терморезистивные материалы (*реактопласты*) при нагревании или на холоде структурируются и переходят в неплавкие, нерастворимые продукты. В отличие от термопластов реактопласты (пластмассы на основе эпоксидных, полиэфирных и других полимеров) имеют более высокую прочность и теплостойкость.

● В зависимости от *назначения* строительных пластмасс выделяют материалы для *покрытия полов, отделки стен, конструкционные,*

теплоизоляционные, гидроизоляционные материалы для трубопроводов, санитарно-технических изделий и др.

Промышленность полимерных строительных материалов относится к числу молодых, интенсивно развивающихся отраслей народного хозяйства. Капитальные вложения в эту отрасль в 2...3 раза меньше по сравнению с производством традиционных материалов. Для строительства особенно важны *легкость пластмасс при их значительной прочности, стойкость к коррозионным воздействиям, низкая теплопроводность, декоративность*. Каждая тонна пластмасс позволяет экономить 5,6 т стали, 3,5 т цветных металлов, 485 руб. капитальных вложений и 510 руб. трудозатрат. Применение полимерных материалов — одно из эффективных направлений улучшения качества строительства, снижения массы зданий и сооружений, повышения заводской готовности сборных элементов. Важной особенностью пластмасс является их способность легко перерабатываться в изделия необходимой формы и размеров, что способствует комплексной механизации и автоматизации производства.

Пластмассы легко *свариваются и склеиваются* как между собой, так и с разнородными материалами. Это позволяет изготавливать из них комбинированные клееные изделия и конструкции, механизировать монтажные работы.

При оценке полимерных строительных материалов необходимо учитывать и их недостатки — относительно *невысокую теплостойкость, высокий температурный коэффициент расширения, повышенные ползучесть, горючесть* и др.

Применение строительных пластмасс эффективно при учете конкретных условий их эксплуатации, технологических особенностей возведения зданий и сооружений.

### § 13.2. Синтетические полимеры

● **Полимеры** — это высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из многократно повторяющихся звеньев. Молекулярная масса макромолекул полимеров превышает обычно 5000, в то время как для низкомолекулярных веществ она обычно менее 500. Низкомолекулярные соединения, образующие полимеры, называют *мономерами*. Вещества с молекулярной массой 500...5000 носят название *олигомеров*.

Полимеры классифицируют в зависимости от состава и строения макромолекул, способа их получения.

● По **составу** полимеры делят на *карбоцепные, гетероцепные и элементоорганические*. В карбоцепных полимерах (*полиэтилен, полипропилен* и др.) макромолекулярные цепи состоят лишь из углеродных атомов, в гетероцепных (*полиэфир, эпоксидные полимеры, полиуретаны*) они включают также атомы кислорода, серы, азота, галогенов, а в элементоорганических — элементы, не входящие в

состав природных органических соединений, — олова, алюминия, кремния и др.

Макромолекулы, построенные из одинаковых мономеров, называют *гомополимерами*, а содержащие несколько типов мономерных звеньевых — *сополимерами*. При соединении мономерных звеньев в виде длинных цепей без боковых ответвлений получают *линейные* полимеры; при наличии боковых ответвлений — *разветвленные*; полимеры, образующие трехмерную сетку, называют *сетчатыми* или *пространственными*.

Синтетические полимеры получают с помощью реакций *полимеризации* и *поликонденсации*. Полимеризация — это реакция соединения мономера без выделения побочных продуктов. Элементарный состав мономеров и полимеров, образованных полимеризацией, одинаков. При полимеризации в низкомолекулярных соединениях происходит разрыв кратных связей или размыкание циклов и последующее соединение образованных звеньев в цепи. Различают в зависимости от механизма процесса цепную и ступенчатую полимеризацию. При цепной полимеризации процесс развивается в три стадии: возбуждение мономера с образованием активных радикалов, рост цепи и ее обрыв. Возбуждение мономеров можно вызывать нагреванием, световыми лучами, ионизирующими излучениями, добавками инициаторов и катализаторов. Соответственно различают термическую, фотохимическую, радиационную и иницированную полимеризацию. Наиболее распространена иницированная полимеризация. При ее проведении к мономерам добавляют 0,1...1% по массе добавки инициаторов: перекисей, гидроперекисей, азотосоединений и др. Инициаторы в условиях реакции легко распадаются с образованием свободных радикалов. С помощью цепной полимеризации синтезируют полиэтилен, простые полиэфир, инден-кумароновые и другие полимеры. Ступенчатая полимеризация происходит в результате постепенного присоединения молекул мономера за счет миграции подвижного атома от одной молекулы к другой. Таким способом получают полиуретаны, полиамиды, полиэпоксиды.

*Полимеризационные полимеры* изготавливают блочным способом, в растворе, эмульсии, суспензии и в газовой фазе. При блочном способе полимеризация протекает непосредственно в массе мономера обычно с добавкой инициатора без перевода его в раствор, эмульсию или суспензию. В результате образуется монолитная масса твердого или расплавленного полимера (блок). Таким способом получают, например, органические стекла из полиметилметакрилата. Недостатком блочной полимеризации является возможная неоднородность полимера по молекулярной массе в результате неравномерного распределения температуры в блоке. При полимеризации в растворе мономера полимер выпадает в осадок или образуется в виде раствора (лака). В результате более низкой концентрации мономера полимеры, образованные этим способом, имеют меньшую молекулярную массу.

В промышленности чаще всего полимеризацию осуществляют в *эмульсиях* и *суспензиях*. Для получения устойчивых водных эмульсий и суспензий мономеров в воде используют добавки эмульгаторов. При эмульсионной полимеризации полимеры образуются в виде эмульсии или латекса, который коагулируется с помощью электролитов, выпадает в осадок и отделяется. При суспензионной полимеризации степень диспергирования мономера меньше, частицы образующегося полимера более крупные.

В газовой фазе могут полимеризоваться обычно под высоким давлением газообразные мономеры, например этилен.

Поликонденсация — реакция образования высокомолекулярных соединений, сопровождающаяся выделением низкомолекулярных продуктов, вследствие чего элементарный состав образующегося полимера отличается от элементарного состава исходных веществ. Поликонденсацию осуществляют в расплаве, растворе, эмульсии, суспензии и в твердой фазе. Поликонденсацией получают фенолальдегидные, карбамидные, фурановые, эпоксидные и другие полимеры.

Основным сырьем для производства полимеров являются углеводороды, получаемые из нефти, а также природные газы и продукты углеродной переработки.

Полимеризационные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полистирол, поливинилхлорид, поливинилацетат, полиакрилаты, полиуретаны, инден-кумароновые полимеры) наиболее широко применяют при производстве строительных изделий.

*Полиэтилен* получают полимеризацией этилена  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  — газообразного продукта переработки нефти или каменного угля. Применяют три метода производства полиэтилена — *высокого, среднего и низкого давления*. Полиэтилен высокого давления получают при температуре 240...285°C и давлении 150...300 МПа с использованием инициаторов — кислорода и перекисных соединений. Он имеет более низкую температуру плавления и меньшую плотность, чем при других способах получения. Полиэтилен низкого давления получают при температуре не выше 80°C, при давлении 0,25...0,5 МПа в среде растворителя (бензина) и присутствии катализаторов. Он более хрупок и в большей мере склонен к старению, чем полиэтилен высокого давления. Полиэтилен среднего давления — продукт реакции при температуре 130...160°C и давлении 3...4 МПа. Основные свойства полиэтилена, полученного различными способами, приведены в табл. 13.1.

Полиэтилен — термопластический полимер, нерастворимый в растворителях при нормальной температуре, устойчивый к щелочам, солям и кислотам, кроме концентрированных азотной и серной кислот. Полиэтилен — один из наиболее легких полимеров, при нагревании до температуры, близкой к температуре плавления, он приобретает способность вытягиваться в нить и формоваться. Легко сваривается и обрабатывается различными видами механической

обработки. Недостатки полиэтилена — низкая теплостойкость, подверженность старению, плохая склеиваемость. Для большей стойкости к окислительным процессам и атмосферным воздействиям в полиэтилен вводят различные стабилизаторы. При введении в полиэтилен, например, 2% сажи срок службы его в атмосферных условиях увеличивается в 30 раз. Полиэтилен занимает одно из первых мест в производстве труб, пленок, листов, пенопластов, погонажных и других изделий.

Таблица 13.1. Свойства полиэтилена

Наименование показателей	Полиэтилен		
	высокого давления	низкого давления	среднего давления
Молекулярная масса, тыс. ед.	30 400	100 800	50 600
Степень кристалличности, %	55 65	75...85	85 90
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	910 930	940 950	950 970
Температура плавления, °C	105 115	120 125	30 35
Прочность при растяжении, МПа	12...16	22 32	25 40
Твердость по Бринеллю, МПа	1,5 2,5	4 6	5,5 6,5

*Полипропилен* — продукт полимеризации газа пропилена, выделяемого при крекинге нефти. Технологический процесс производства полипропилена близок к производству полиэтилена низкого давления. Полипропилен отличается большей жесткостью, чем полиэтилен, высокой ударной вязкостью, твердостью. Плотность полипропилена 600...900 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении 30...35 МПа, относительное удлинение при разрыве 400...800%, теплостойкость 105...110°C (по Вику). По сравнению с полиэтиленом полипропилен имеет более высокую термическую стойкость. Полипропилен применяют аналогично полиэтилену.

*Полиизобутилен* — каучукоподобный эластичный материал, получаемый полимеризацией газа изобутилена. Свойства полиизобутилена изменяются в зависимости от молекулярной массы. При сравнительно небольшой молекулярной массе этот материал находится в студнеобразном состоянии и хорошо растворим, по мере ее увеличения растут прочность, твердость, температура текучести. Промышленность выпускает пять марок полиизобутилена: П-200, П-155, П-118, П-85 и П-20 (цифры указывают среднее значение молекулярной массы в тыс. ед.). В отличие от каучуков полиизобутилен не способен вулканизироваться. Плотность полиизобутилена 910...930 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении 2...5 МПа, относительное удлинение при разрыве 500...1000%. Полиизобутилен может быть использован в диапазоне —60...100°C. Применяют его как гидроизоляционный материал, для герметизации швов в бетонных и железобетонных конструкциях, при изготовлении клеев и мастик.

**Полистирол** — продукт полимеризации жидкого стирола, образующего при пиролизе нефти или сухой перегонке угля. Плотность полистирола 1050 ... 1080 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении 35...40 МПа, относительное удлинение при разрыве 1,5%, механическая прочность и хрупкость сравнительно невысоки, удельная ударная вязкость 12 ... 20 кДж/м<sup>2</sup>. Для устранения хрупкости полистирол совмещают с синтетическими каучуками. К недостаткам полистирола относятся его сравнительно низкая теплостойкость (80°C) и легкая воспламеняемость. Полистирол широко применяют для получения пенопласта. Из него изготавливают плитки и листы для облицовки стен и другие изделия.

**Поливинилхлорид** — продукт полимеризации винилхлорида (хлористого винила)  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ , получаемого гидрохлорированием ацетилена и другими способами. Средняя плотность поливинилхлорида 1350 ... 1460 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при растяжении 45 ... 70 МПа, относительное удлинение при разрыве 5 ... 40%. Благодаря высокому содержанию хлорида поливинилхлорид не воспламеняется и практически не горит. При 125 ... 155°C начинается его разложение с выделением хлористого водорода. Для поливинилхлорида характерны также высокие электро- и теплоизоляционные свойства. На основе поливинилхлорида выпускают как жесткие пластмассы, не содержащие пластификаторов (винипласт), так и мягкие пластифицированные пластмассы (пластикат и др.). Из поливинилхлорида изготавливают линолеумы, плитки для полов, погонажные изделия, трубы, отделочные и гидроизоляционные пленки, пенопласты и др. Продукт хлорирования поливинилхлорида — перхлорвинил — применяют в производстве лакокрасочных антикоррозионных материалов.

**Поливинилацетат** получают полимеризацией винилацетата  $\text{CH}_2=\text{CHOC}_2\text{H}_5$ . В строительстве поливинилацетат применяют обычно в виде водной непластифицированной или пластифицированной эмульсии. Твердый поливинилацетат имеет низкие физико-механические свойства и используется весьма ограниченно — при изготовлении водоэмульсионных красок, полимерцементных бетонов, в производстве водостойких обоев и в качестве клея. Покрытия из поливинилацетатной эмульсии чувствительны к воде, водостойкость повышается при введении пластификаторов и стабилизаторов.

**Полиакрилаты** получают полимеризацией акриловой и метакриловой кислот и их производных. Наиболее широко применяют полимеры эфиров акриловой и метакриловой кислоты: полиметилакрилат, полиэтилакрилат, полибутилакрилат и полиметилметакрилат. Полиакрилаты — прозрачные бесцветные продукты. Акриловые полимеры — эластичные материалы с относительно низкой прочностью. Применяются они в основном для изготовления пленок, клеев и пропитки тканей. Метакриловые полимеры имеют большую стой-

кость по отношению к воде, химическим реагентам, а также действию теплоты. Полиметилметакрилат — органическое стекло, по сравнению с обычным стеклом менее хрупко, легко обрабатывается. Полиметилметакрилат имеет прочность при изгибе 80...140 МПа, растяжении 78 МПа, ударную вязкость 11,8 кДж/м<sup>2</sup>, размягчается при 100°C.

**Инден-кумароновые полимеры** — смеси продуктов полимеризации жидких близких по свойствам мономеров — индена и кумарона. В зависимости от вида исходного сырья и условий полимеризации инден-кумароновые полимеры отличаются по цвету (от коричневого до желтого), температуре размягчения (60 ... 140°C), плотности (1050 ... 1200 кг/м<sup>3</sup>). Инден-кумароновые полимеры применяют в производстве лаков, линолеума, клеящих и пропитывающих составов. При пластифицировании маслами или жирными кислотами из них изготавливают асбестосмоляные и асбестокумаровые плитки.

**Поликонденсационные полимеры** (в основном фенолальдегидные, полиэфирные, фурановые, эпоксидные и кремнийорганические полимеры) используют для изготовления строительных пластмасс.

**Фенолальдегидные полимеры** являются продуктами поликонденсации фенолов с альдегидами. Этот вид синтетических полимеров первым получил промышленное значение. На его основе изготавливают обширную группу пластмасс — фенопласты. В качестве фенольного сырья для производства фенолальдегидных полимеров применяют фенол, крезол, ксиленол и резорцин, а альдегидного — формальдегид, фурфурол, уротропин, лигнин. В зависимости от вида исходных компонентов, их молярного соотношения и кислотности среды получают либо термопластичные (новолачные), либо термореактивные (резольные) полимеры. Новолачные полимеры применяют весьма ограниченно и по основным техническим свойствам они уступают резольным. Резольные полимеры представляют собой твердые или жидкие продукты, при хранении в условиях нормальной и особенно повышенной температуры переходящие в неплавкое, нерастворимое состояние. Для производства строительных материалов получили широкое распространение жидкие резольные полимеры. Их применяют для изготовления слоистых пластиков, древесностружечных плит, изделий из минеральной ваты, плиток для полов, труб, пено- и сотовых пластмасс. К фенолоформальдегидным полимерам близки аминокформальдегидные (мочевинно- и меламинаформальдегидные) полимеры, изготавливаемые в виде водных растворов или эмульсий. Они способны отверждаться как на холоде, так и при нагревании. Отверждение ускоряется в присутствии катализаторов — кислот, кислых солей и эфиров.

✓ **Полиэфиры** — продукты взаимодействия многоосновных кислот с многоатомными спиртами. Возможно получение термопластичных и термореактивных полиэфиров. Из термопластичных полиэфиров наибольшее значение имеет полиэтилентерефталат (лавсан), а тер-

морепрочных — алкидные (глифталевые и гликолевые) полимеры. В строительстве применяют в основном алкидные полимеры, получаемые поликонденсацией глицерина с фталевым ангидридом. Алкидные полимеры выпускают в виде растворов и применяют в производстве лаков, эмалей, клеев, линолеума, полимербетона.

**Фурановые полимеры** образуются поликонденсацией фурановых соединений (фурфурола, фурилового спирта и ацетона). В строительстве находят преимущественное применение полимеры, получаемые из жидкого фурфуролацетонового мономера ФА. Мономер ФА в присутствии бензосульфокислоты или при нагревании до 75 ... 100 °С переходит в неплавкое и нерастворимое состояние. Особенности фурановых полимеров являются высокая химиче-

конденсации алкилхлорсиланов ( $R_3SiCl$ ,  $R_2SiCl_2$ ,  $R_3SiCl$ ) и эфиров ортокремниевой кислоты. Положительные особенности кремнийорганических полимеров — повышенная атмосферо-, свето- и теплоустойчивость (более 200 °С). Механическая прочность их невысока в результате сравнительно небольшой величины сил межмолекулярного взаимодействия. Кремнийорганические полимеры применяют в виде жидкостей для гидрофобизации поверхностей различных строительных материалов, изготовления пенопластов, пропиточных составов, лаков, красок, герметизирующих паст, клеев, слоистых пластиков и т. д.

### § 13.3. Способы получения строительных изделий из пластмасс

Процесс получения изделий из пластических масс включает подготовку исходных компонентов, их смешивание и формование. Подготовка исходных компонентов состоит в измельчении материалов и получении наполнителей, при необходимости в сушке, сортировке и других операциях.

● **Приготовление композиций.** Полимерные композиции могут быть в виде пресспорошков, прессматериалов с волокнистым и листовым наполнителями и т. п. Для смешивания компонентов применяют смесители периодического и непрерывного действия. Сыпучие материалы смешивают с помощью барабанных, центробежных, вибрационных и других смесителей. Для смешивания пастообразных материалов используют лопастные, дисковые, якорные и другие смесители.

Получение пресс-порошков на основе твердых полимеров осуществляют *вальцевым* или *экструзионным способом*, а на основе растворов и эмульсий — *эмульсионным* или *лаковым способом*.

При *вальцевом способе* сырье дробят, просеивают через вибросита и направляют в смеситель, куда загружают также полимер. После перемешивания до необходимой однородности смесь подвергают вальцеванию (пластикации), в процессе которого полимеры расплавляются и пропитывают наполнители. Качество пресс-порошка зависит от температуры валков, продолжительности вальцевания, величины зазора между валками. После вальцевания материал тонко измельчают, дополнительно перемешивают и расфасовывают в тару.

При *экструзионном способе* пластификацию осуществляют в экструдерах — аппаратах, состоящих из обогреваемого цилиндра с вращающимся шнеком. В экструдерах смесь гомогенизируется более интенсивно, чем на вальцах, при этом вследствие большей герметизации обеспечиваются лучшие санитарно-гигиенические условия. Однако экструзионный способ приготовления пресс-порошков менее производителен, чем вальцевание.

Таблица 13.2 Свойства отвержденных эпоксидных полимеров

Наименование показателей	Эпоксидные полимеры при отверждении		
	диэтилентриамином	метафенил-этидиамином	малеиновым ангидридом
Прочность при изгибе, МПа	80 ..110	100 ..115	110 ..150
Относительное удлинение при разрыве, %	1 ..2	3 ..4	2 ..3
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	5 ..8	7 ..15	15 ..18
Твердость по Бригеллю, МПа	110 ..120	120 ..150	120 ..150
Теплостойкость по Мартенсу, °С	60	80 ..90	100 ..120

ская и теплостойкость (до 300 ... 400 °С). Учитывая большую усадку при отверждении, фурановые полимеры применяют совместно с наполнителями. Их используют в качестве вяжущих для полимерных бетонов, а также футеровочных мастик, клеевых составов, пенопластов, труб, текстолитов и др.

▼ **Эпоксидные полимеры** получают поликонденсацией в основном эпихлоргидрина и дифенилпропана. Эпоксидные полимеры отличаются высокой механической прочностью, водо- и химической стойкостью, хорошей адгезией к бетону, металлу, стеклу, дереву и другим материалам, малой усадкой и т. д. Для отверждения эпоксидных полимеров применяют полиспирты, амины, дифенолы и другие соединения. Для горячего отверждения используют ангидриды дикарбоновых кислот. Различают несколько видов эпоксидных смол: диановые (ЭД-8, ЭД-10, ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20 и др.), азотосодержащие (ЭЦ, ЭЦ-Н, ЭЦ-К, ЭА и др.), полиэпоксидные (ЭН-6, УП-546, ЭТФ и др.), алифатические (МЭГ-1, ДЭГ-1, ТЭГ-1, Э-181 и др.). Эпоксидные полимеры применяют для изготовления клеев, мастик, в качестве связующего слоистых пластиков и полимерных бетонов. Некоторые показатели физико-механических свойств эпоксидных полимеров приведены в табл. 13.2.

**Кремнийорганические полимеры** (силиконы) — представители элементоорганических полимеров. Их получают в результате поли-



При эмульсионном способе наполнитель пропитывают в смеси-теле водными эмульсиями полимеров, затем порошок поступает на вальцевание и последующую сушку.

При получении материалов с волокнистым наполнителем пропитка на вальцах не всегда приемлема. Для пропитки наполнителей в этом случае могут использоваться другие смесители, например бегуны.

Таблица 13.3 Способы переработки полимеров и получения строительных изделий

Полимер и изделия	Вальцевание в каландра-ванне	Экструзия	Литье	Прессование	Промазка и полив	Термофор-мование	Порообра-зование
Поливинилхлорид	+	+	+	+	+	+	+
Полиэтилен, полипропилен	—	+	+	—	—	+	—
Полистирол	—	+	+	—	—	+	+
Полиметилметакрилат	—	+	+	—	+	+	—
Фенопласты и аминопласты	—	—	—	+	—	—	+
Силиконы	—	—	—	+	—	—	—
Листы, плиты, плитки	+	+	+	+	—	—	—
Однослойные рулонные ма-териалы	+	+	—	—	+	—	—
Профильные погонажные из-делия	—	+	+	—	—	—	—
Многослойные материалы (рулонные, листовые, плиточ-ные)	+	+	—	+	+	—	+
Пено- и поропласты	—	—	—	—	—	+	+
Объемные изделия	—	+	+	+	—	+	+

Примечание. Знак «+» обозначает применяемую технологию, «-» — неприменяемую технологию.

● Формование полимерных изделий осуществляют следующими способами: каландрированием, экструзией, прессованием, литьем под давлением, пневмо-термо- и вакуумным формованием и др. (табл. 13.3).

**Каландрирование** — формование непрерывной ленты из термопластичной полимерной композиции при пропускании ее через зазоры между валками каландра. Каландр — агрегат (рис. 13.1), состоящий из системы валков (2...5), расположенных вертикально, горизонтально, Г-, L- и Z-образно. Валки в каландрах имеют полированную поверхность и нагреваются до определенной температуры. Каландрирование применяют при производстве рулонных и плиточных материалов, а также пленок. С его помощью можно изготавливать материалы толщиной 0,1...2,5 мм, шириной до 2000 мм.

**Экструзия** — непрерывный процесс продавливания вязкотекучей полимерной композиции через мундштук экструдера. С помощью экструзии получают погонажные изделия, трубы, листы, линолеум и другие изделия (рис. 13.2). Например, при получении полиэтиленовых труб гранулы полиэтилена загружают в экструдер, где они нагреваются, размягчаются и перемешиваются до однородного состояния, а затем с помощью шнека выталкиваются через кольцевой формирующий зазор. Выдавливаемая труба поступает в калибровочную насадку, где охлаждается, отвердевает и калибруется. Затем труба окончательно охлаждается в ванне с циркулирующей водой, проходит через вытяжное устройство и разрезается на отдельные изделия заданной длины или свертывается в бухты.

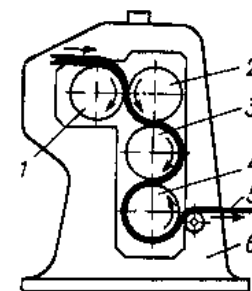


Рис. 13.1. Схема четырехвалкового каландра с Г-образным расположением валков.

1, 2, 4 — валки, закрепленные в подшипниках, которые могут перемещаться для изменения величины зазора между валками; 3 — валок на подшипниках, закрепленных в станине неподвижно; 5 — полимерное изделие; 6 — станина

**Прессование** — формование изделий из реактопластов в обогреваемых гидравлических прессах. При изготовлении изделий из пресс-порошков изделия прессуют в горячих пресс-формах. Технологический процесс состоит в этом случае из дозирования порошка, таблеток или гранул, загрузки их в форму, выдерживания в ней под давлением, размыкания формы и извлечения готового изделия. В пресс-формах изготавливают, например, детали санитарно-

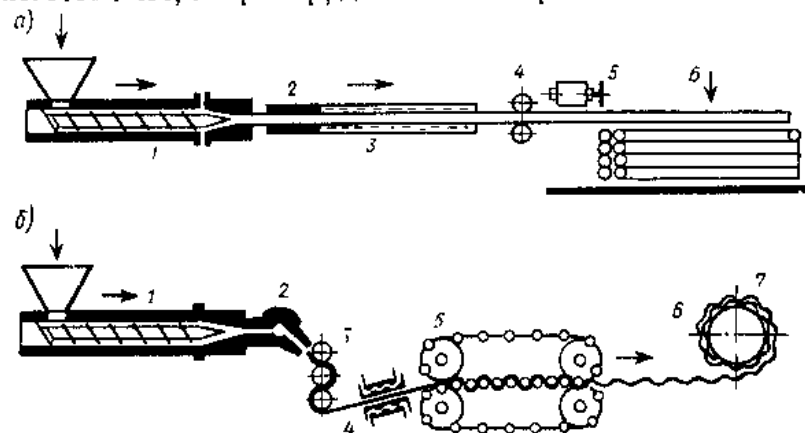


Рис. 13.2 Технологические схемы получения изделий экструзионным способом:

а — труб. 1 — шнек машины, 2 — калибровочное устройство, 3 — охлаждающая ванна; 4 — вытяжное устройство, 5 — пила, 6 — готовая продукция; б — волнистых листов: 1 — шнек-машина; 2 — головка с широкой щелью; 3 — вытяжное устройство; 4 — нагреватель инфракрасных лучей; 5 — установка для образования волнистости, 6 — резательное устройство; 7 — намоточное устройство

технического и электротехнического оборудования, фурнитуру. В одной форме часто изготавливают сразу несколько изделий.

При изготовлении древесностружечных плит, бумажно- и древеснослоистых пластиков, а также стеклопластиков применяют прессование на многоэтажных прессах (рис. 13.3). Листовой и волокнистый наполнители пропитывают растворами терморезактивных полимеров, подсушивают, собирают в пакеты или укладывают в формы и прессуют. При прессовании на многоэтажных гидравлических прессах создается усилие 100...500 кН при одновременном нагревании до требуемой температуры. При заданном давлении и температуре материал выдерживают и охлаждают.

**Литье под давлением** — формование путем нагрева пластических масс до вязкотекучего состояния с последующим выдавливанием в форму. Этим способом перерабатывают преимущественно термопласты. Для литья под давлением применяют машины с горизонтальным и вертикальным литьевыми цилиндрами, в которых полимерная масса нагревается, подвергается пластификации с помощью шнека, а затем впрыскивается поршнем через сопло в форму (рис. 13.4). Давление, развиваемое поршнем, составляет 80...150 МПа, полимерная масса впрыскивается при температуре 450...200 °С. В пресс-форме изделие выдерживается под давлением, охлаждается и затвердевает. Готовое изделие после разъема формы выталкивается толкателем, и цикл повторяется. Литье под давлением широко применяют при формовании облицовочных плиток и других

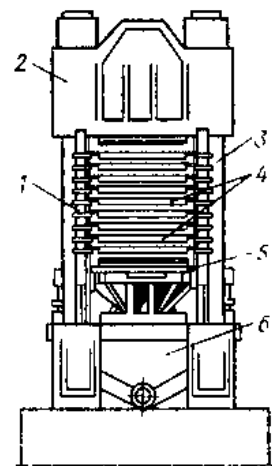


Рис. 13.3. Многоэтажный гидравлический пресс:

1 — рейка; 2 — траверса  
3 — колонна; 4 — плиты пресса; 5 — подвижный стол; 6 — рабочий цилиндр с плунжером

разнообразных изделий из полистирола, полиэтилена, полиамида и других полимеров.

Наряду с литьем под давлением для изготовления пластмассовых изделий применяют и *простое литье*, при котором пластическую массу в жидком состоянии без давления заливают в формы, где она отверждается. Формы для отливки изготавливают из гипса, легких сплавов, стали и т. п. Простым литьем получают некоторые изделия из полиамидов, полиметилметакрилата и др.

**Термоформование** — переработка в изделия пластмассовых заготовок, нагретых до определенной температуры. Применяют шнемотермоформование и вакуумное термоформование (рис. 13.5). При первом способе формование производят в закрытых формах, установленных на гидравлических прессах. Крышка формы снабжена штуцером, через который подают сжатый воздух. Заготовку укладывают на матрицу, с помощью пресса уплотняют ее по периметру, а затем давлением воздуха до 2,5 МПа прижима-

ют размягченную массу к стенкам матрицы. При вакуумном термоформовании изделия изготавливают на специальных вакуум-формовочных машинах. Заготовку закрепляют по контуру поллой формы, нагревают и создают разрежение в полости. Нагретый лист втягивается внутрь формы (негативное формование) или формируется на выпуклой поверхности формы (позитивное формование). С помощью термоформования изготавливают тонкостенные санитарно-строительные изделия — ванны, умывальники, раковины и др.

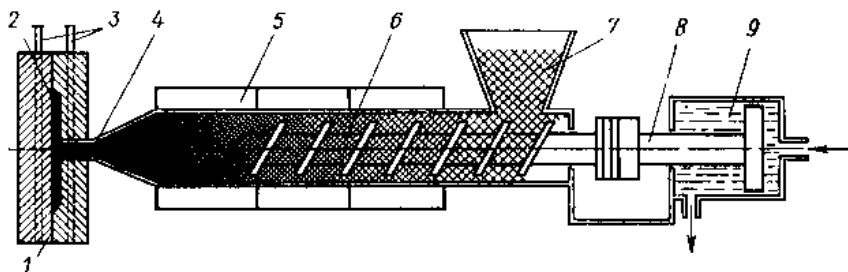


Рис. 13.4. Схема червячно-литьевой машины:

1 — форма; 2 — готовое изделие; 3 — каналы формы; 4 — сопло; 5 — нагреватель; 6 — вращающийся червяк; 7 — бункер; 8 — поршень; 9 — гидроцилиндр

**Сварка и склеивание** служат для получения пластмассовых изделий путем соединения отдельных заготовок. Сваркой соединяют большинство термопластов. По способу нагрева различают сварку контактную, высокочастотную, радиационную, фрикционную, горячим газом, ультразвуком (рис. 13.6). Универсальной является

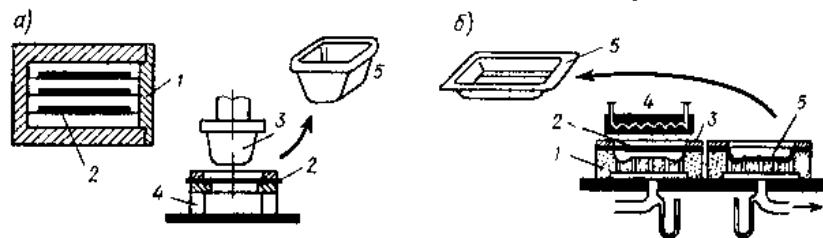


Рис. 13.5. Технологическая схема формования изделий из заготовок (листов):

а — механическим способом 1 — нагревательная установка; 2 — лист; 3 — пуансон; 4 — форма; 5 — изделие б — вакуумным способом: 1 — форма; 2 — лист; 3 — опорная рама; 4 — обогреваемая плита; 5 — изделие

сварка горячим газом. В зависимости от типа пластмассы выбирают вид газа: для сваривания поливинилхлорида — воздух, полиэтилена — азот и т. д. При сварке подготовленные кромки элементов и сварочный пруток размягчаются горячим газом и под давлением образуют прочный шов. Прочность сварки составляет 80...100% прочности основного материала.

Склеивание применяют для соединения термопластичных и терморезактивных пластмасс. Клеи применяют холодного и горячего отверждения. Клеи на основе термопластичных полимеров отвердевают в результате удаления растворителя или охлаждения расплава. Полученные соединения не выдерживают высоких температур, действия органических растворителей и длительного нагружения. Термопластичные полимеры можно склеивать органическим растворителем, вызывающим набухание стыкуемых концов и их слипание при сжатии. Соединения на терморезактивных полимерах отличаются более высокой прочностью, теплостойкостью, устойчивостью против старения и действия агрессивных сред. Недостатками этих соединений являются хрупкость, низкая стойкость к ударам и вибрации.

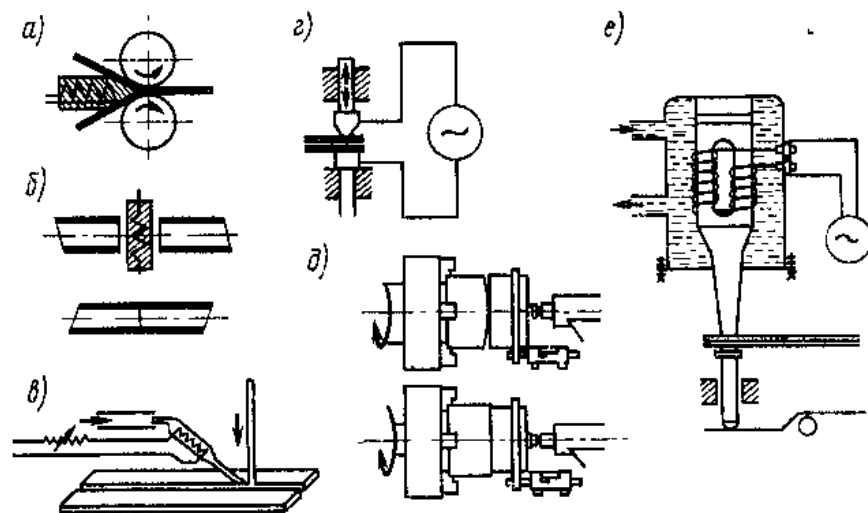


Рис. 13.6 Сваривание пластмасс: а — контактное, б — с радиационным нагревом, в — горячим воздухом; г — с высокочастотным нагревом; д — фрикционное, е — с ультразвуком

*Пористая структура* полимерных строительных материалов может быть получена химическим и физическим способами. Химический способ основан на термическом разложении газообразователей, введенных в состав полимерной композиции. Образующиеся при этом газы вспенивают полимер. Сущность физического способа заключается в расширении газов, растворенных в полимерах, после снятия давления или при повышении температуры. Вспененную структуру пластмасс можно также получать при механическом диспергировании газа и последующем отверждении полимеров.

К газообразователям относятся органические вещества (порофоры), которые при повышенной температуре разлагаются с выделением азота, углекислоты, аммиака и других газов. Эти вещества

выделяют газ в результате необратимого термического разложения. Применяют также газообразователи, обладающие способностью к обратимому термическому разложению. К ним относятся неорганические вещества — карбонат аммония, бикарбонат натрия и др. Веществами, способными вспенивать полимеры при нагревании до температуры кипения или при снижении давления, являются такие легкокипящие жидкости, как бензол, ксилол, толуол, вода, спирты

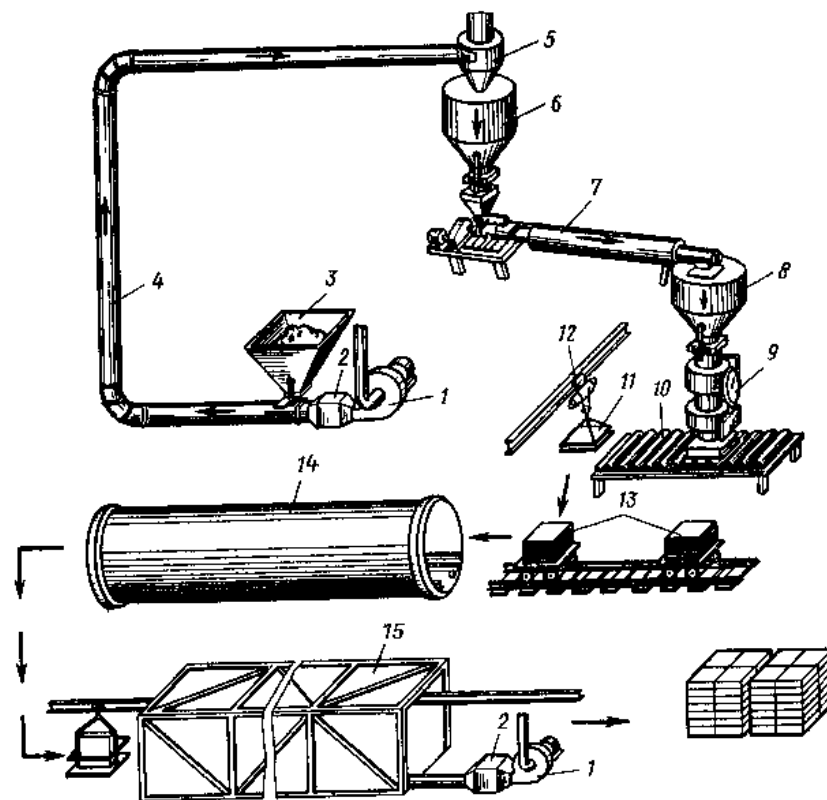


Рис. 13.7. Технологическая схема производства пенополистирола беспрессовым методом:

1 — вентилятор, 2 — соединительное устройство, 3 — приемный бункер для бисерного полистирола; 4 — трубопровод, 5 — циклон; 6 — расходный бункер, 7 — шпек с паровой рубашкой (предварительное вспенивание); 8 — бункер; 9 — дозатор, 10 — ролик, 11 — перфорированная металлическая форма; 12 — тельфер, 13 — вагонетки, 14 — автоклав (вспенивание), 15 — сушильная камера

и др. Отдельную группу пенообразователей составляют поверхностно-активные вещества, облегчающие диспергирование газа в виде мелких пузырьков и повышающие устойчивость тонких полимерных пленок между пузырьками.

Пористые полимерные материалы можно получить как при повышенном, так и при нормальном давлении. С применением по-

вышенного давления пористые пластмассы получают *прессованием, экструзией и литьем под давлением*. Наиболее распространен прессовый метод, сущность которого заключается в прессовании смеси полимера и газообразователя при повышенной температуре с последующим вспениванием размягченной композиции в пресс-форме.

Если при формировании поро- и пенопластов повышенное давление не используется, то применяют *беспрессовый, химический и дисперсионный методы*. При беспрессовом методе (рис. 13.7) полимерная композиция вспенивается при нагревании до температуры кипения растворителя или разложения газообразователя. Сущность химического метода заключается во вспенивании смеси газами, выделяющимися при взаимодействии компонентов в процессе полимеризации или поликонденсации. По дисперсионному методу полимерная композиция, связанная с пенообразователем, вспенивается с помощью быстроходных смесителей и продуванием через раствор газообразного вещества с последующим отверждением полимера.

### § 13.4. Свойства пластмасс

Свойства пластмасс изменяются в широком диапазоне в зависимости от их состава, химической структуры высокомолекулярных соединений, типа наполнителя и других факторов.

● **Физические свойства.** Одно из главных преимуществ пластмасс — их низкая *плотность*. Наименьшую плотность имеют пластмассы на основе углеводородов. Плотность пластмасс колеблется от 15 до 2200 кг/м<sup>3</sup>. Она снижается за счет порообразования. Пористые пластмассы имеют плотность 15...200 кг/м<sup>3</sup>. *Водопоглощение* плотных пластмасс невелико. Гидрофобные полимерные материалы имеют водопоглощение 0,1...0,5%. У материалов, включающих гидрофильные компоненты, оно может значительно повышаться. Так, для высокопористых древесностружечных плит водопоглощение составляет 30...90%.

Плотные полимерные материалы характеризуются *высокой водонепроницаемостью*, что позволяет их широко применять для гидроизоляции. Полиэтиленовая поливинилхлоридная и другие виды полимерных пленок, рулонные и мастичные материалы на основе каучуков, покрытия на основе полиэфиров, эпоксидных полимеров непроницаемы для паров и газов, что позволяет их применять для пароизоляции строительных конструкций.

*Удельная теплоемкость* колеблется у пластмасс от 840 до 2100 Дж/(кг·°С) и растет с повышением температуры и степени кристалличности полимеров. Теплопроводность относительно низка, при отсутствии наполнителя она находится в пределах от 0,116 до 0,348 Вт/(м·°С). Для поропластов теплопроводность приближается к теплопроводности воздуха и составляет 0,028...0,0348 Вт/(м·°С).

Теплопроводность пластмасс с минеральными наполнителями

выше, чем с органическими. Она возрастает с уменьшением размера пор и увеличением плотности материалов. Невысокая теплопроводность позволяет полимерные материалы широко применять в ограждающих конструкциях, для изоляции трубопроводов и т. п. Для пластмасс характерен высокий *коэффициент теплового расширения* (25...120)10<sup>-6</sup>, в то время как для стали он равен лишь 11·10<sup>-6</sup>, т. е. в 2,5...10 раз меньше. Учитывая малую теплопроводность полимерных материалов, их высокое тепловое расширение может вызывать образование трещин и недопустимых деформаций при колебаниях температуры. Высокий *коэффициент термического расширения* необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций из пластмасс.

*Теплостойкость* полимерных материалов выражают или температурой, при которой образец под действием изгибающего момента дает определенную деформацию (по Мартенсу), или температурой, при которой стальная игла площадью поперечного сечения в 1 мм<sup>2</sup> погружается в материал под действием груза на глубину 1 мм (по Вику). Теплостойкость для большинства синтетических полимеров по Мартенсу составляет 60...180°С (у кремнийорганических полимеров она достигает 250°С).

Большинство пластмасс, не содержащих наполнители, хорошо *пропускают свет*, особенно в тонком слое, и лучи инфракрасной области. Так, органическое полиметилметакрилатное стекло пропускает до 94% лучей видимой части спектра, в то время как обычное силикатное — 84...87%. Светопроницаемость ухудшается при введении пигментов или при кристаллизации полимеров.

Пластмассы обладают высокими *электроизоляционными свойствами*, что позволяет применять их для устройства изоляции электропроводок, изготовления электроарматуры и т. д. На поверхности некоторых пластмасс под действием, например, сил трения может аккумулироваться статическое электричество. Снижение степени электризации поверхности полимерных материалов достигается обработкой их антистатическими веществами и введением электропроводящих наполнителей.

Полимерные материалы по *степени пожароопасности* делятся на четыре группы: *легковоспламеняющиеся, горючие, трудновоспламеняющиеся и негорючие*. К трудновоспламеняющимся относятся пластмассы на основе поливинилхлоридных, фенолформальдегидных, кремнийорганических полимеров, к негорючим принадлежат фторопласты, перхлорвиниловые материалы. Повысить огнестойкость пластмасс можно добавками антипиренов.

● **Механические свойства.** При обычных температурах большинство пластмасс обладает *высокой прочностью при сжатии, растяжении и изгибе*. Наиболее высокие показатели прочности имеют пластмассы с волокнистыми и листовыми наполнителями. Предел прочности при сжатии пластмасс с порошкообразными наполнителями достигает 100...150 МПа, а предел прочности стеклопла-

тиков при растяжении и сжатии — 350 МПа. Прочность при растяжении стекловолокнистого анизотропного материала 900... 950 МПа, при сжатии — 420 МПа.

Одним из важнейших критериев эффективности строительных материалов является коэффициент конструктивного качества — отношение предела прочности к плотности. Этот коэффициент для пластмасс и в особенности слоистых пластиков значительно выше, чем у большинства строительных материалов. Например, коэффициент конструктивного качества для бетона М150 — 0,06; пенополистирола — 0,2; стали марки Ст3 — 0,51; древесины сосны — 0,7; дюралюминия — 1,6; стеклопластика — 2,2; древеснослоистого пластика — 2,5.

При длительном действии напряжения пластические массы обнаруживают текучесть. Модуль упругости у пластмасс даже при комнатной температуре значительно меньше, чем у обычных строительных материалов. Так, модуль упругости для стали (МПа) —  $(2 \dots 2,2) \cdot 10^5$ ; древесины —  $(0,063 \dots 0,14) \cdot 10^5$ ; полиэфирных стеклопластиков —  $(0,1 \dots 0,31) \cdot 10^5$ ; ненаполненных пластмасс —  $(0,001 \dots 0,045) \cdot 10^5$ . Модуль упругости пластмасс, как и другие механические свойства, в значительной степени зависит от вида и величины нагрузки, температуры, условий окружающей среды.

Ползучесть пластмасс существенно ограничивает величину эксплуатационных нагрузок при использовании их как конструктивных материалов. Ползучесть пластмасс обусловлена скольжением макромолекул. Для пространственных полимеров, «сшитых» поперечными связями в макромолекулах, она значительно меньше.

Твердость пластмасс значительно ниже, чем у металлов и каменных материалов. Для полимерных материалов твердость не находится в прямой зависимости от прочности, что характерно для других материалов. Например, для стеклопластиков при прочности на растяжение 130... 160 МПа твердость по Бринеллю составляет всего 200... 220 МПа, в то время как для стали — 4400 МПа. Пластмассы имеют, несмотря на сравнительно небольшую твердость, низкую истираемость, что особенно важно при устройстве полов. Истираемость гранита — 0,10 г/см<sup>2</sup>, полихлорвиниловых плиток — 0,08, глифталевого линолеума — 0,06 г/см<sup>2</sup>. Истираемость линолеума примерно такая же, как истираемость керамических плиток.

Для пластмасс характерна высокая сопротивляемость удару. Ее величина колеблется от 10 кДж/м<sup>2</sup> для оргстекла до 500 кДж/м<sup>2</sup> для стеклопластиков.

● **Химические свойства.** Пластические массы характеризуются стойкостью к действию различных химических реагентов, атмосферных и биологических факторов, а также гигиеничностью и безвредностью для здоровья людей. Химическая стойкость пластмасс зависит от химической стойкости входящих в них полиме-

ров и наполнителей. Большинство синтетических полимеров обладает высокой стойкостью к агрессивным средам. Химически стойкие полимеры хорошо защищают от агрессивного воздействия и наполнители. Химическая стойкость полимеров определяется особенностями их строения. Высокомолекулярные вещества, у которых макромолекулы образованы углеродной цепью (карбоцепные полимеры), устойчивы против действия кислот, щелочей, солей и слабых окислителей. Присутствие некоторых функциональных групп в углеродной цепи может привести к повышению или снижению стойкости против действия химических веществ. Например, поливиниловый спирт, содержащий гидрофильные и гидроксильные группы, менее стоек к действию воды, кислот и щелочей. Наоборот, политетрофторэтилен, содержащий в макромолекуле фтор, является одним из наиболее химически стойких веществ. Легче подвергаются действию химических реагентов гетероцепные полимеры, у которых отдельные структурные единицы в цепи соединены, например, с кислородом или азотом. Нестойки к кислотам и окислителям полимеры с двойной связью. Химическая стойкость полимеров повышается по мере увеличения степени их кристалличности, при добавлении стабилизаторов. В то же время она несколько снижается при введении добавок пластификаторов.

Строительные пластмассы, как правило, биостойки, за исключением древесностружечных и древесноволокнистых плит, мипоры, изделий из полиэтилена. Небиостойкие материалы могут поражаться грибами и бактериями, насекомыми и грызунами. Для повышения биостойкости в пластмассы вводят антисептики.

Под влиянием внешних воздействий среды в полимерных материалах в результате комплекса сложных химических и физических процессов происходит необратимое изменение важнейших эксплуатационных свойств — старение. Различают следующие виды старения полимеров: тепловое, световое, атмосферное, микробиологическое.

Наиболее существенное влияние на процессы старения оказывают повышенная температура, солнечные лучи и кислород воздуха. Старение ускоряется при действии интенсивных и повторяющихся механических нагрузок.

Пластмассы, как правило, достаточно гигиеничны, хорошо очищаются, некоторые из них обладают противомикробными свойствами. Однако в ряде случаев при старении полимеров могут выделяться токсичные вещества, особенно при незавершенности процессов полимеризации или поликонденсации. При эксплуатации полимерных материалов возможно выделение летучих веществ, входящих в их состав пластификаторов, отвердителей, растворителей. До применения в строительстве новые виды полимерных материалов обязательно проходят санитарно-токсикологические исследования.

### § 13.5. Полимерные материалы для ограждающих и несущих конструкций

Для возведения ограждающих и несущих конструкций применяют пластмассы, в которых в качестве наполнителя служит древесная стружка и древесный шпон, стекловолоконистые материалы, бумага. В эту группу пластмасс входят также полимерные бетоны.

Таблица 134. Свойства древесностружечных плит

Плиты	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Максимальное разбухание плиты по толщине за 24 ч, %		Минимальный предел прочности, МПа	
		повышенной водостойкости	обычной водостойкости	на статический изгиб	на растяжение
Трехслойные ПП-3 с улучшенными свойствами	700..800	5	—	25	4
Однослойные ПТ-1 тяжелые и трехслойные ПТ-3 тяжелые группы:					
А	600..800	15	20	21,5	3,5
Б		25	30	12	3
В		25	30	13,5	3
Однослойные ПС-1 и трехслойные ПС-3 средней плотности группы:					
А	500..650	15	20	17	3
Б		25	30	13	2,5
В		25	30	11	2,5
Облицованные плиты экструзионного прессования: сплошные (ЭС)	550..650	Не нормируется		10	Не нормируется
многопустотные (ЭМ)	350..450	То же		5	>

● **Древесностружечные плиты** — это материал, полученный горячим прессованием измельченной древесины, смешанной со связующими веществами — синтетическими полимерами. Преимуществами этого материала являются однородность физико-механических свойств в различных направлениях, сравнительно небольшие линейные изменения при переменной влажности, возможность высокой механизации и автоматизации производства.

Промышленность выпускает плоские и экструзионные плиты. В первых частицы расположены параллельно, а во вторых — перпендикулярно плоскости плиты, что достигается прессованием ме-

тодом экструзии. При применении фенолформальдегидных и мочевиномеламиновых смол с добавками гидрофобных веществ получают водостойкие плиты, мочевиноформальдегидных — средней водостойкости, а казенных клеев, сульфитных щелоков и т. п. — ограниченной водостойкости. Древесностружечные плиты разнообразны по конструкции (однослойные сплошные и с внутренними каналами, трех- и многослойные), плотности (легкие —  $\rho \leq 500$  кг/м<sup>3</sup>, средней плотности —  $\rho = 500..650$  кг/м<sup>3</sup> и тяжелые —  $\rho = 660..700$  кг/м<sup>3</sup>), виду отделки (необлицованные и облицованные бумагой, лущеным или строганым шпоном и др.). В табл. 13.4 приведены основные нормируемые физико-механические свойства древесностружечных плит. Промышленность выпускает плиты толщиной 10...52 мм, длиной 1800...3600 и шириной 1220...1830 мм.

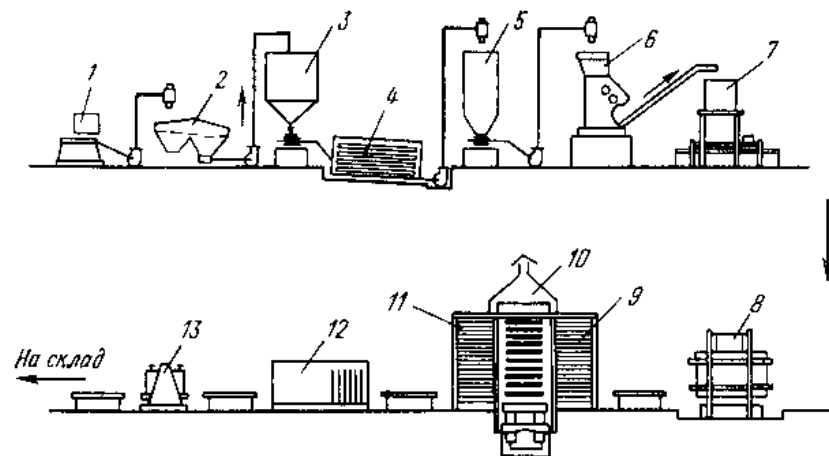


Рис. 13.8. Технологическая схема производства однослойных древесностружечных плит:

1 — рубильная машина, 2 — вибрационное сито; 3 — станок для обрезки плит; 4 — сушильная камера, 5 — бункер; 6 — смеситель; 7 — настольная машина; 8 — «колодный пресс»; 9 — загрузочный механизм; 10 — пресс горячего прессования; 11 — разгрузочный механизм; 12 — станок для обрезки плит; 13 — кантователь

Основным сырьем для изготовления древесностружечных плит служат отходы лесопиления, деревообработки, сельскохозяйственного производства.

Технологический процесс производства (рис. 13.8) включает сортировку, окоривание, увлажнение, раскрой древесины на заготовки, переработку ее в стружку, сушку и проклеивание стружки связующим, формование стружечного ковра, прессование и дополнительную обработку плит. Расход связующего зависит от типа плит, назначения слоя и породы древесины. Применение лиственных пород увеличивает расход связующего на 10...20%. Для



устройства наружного слоя трехслойных плит расход полимера составляет 12...14%, а внутреннего — 8...10%. Специальные свойства плит регулируются введением добавок в стружечную массу: для повышения биостойкости — антисептика, огнестойкости — антипиренов, водостойкости — гидрофобизаторов.

Область применения древесностружечных плит весьма разнообразна: 1 м<sup>3</sup> их заменяет в строительстве около 2 м<sup>3</sup> пиломатериалов или 4 м<sup>3</sup> круглого леса.

● **Древеснослойный пластик (ДСП)** — материал, изготовленный горячим прессованием древесного шпона, пропитанного фенолформальдегидными полимерами резольного типа. Шпон представляет собой тонкие листы березы (иногда других пород древесины), получаемые лущением распаренных краешей на специальных станках. Толщина шпона для ДСП колеблется от 0,3 до 2,15 мм. Шпон пропитывают в растворе полимера, высушивают в камерных сушилках и собирают в пакеты. Пакеты прессуют на многоэтажных гидравлических прессах, обогреваемых паром при давлении 15...16 МПа и температуре 125...150°C. Древеснослойные пластики получают в виде листов длиной 700...5600 мм, шириной 750...1500 и толщиной 1...60 мм, плотностью 1250...1330 кг/м<sup>3</sup>, влажностью 3...8%, водопоглощением за 24 ч не более 2...3%, пределом прочности при растяжении вдоль волокон 140...260 МПа, ударной вязкостью 30...80 кДж/м<sup>2</sup>. Древеснослойные пластики имеют более высокие физико-механические свойства, чем исходная древесина, повышенную химическую стойкость, низкую истираемость. Их применяют для изготовления балок, арок, ферм и других несущих конструкций, в качестве вспомогательных крепежных и монтажных элементов.

● **Стеклопластики** содержат в качестве наполнителя стекловолоконные материалы. В зависимости от вида и расположения наполнителя различают стеклопластики на основе ориентированных и рубленых волокон, тканей и матов. Наиболее распространены для армирования стеклопластиков материалы на основе стекловолокна. Ценными свойствами стекловолокна являются высокая прочность, химическая, био- и огнестойкость, низкая теплопроводность и др. По сравнению с объемными образцами стекла прочность элементарных стеклянных волокон выше в несколько десятков раз. Выпускаемые промышленностью стекловолоконные материалы алюмоборосиликатного состава диаметром 6...10 мкм имеют прочность на растяжение до 3000 МПа. Из стекловолокна изготавливают тканые и нетканые материалы в виде жгутов и холстов. Они находят все большее применение в производстве стеклопластиков. Полимерное связующее должно обладать высокими адгезионными свойствами к поверхности стекловолокна. Этому условию отвечают фенолформальдегидные, эпоксидные и полиэфирные связующие. Для повышения вязкости связующего, уменьшения усадки, повышения жесткости и твердости отвержденных композиций, а

также снижения стоимости в состав связующих вводят минеральные наполнители: каолин, известняк, тальк и др. Ведущее место из стеклопластиков строительного назначения принадлежит стеклотекстолиту — слоистому пластику, получаемому горячим прессованием пакетов из стеклоткани, обработанной полимерным связующим.

Стеклотекстолиты изготавливают мокрым или сухим способом. Мокрый способ включает следующие основные операции: раскрой стеклоткани, подготовку связующего, укладку стеклоткани на форму, нанесение связующего, формование изделий, отверждение, распрессовку и механическую обработку. При сухом способе стеклоткань, пропитанную связующим, высушивают до удаления растворителя. Стеклотекстолит выпускают в виде листов размером 1000×2400 мм, толщиной 0,5...15 мм, плотностью 1600...1850 кг/м<sup>3</sup>, марок КАСТ, КАСТ-8, СКМ-1 и др. Он имеет предел прочности при сжатии вдоль волокон 210...430 МПа, а перпендикулярно слоям — 350...420 МПа. Прочность при растяжении 140...415 МПа. Стеклотекстолиты применяют при изготовлении панелей, электрораспределительных щитов и других конструкций.

В строительстве широко используют полупрозрачные и прозрачные листы на основе полиэфирных связующих и рубленого стекловолокна длиной 40...50 мм. Их получают способом непрерывного формования на конвейерных установках (рис. 13.9). Листовые стеклопластики имеют обычно такую же конфигурацию и размеры волн, как и волнистые листы из традиционных материалов. Механические свойства их достаточно высокие, хотя и ниже, чем стеклотекстолитов (табл. 13.5). Листовые полиэфирные стеклопластики имеют большую гамму цветов и оттенков, различную степень светопропускания, гляцевую поверхность. Эффективно их применение для устройства светопрозрачных покрытий и кровель, балконных ограждений, в сооружениях малых архитектур-

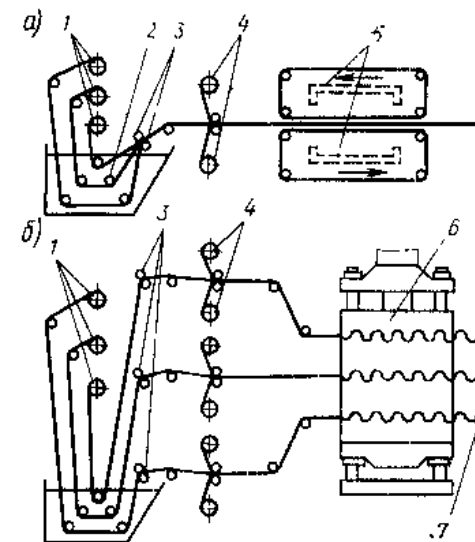


Рис. 13.9 Технологическая схема формирования листов стеклопластика:

а — плоский непрерывный способ; б — профилированный периодический способ; 1 — рулоны стекловолоконного наполнителя, 2 — пропиточная ванна; 3 — отжимные валки; 4 — рулоны целлофана; 5 — нагревательные элементы, 6 — гидравлический пресс, 7 — нож для резки стеклопластика

ных форм: летних павильонов, палаток, стоянок транспорта и т. д.

С применением стекловолокнутого наполнителя и полимерных связующих получают различные пресс-материалы. Один из них — стекловолокнистый анизотропный материал СВАМ, изготавливаемого на основе элементарного стекловолокна, выходящего из фильера. Из волокон, расположенных параллельно, склеивают стеклошпон, содержащий 65...80% волокна и 20...25% связующего. Стеклошпон просушивают, складывают в пакеты и прессуют при повышенной температуре. Листы СВАМ имеют размер 100×500 мм, толщину 1...30 мм и наиболее высокие для стеклопластиков прочностные показатели.

Таблица 13.5 Свойства стеклопластиков

Вид стеклопластика	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение за 24 ч, %, не более	Предел прочности, МПа			Модуль упругости, МПа	Удельная ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>
			при растяжении	при сжатии	при изгибе		
Полиэфирный листовый, плоский и волнистый	1400	1,5	60	90	130	—	—
Стеклотекстолит КАСТ-8 (толщиной до 7 мм)	1850	0,1-0,8	230	35	240	—	—
Листовой СВАМ	1900-2000	0	450	400	700	28,5	500

● **Полимербетоны** — конгломератные составы, получаемые на основе синтетических полимеров, химически стойких наполнителей и заполнителей без участия минеральных вяжущих и воды. Наполнители имеют размер частиц менее 0,15 мм, заполнители представлены песком с размером зерен до 5 мм и щебнем крупностью до 50 мм. Для изготовления полимербетона в качестве связующего в зависимости от области применения могут быть использованы полиэфирные, акрилатные, карбамидные, фенолформальдегидные, инден-кумароновые, эпоксидные, фурановые смолы и их модификации с другими полимерами.

Наибольшее распространение получили полимербетоны на фурановых смолах типа ФА и ФАМ. Смолы ФА и ФАМ образуются при взаимодействии фурфурола и ацетона в молярном соотношении соответственно 1:1 и 1,5:1. В процессе поликонденсации смолы ФАМ образуется меньшее количество воды, что благоприятно сказывается на структуре и физико-механических свойствах полимера. В качестве отвердителей фурфуrolацетоновых полимеров

применяют безводные ароматические сульфокислоты (обычно бензосульфокислоты), хлориды железа или алюминия, концентрированную серную кислоту и др.

На физико-механических свойствах полимербетонов существенно сказывается химическая природа наполнителей. В составе полимербетонов на фурфуrolацетоновых смолах могут быть использованы наполнители и заполнители, не содержащие карбонатных или основных пород, а также глинистых частиц. Предпочтительно применять минеральные компоненты из изверженных горных пород, содержащих повышенное количество минералов пироксена и амфибола. В наименьшей степени химико-минералогические особенности заполнителей сказываются в полимербетонах на эпоксидных смолах. Количество заполнителей и наполнителей в составе полимербетонов может достигать до 90% и более. Так же как и для цементных, для полимерных бетонов важно создать минимальную пустотность минеральной смеси зерен с целью снижения расхода вяжущего. Полимербетонные смеси готовят по обычной технологии в бетоносмесителях лопастного типа или другим смесительном оборудовании. Твердение полимербетонов на связующих с кислотным отверждением, особенно фурановых, является высокоэкзотермичным процессом. Для предотвращения преждевременного схватывания ограничивается объем замесов, приготовленная смесь немедленно укладывается в формы или хранится в емкостях, обеспечивающих быстрый отвод теплоты. Скорость твердения полимерных бетонов значительно выше, чем цементных, и прочность, близкая к предельной, достигается уже в течение нескольких дней. По мере дальнейшего твердения прочность нарастает постепенно со значительным замедлением темпа. Твердение полимербетонов производится как в естественных условиях при распалубке конструкций через 4...5 ч, так и при сухом нагреве при температуре 80°C со скоростью подъема и снижения температуры не более 0,5°C/мин.

Прочность полимербетонов зависит от состава смеси, величины адгезии полимера и минеральных компонентов, режима твердения и других факторов. Для полимербетонов характерна высокая прочность как при сжатии, так и при растяжении и изгибе.

Например, у полимербетонов на ФАМе прочность при сжатии составляет 70...90, а при изгибе — 15...20 МПа. Прочность при изгибе полиэфирных и эпоксидных бетонов достигает 35...40 МПа. Величина усадочных деформаций у полимерных бетонов обычно выше, чем у цементных.

Одним из недостатков полимербетонов, ограничивающих применение этого материала в несущих конструкциях, является повышенная ползучесть. Для снижения ползучести подбирают смесь заполнителей, обеспечивающих наибольшую плотность и минимальный расход связующего, уплотняют смесь прессованием, упрочняют волокнистыми материалами и стальной арматурой, до-

стигают полноты отверждения полимера прогревом или другими способами. Ползучесть резко возрастает с повышением температуры и влажности среды. Для полимербетонов характерна невысокая теплостойкость — 100... 200°C. Резкое различие в коэффициентах термического расширения компонентов приводит и к сравнительно низкой термостойкости этого материала.

При действии воды на полимербетоны наблюдается в большинстве случаев некоторое понижение прочности, вызываемое преимущественно адсорбционными явлениями. При длительном пребывании в воде бетона на мономере ФА возможное снижение прочности составляет 10... 30%. Характерно, что снижение прочности в основном наблюдается в первые недели водного выдерживания, а затем прочность стабилизируется. К наиболее водостойким бетонам относят составы на основе эпоксидных смол.

Ничтожная структурная пористость полимербетонов определяет их высокую водонепроницаемость и морозостойкость.

Одним из главных преимуществ полимербетонов является химическая стойкость, открывающая им широкие перспективы для применения в химических производствах. Важной особенностью бетонов на полимерных вяжущих является их высокая износостойкость. Испытания показывают, что стойкость к истиранию для них при правильном выборе состава может превышать аналогичный показатель для цементных бетонов более чем в 20 раз, а кавитационная стойкость — в сотни раз.

Полимербетоны рационально применять для устройства износостойких покрытий плотин и конструкций портовых сооружений, возведения конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред, конструкций с высоким электросопротивлением. Особенно высокий экономический эффект достигается при использовании песущих химически стойких сталеполимербетонных конструкций на промышленных предприятиях в условиях агрессивных сред.

● **Плиточные и листовые материалы** для отделки стен используют с применением полистирола, поливинилхлорида, фенолформальдегидных и других полимеров. Наибольшее распространение в строительстве получили декоративные бумажно-слоистые пластики, полистирольные плитки, рулонные пленочные материалы.

● **Бумажно-слоистый пластик** — материал, полученный горячим прессованием специальной бумаги, пропитанной термореактивными полимерами. Его изготавливают в виде листов длиной 100... 300 см, шириной 60... 160 и толщиной 1... 5 см, плотностью 1400 кг/м<sup>3</sup>, пределом прочности при растяжении вдоль листа не менее 90 МПа и поперек — 70 МПа. После 24 ч выдержки в воде эти показатели должны быть не менее 72 и 56 МПа. Бумажно-слоистые пластики хорошо подвергаются механической обработке, обладают высокой ударной прочностью, термо- и износостойкостью.

● **Полистирольные облицовочные плитки** изготавливают из гранулированного полистирола способом литья под давлением. Для повышения теплостойкости и снижения стоимости в полимерную массу вводят порошкообразные наполнители. Полистирольные плитки выпускают квадратными размером 100×100 и 150×150 и прямоугольными 100×20, 100×50, 150×20, 150×75, 200×100, 300×100. Толщина плиток 1,25... 1,5 мм, масса 1 м<sup>2</sup> — 1,5... 1,7 кг. Положительные особенности полистирольных плиток — водо- и химическая стойкость, гигиеничность, прочность; недостатки — горючесть, растворимость в органических растворителях. Полистирольные плитки выпускают самых разнообразных расцветок и применяют для внутренней облицовки зданий, вани, душевых и т. д. К поверхности стен плитки крепят различными полимерными мастиками. Для индустриальной отделки применяют полистирольные листы и плиты.

● Из рулонных отделочных материалов широко используют **поливинилхлоридные пленки**, изготавливаемые каландрированием или экструзией. Находят применение бесосновные самоклеящиеся пленки с бумажной и тканевой подосновой. Поливинилхлоридные пленки обладают атмосферо- и химической стойкостью, пределом прочности при растяжении 15... 20 МПа, относительным удлинением 70... 100%, водопоглощением 0,2%. К рулонным отделочным материалам относится изоплен — вспененный поливинилхлорид на бумажной или тканевой основе. Изоплен имеет прочность на разрыв не менее 0,18... 0,21 МПа. Разновидность изоплена — пеноплен имеет предел прочности при растяжении не менее 0,5 МПа. Изоплен и пеноплен обладают наряду с декоративностью водостойкостью и теплозвукоизоляционными свойствами.

Линкруст и моющиеся обои — рулонные материалы на бумажной подоснове. При изготовлении линкруста на бумагу наносят слой пасты из глифталевого полимера или поливинилхлорида. Моющиеся обои в отличие от обычных имеют пленочное полимерное покрытие.

### § 13.6. Материалы для покрытия полов

Полимерные материалы для полов разделяют на рулонные, плиточные, мастичные и погонажные. Положительные особенности этих материалов — износостойчивость, гигиеничность, эластичность, достаточная долговечность — способствуют все более широкому их распространению.

● Из рулонных материалов наиболее широко применяют **поливинилхлоридный линолеум**, на долю которого приходится около 70% общего выпуска полимерных материалов для полов. Этот вид линолеума выпускают бесосновным и на тканевой, картонной или теплозвукоизолирующей основе. Наиболее прост в изготовлении

безосновный линолеум. Его получают *вальцово-каландровым способом*. Суспензионный поливинилхлорид с добавками пластификаторов, стабилизаторов смешивают с порошкообразными наполнителями и подают на пластикацию в вальцы, а затем на формирование в каландр. После каландрирования линолеумное полотно поступает на холодный барабан и после охлаждения на намоточный станок. Однослойный линолеум выпускают однотонным и с декоративной двух- или многоцветной отделкой. Более экономичным по расходу связующего является многослойный линолеум. Нижние слои его изготовляют с максимально допустимым содержанием наполнителя. Пленки верхнего и нижнего слоев дублируют (склеивают) на специальном барабанном прессе за счет давления (до 15 МПа) и температуры (до 170°C). Безосновный линолеум выпускают в виде рулонов длиной 12 м, шириной 1,5... 1,6 м, толщиной 1,6... 2 мм. Водопоглощение его не более 1,5%, истираемость 0,05 г/см<sup>2</sup>.

Более прогрессивным является *экструзионный метод* производства безосновного линолеума. При его применении исключается операция дублирования. Многослойный линолеум формируется с помощью нескольких экструдеров, связанных общей формирующей головкой.

При изготовлении линолеума на основе применяют промазной метод, сущность которого заключается в том, что на движущуюся основу наносят линолеумную пасту с последующей термообработкой и уплотнением. Линолеумная паста включает полимер, пластификаторы, наполнители и пигменты. Материалами для основы служат хлопчатобумажная ткань, войлок, картон, ткань из синтетических волокон, вспененный поливинилхлорид. Уплотнение массы, нанесенной на основу, производится в каландре, где поверхность линолеума приобретает требуемую фактуру. Из линолеума на теплозвукоизолирующей основе изготовляют в заводских условиях ковры размером на комнату. Поливинилхлоридный линолеум не рекомендуется применять в помещениях с повышенным влажностным режимом эксплуатации, в условиях воздействия абразивных материалов, жиров и масел.

*Глифталевый (алкидный) линолеум* изготовляют на тканевой основе с однотонной или узорчатой лицевой поверхностью. В качестве исходного сырья применяют глицерин, фталевый ангидрид, растительные масла и их заменители и некоторые добавки. Наполнителями служат пробковая и древесная мука, молотые сланцы и др. Технология производства глифталевого линолеума сложнее, чем поливинилхлоридного. Она заключается в окислении и полимеризации растительных масел, приготовлении полимера и линолеумной массы, нанесении ее на ткань, каландрировании линолеума и вызревании в сушильной камере. Глифталевый линолеум выпускают в рулонах длиной 2000 мм, шириной 1800... 2000 и тол-

щиной 2,5... 5 мм, истираемостью 0,04... 0,06 г/см<sup>2</sup>, водопоглощением 6%. Недостатками глифталевого линолеума являются повышенная хрупкость, склонность к трещинам и изломам.

*Коллоксилиновый линолеум* представляет собой безосновный однослойный рулонный материал, состоящий из нитроцеллюлозы, пластификаторов, наполнителей, пигментов и антипирена. При получении его нитроцеллюлоза вместе с пластификатором и стабилизатором подвергается варке при 60... 70°C, затем обрабатывается на центрифуге с целью удаления избыточной воды и смешивается с остальными компонентами. Для получения линолеумного полотна масса подвергается вальцеванию. Этот вид линолеума обладает характерным красным и коричневым цветом и сохраняет эластичность при температуре до -20°C. Выпускают его в рулонах длиной 12 м, шириной 1... 1,2 м, толщиной 2... 4 мм. Истираемость его 0,04... 0,06 г/см<sup>2</sup>, водопоглощение 6%. Недостаток коллоксилинового линолеума — повышенная возгораемость.

*Релин, или резиновый линолеум*, — комбинированный рулонный материал, верхний слой которого изготовляют из резины, а нижний — из смеси, в которую входит кроме других компонентов резиновая крошка. Наряду с обычным промышленность выпускает теплозвукоизоляционный релин на войлочной или другой пористой подоснове. Для обычного релина нижний слой получают путем вальцевания резинобитумной смеси с добавлением вулканизирующих агентов с последующим каландрированием. После получения верхнего и нижнего слоев релина их дублируют, вулканизируют и скатывают в рулоны. Двухслойный релин выпускают в рулонах с длиной полотна 12000 мм, шириной 1400... 1600 и толщиной 3 мм. Водопоглощение релина не более 2% за 24 ч, истираемость 0,05 г/см<sup>2</sup>, механические свойства его сохраняются при температуре -25... +80°C. Недостатки релина — специфический запах, слабое сцепление с клеящими мастиками, способность к увеличению линейных размеров. Применяют его в помещениях с повышенным влажностным режимом эксплуатации.

Кроме линолеумных, в группу рулонных пластмасс для полов входят *синтетические ковровые изделия* (ворсолин, ворсонит) с верхним слоем из синтетической ткани с ворсом, нижним — из вспененных латексов, поливинилхлорида, полиуретанов и других полимеров. Полы из ковровых ворсовых материалов износостойки, эластичны, бесшумны, отличаются высокими акустическими свойствами.

● **Плиточные изделия** представляют возможность уменьшить расход полимеров по сравнению с рулонными материалами. Их легко можно заменять, создавать разнообразные по цвету и рисунку покрытия. Недостатки — большое количество швов, снижающих гигиеничность и долговечность покрытия, более высокая трудоемкость устройства полов по сравнению с рулонными.

Основными видами полимерных плиток для полов являются *поливинилхлоридные* и *кумароновые*. Применяют также *фенолитные*, *резиновые* и другие плиточные материалы.

Поливинилхлоридные плитки, так же как и линолеум, изготовляют бесосновными и на пористой подоснове. При этом используют такие же, как и в производстве линолеума, сырьевые массы. Более широко распространены однослойные бесосновные плитки с гладкой лицевой поверхностью. Выпускают также плитки с рифленой и тисненой поверхностью. Однослойные плитки изготовляют *вальцово-каландрским методом*. Поливинилхлоридную ленту после каландрирования охлаждают, разрезают на полосы заданной ширины и направляют к прессам для вырубki плиток. Поливинилхлоридные плитки получают также *прессованием* из отходов поливинилхлоридных материалов. Плитки имеют квадратную или прямоугольную форму и размеры 300×300, 200×200, 300×150, 200×100 мм при толщине 1,5...3 мм. Водопоглощение их за 24 ч не более 1%, истираемость 0,05 г/м<sup>2</sup>, усадка 0,3%.

*Кумароновые плитки* получают из инден-кумароновых полимеров с добавками пластификаторов и наполнителей. Недостатком их является повышенная хрупкость.

● **Мастичные материалы** применяют также для устройства полов. Это вязкотекучие полимерные составы, наносимые путем полива или распыления. Наливные бесшовные полы имеют повышенную гигиеничность, химическую стойкость и долговечность. Для устройства наливных полов получили распространение *поливинилацетатные составы*, включающие водную дисперсию полимера и порошкообразные наполнители. Для утепления полов в состав мастики вводят перлитовый песок и другие пористые наполнители. Повышение водостойкости поливинилацетатных полов можно достичь введением в состав мастики до 15% фенолформальдегидных полимеров с отвердителем. Мастика наносится на основание в 2...3 слоя, верхний слой содержит большее количество полимера. Плотность поливинилацетатных покрытий находится в диапазоне 1350...1800 кг/м<sup>3</sup>, истираемость 0,006...0,024 г/см<sup>2</sup>, прочность при растяжении 5 МПа, водопоглощение за 24 ч 5...9%. Этот вид полов не рекомендуется в помещениях с влажностным режимом эксплуатации, при ударных нагрузках и воздействии кислот и щелочей.

Большой водостойкостью обладают *латексные мастики для полов*. Наибольшее применение находят *бутадиенстирольный*, *бутадиенакрилонитрильный*, *полихлоропреновый* и *тиоколовый латексы*.

## § 13.7. Гидроизоляционные и герметизирующие материалы

Высокая водонепроницаемость и водостойкость, адгезионная способность, атмосферо- и химическая стойкость, деформативность полимерных материалов делают их наиболее эффективными для гидроизоляции и герметизации строительных конструкций.

● В качестве **гидроизоляционных** применяют рулонные и мастичные полимерные материалы. Из рулонных пластмасс широкое распространение получили *полимерные пленки*. Для изготовления их применяют термопластичные полимеры: *полиэтилен и его фторированные производные (фторопласты)*, *полипропилен*, *полиизобутилен*, *поливинилхлорид*, *полиамиды*.

В строительстве наиболее широко применяют полиэтиленовую и поливинилхлоридную пленку. Используют также полипропиленовые, полиэтилентерефталатные, полиамидные пленки.

*Полиэтиленовую пленку* получают из полиэтилена высокого давления (низкой плотности). Для предотвращения старения полиэтилена при воздействии особенно ультрафиолетовых лучей добавляют стабилизаторы, обычно аминовые соединения в количестве 0,1%. Полиэтиленовые пленки изготовляют методом *непрерывной экструзии через плоскощелевую головку или в виде трубы с последующим раздувом*. Последний способ применяют более широко. При производстве окрашенной пленки в полиэтилен вводят краситель с последующим вальцеванием массы, гранулированием и обработкой на шинк-машине для получения однородной массы.

Полиэтиленовую пленку выпускают шириной 800...1400 мм, толщиной 0,06...0,2 мм. Предел прочности ее при растяжении увеличивается с уменьшением ее толщины. При толщине 0,2 мм он составляет 10 МПа, при 0,085 мм — 14 МПа и при 0,06 мм — 15 МПа, относительное удлинение соответственно — 400, 350 и 300%. Эксплуатационный интервал температур —70...+80 °С. Полиэтиленовая пленка легко сваривается с помощью горячего воздуха, инфракрасного излучения, ультразвука, аппаратами контактного нагрева. Пленку можно приклеивать к изолируемой поверхности. Например, к бетону пленку можно приклеивать с помощью резинобитумной мастики. Применяют также полиизобутиленовый и эпоксидный клеи. Для повышения прочности полиэтиленовые пленки армируют стеклотканью или синтетическими волокнами, а также соединяют с основой — бумагой или тканью.

Применяют полиэтиленовую пленку для гидроизоляции фундаментов, пароизоляции панелей, устройства противодиффузионных экранов при строительстве оросительных каналов, водоемов и водохранилищ, плитин, дамб и других гидротехнических сооружений. Используют ее также для ухода за свежесложенным цементным бетоном, противокоррозионной защиты стальных трубопроводов. Прозрачную полиэтиленовую пленку применяют при

устройстве теплиц, парников (она пропускает большую часть ультрафиолетовых лучей), временных сооружений и т. д.

*Поливинилхлоридные пленки* изготавливают из полимерной массы, в которую входят поливинилхлорид, пластификаторы, стабилизаторы и пигменты. Поливинилхлоридные пленки обладают высокими гидроизоляционными свойствами, но недостатками их являются быстрое старение под воздействием теплоты и света, более низкая морозостойкость. Применяют пленки для гидроизоляции в закрытых конструкциях, когда исключено попадание солнечных лучей, в интервале температур  $-50...+60^{\circ}\text{C}$ . Поливинилхлоридные пленки легко склеиваются с помощью клея, содержащего 10...12% перхлорвинилового смолы, растворенной в дихлорэтаноле или других органических растворителях. Выпускают самоприклеивающуюся поливинилхлоридную пленку, покрытую с одной стороны перхлорвиниловым клеем. Предел прочности при растяжении такой пленки превышает 10 МПа, относительное удлинение ее при разрыве более 80%. Самоприклеивающуюся пленку используют для защиты от коррозии стальных магистральных нефте- и газопроводов. Показатели полипропиленовой пленки очень высокие, прочность при растяжении 25...30 МПа и относительное удлинение при разрыве 500...700%.

Большую группу полимерных материалов гидроизоляционного назначения составляют *мастики и краски*. Их применяют для гидроизоляции и антикоррозионной защиты металлических, железобетонных и других конструкций, безвлажного ухода за монолитным бетоном. Для улучшения сцепления гидроизоляционных покрытий с защищаемыми материалами последние обрабатывают грунтовочными составами (праймерами). Они состоят обычно из разжиженного пленкообразующего вещества без наполнителей и пигментов. Эмалевые краски включают синтетический полимер, пластификаторы, пигменты, наполнители и при необходимости отвердители. Мастики отличаются от эмалей значительно большим содержанием наполнителя.

Для гидроизоляции используют мастики и краски как на основе термопластичных, так и терморезистивных полимеров. Из термопластов изготавливают этиленовые, перхлорвиниловые лаки и краски, составы на основе хлорсульфинированного полиэтилена и др., из реактопластов — эпоксидные, фенолформальдегидные, фурановые, полиэфирные, кремнийорганические составы. Наиболее надежные и долговечные защитные покрытия получают с применением эпоксидных смол. Для гидроизоляции рекомендуются применять эпоксидные диановые смолы ЭД-16 и ЭД-20. С целью холодного отверждения к ним добавляют 1...5% отвердителей: полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, аминафенольный отвердитель. Такие отвердители, как малеиновый и фталевый ангидриды, применяют для горячего отверждения при  $80...120^{\circ}\text{C}$ .

Снижение стоимости и улучшение ряда свойств эпоксидных составов достигаются при совмещении (компаундировании) эпоксидных и ряда других полимеров. Применяют *эпоксидно-каучуковые, эпоксидно-полиэфирные, эпоксидно-тиокольные и другие компаунды*. Для защиты гидросооружений, подвергаемых интенсивному воздействию кавитации, эффективны эпоксидные полимер-растворы. Разработаны гидроизоляционные составы на основе модифицированной фурановой смолы ФАЭД-20, состоящей из фурфуролацетоновой и эпоксидной смол. Покрытия из этих составов обладают высокой адгезией как к сухому, так и влажному бетону, водо- и морозостойкостью.

● **Герметизирующие материалы** (герметики) предназначены для уплотнения стыковых соединений ограждающих и несущих конструкций зданий и сооружений, уплотнения оконных и дверных блоков в стеновых панелях и элементов из разнородных материалов, а также уплотнения горизонтальных швов цементно-бетонных покрытий. Герметики должны хорошо воспринимать многократные деформации элементов конструкций, обладать атмосферостойкостью, иметь хорошую адгезию к сухим и влажным поверхностям, сохранять эластичность при низких температурах. Герметики применяют в различных отраслях строительства в виде пастообразных масс и готовых изделий. Пастообразные или мастичные герметики разделяют на три группы: *нетвердеющие полимерные мастики, герметики-эластомеры холодного отверждения и битумно-полимерные мастики*. Герметики в виде готовых изделий могут быть представлены листовыми и пленочными материалами, лентами, полосами, прокладками, жгутами и др.

*Нетвердеющие полимерные герметики* изготавливают на основе полиизобутилена и различных видов синтетического каучука. Нетвердеющие полиизобутиленовые мастики представляют собой вязкую гидрофобную массу из полиизобутилена, минерального масла, молотого известняка, мела и антрацита. Мастики готовят на смесительных вальцах при температуре  $100...125^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее широкое применение получила мастика УМС-50, обладающая прочностью при разрыве не менее 1 кПа, водопоглощением 0,8% и теплостойкостью не ниже  $30^{\circ}\text{C}$ . Полиизобутиленовые мастики хорошо сцепляются с поверхностью металлов, керамики, асбестоцемента, стекла и бетона, но недостаточно водостойчивы и поэтому применяются только в надземных конструкциях для герметизации стыков панелей жилых зданий.

К нетвердеющим герметикам относятся также мастики типа «Бутэпрол» и МБС. Мастика «Бутэпрол» представляет собой смесь этиленпропиленового и бутилкаучука, а МБС — бутадienstирольного и бутилкаучука. Применяют их для уплотнения стыков элементов крупнопанельных зданий.

К *герметикам-эластомерам* относятся тиоколовые, бутилкаучуковые и кремнийорганические (силиконовые) мастики. Отличи-



тельной особенностью этих составов является способность их после введения в стык отверждаться под влиянием вулканизирующих добавок и переходить в эластичное резиноподобное состояние.

Тиоколовые мастики изготовляют из жидких полисульфидных каучуков (тиоколов): герметизирующей пасты, вулканизирующей пасты и ускорителя твердения в соотношении 100 : (5..15) : (0.3..1,1). Выпускают также однокомпонентные тиоколовые герметики, способные переходить в резиноподобное состояние при контакте с влагой окружающего воздуха. Отвержденные тиоколовые композиции характеризуются высокой деформативностью, адгезией к широко применяемым строительным материалам, атмосферо-, водо- и коррозионной стойкостью. Основные свойства герметиков сохраняются в течение 20..30 лет при перепаде температур от  $-60$  до  $70^{\circ}\text{C}$ .

Близки по свойствам к тиоколовым бутилкаучуковые герметики.

*Погонажные герметики* выпускают в виде пористых прокладок, полос прямоугольного сечения, жгутов из поризола, гернита или других полимерных материалов. Поризол изготовляют из измельченной резины, девулканизированной в нефтяном дистилляте. При пластификации на вальцах в массу вводят порообразователи и вулканизирующие агенты. Пороизол имеет плотность 200..800 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности на разрыв 0,1..0,36 МПа, относительное удлинение 60..160%. Гернит изготовляют на основе полихлорпренового каучука (наирита). Положительной особенностью его является меньшая подверженность старению по сравнению с поризолом. Использование погонажных пористых герметиков эффективно в том случае, когда величина обжатия прокладок в стыках составляет не менее 30..50% от их диаметров из условия обеспечения достаточной плотности шва.

Для герметизации швов применяют также *оклеечные рулонные герметики*, представляющие собой полосы из стеклоткани с нанесенным на нее слоем мастики. Рулонные материалы — стеклотиокол, стеклосиликон и другие приклеивают к герметизируемым материалам с помощью соответствующих мастик.

### § 13.8. Полимерные трубы, санитарно-технические и погонажные изделия

● **Полимерные трубы** в 3..6 раз легче стальных, не подвергаются коррозии, не разрушаются при замерзании в них воды, устойчивы к почвенной коррозии и имеют ряд других преимуществ. В строительстве применяют полиэтиленовые, поливинилхлоридные, полипропиленовые стеклопластиковые трубы и трубы из органического стекла.

*Полиэтиленовые трубы* изготовляют обычно способом непрерывной экструзии из гранулированного полиэтилена высокого или низкого давления с последующей калибровкой и охлаждением. Трубы диаметром 8..10 мм скатывают в бухты, а больших диаметров режут на стандартные отрезки. Трубы диаметром 300..1600 мм с толщиной стенок 5..25 мм формуют методом центробежного литья во вращающейся металлической форме. Полиэтиленовые трубы наиболее широко применяют в строительстве для напорных и безнапорных сетей. Напорные трубы выпускают диаметром 160..1600 мм, безнапорные — до 150 мм. Масса 1 м полиэтиленовых труб в зависимости от диаметра и толщины стенки составляет 0,07..12,2 кг. Полиэтиленовые трубы примерно в 9 раз легче стальных, температура их эксплуатации достигает  $-60^{\circ}\text{C}$ . Предел прочности при растяжении труб из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) превышает 18 МПа, относительное удлинение 150%. Полиэтиленовые трубы легко поддаются механической обработке и сварке. Недостатки полиэтиленовых труб — плохая склеиваемость, поражаемость грызунами, низкая теплоустойчивость ( $60..70^{\circ}\text{C}$ ). Полиэтиленовые трубы применяют для водоснабжения, канализации, вентиляции, оросительных систем, транспортировки пищевых продуктов, устройства газопроводов.

*Поливинилхлоридные трубы* изготовляют из непластифицированного и пластифицированного (винилпласта) поливинилхлорида. По механической прочности они превосходят полиэтиленовые. Предел прочности их при растяжении достигает 20 МПа, относительное удлинение 160..180%. Трубы из поливинилхлорида хорошо свариваются и склеиваются. Благодаря очень низкой теплопроводности поливинилхлоридных труб (в 400 раз меньше, чем стальных) на их наружной поверхности не образуется конденсат. Характерные недостатки поливинилхлоридных труб — коробление в условиях переменной влажности и хрупкость при отрицательных температурах. При повышении температуры увеличивается пластичность и уменьшается прочность. Например, для винилпластовых труб ударная вязкость при  $20^{\circ}\text{C}$  составляет 150 кДж/м<sup>2</sup>, а при  $-20^{\circ}\text{C}$  — всего 30 кДж/м<sup>2</sup>.

Большой теплоустойчивостью, чем полиэтиленовые и поливинилхлоридные, обладают *полипропиленовые трубы*. Они могут эксплуатироваться при температуре до  $100^{\circ}\text{C}$ , предел прочности этих труб при растяжении не менее 26 МПа, относительное удлинение — не менее 10%. Основной недостаток полипропиленовых труб — хрупкость при низких температурах. Они могут эксплуатироваться при температурах не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Значительно прочнее и более теплоустойчивы по сравнению с другими полимерными трубами *стеклопластиковые трубы*. Они в 4..5 раз легче стальных. Изготовляют их способами намотки на оправку и центробежным методом. При первом способе стекловолоконистая основа, пропитанная полимерным связующим, нама-

тывается на цилиндрическую оправку — дорн. Отформованное изделие подвергается подпрессовке и теплообработке. При центробежном методе пропитанная стекловолоконная основа вводится внутрь вращаемой формы и распределяется под действием центробежной силы по ее поверхности.

Высокой производительностью характеризуется метод непрерывной протяжки стекловолокна в виде жгутов, покрытых полимером сквозь формующее устройство с последующим отверждением трубы при определенном температурном режиме. При таком способе формования не требуется дополнительной обработки труб, представляется возможность полной автоматизации производственного процесса.

Трубы из стеклопластика изготавливают длиной 3000...6000 мм, диаметром 30...300 мм при толщине стенок 2...10 мм. Предел прочности их при сжатии вдоль оси достигает 300 МПа, при изгибе — 60 МПа. Стеклопластиковые трубы могут работать при температуре до 150 °С.

● **Санитарно-технические и погонажные изделия** изготавливают из разнообразных полимерных композиций — термопластичных и терморезистивных полимеров. В ряде случаев, например при формовании ванн, моек, умывальников, применяют листовые заготовки. В зависимости от вида сырья, формы и размеров используют различные способы формования. Так, крупногабаритные изделия из стеклопластиков изготавливают на конвейерных линиях методом контактного формования. На форму, поверхность которой покрыта разделительной смазкой, наносят полимерную массу, а затем укладывают слой стеклоткани и связующего с одновременной укаткой и уплотнением каждого слоя. После отверждения изделие снимают с формы. При применении в качестве заготовок листовых термопластов используют пневмоформование. Детали водопроводно-канализационной арматуры формуют прессованием.

Для производства погонажных изделий (плинтусы, рейки, поручни и др.) используют обычно полимерную массу из суспензионного поливинилхлорида или полиэтилена, формуемую методом экструзии.

### § 13.9. Теплозвукоизоляционные материалы

Теплоизоляционные пластмассы делят на три группы: пенопласты, поропласты и сотопласты.

● К **пенопластам** относят материалы с системой изолированных, не сообщающихся между собой ячеек, а к **поропластам** — сообщающихся ячеек или полостей, заполненных газом. **Сотопласты** имеют регулярно повторяющиеся полости правильной геометрической формы. Наибольшее распространение в строительстве имеют пенопласты на основе полистирола, поливинилхлорида и полиуре-

тана. Ячеистые и пористые пластмассы самые легкие из теплоизоляционных материалов. Плотность их 10...300 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,03...0,05 Вт/(м·°С), отношение предела прочности теплоизоляционных пластмасс к их плотности значительно выше, чем для других теплоизоляционных материалов. Пенопласты имеют более низкое водопоглощение, акустические свойства и большую звукопроницаемость по сравнению с поропластами. Акустические свойства пенопластов основаны на упругих свойствах газа, заключенного в материале, и деформативности его скелета. Их часто используют как звукоизоляционные материалы при устройстве специальных акустических ограждений. Акустическая способность пластмасс, имеющих значительную открытую пористость, основана на их высокой звукопоглощающей способности, позволяющей снижать энергию падающих на ограждение звуковых колебаний.

**Пенополистирол** изготавливают из эмульсионного или суспензионного полистирола с добавками порофора прессовым и беспрессовым методами. В первом случае получают более прочные и жесткие пенопласты. Пенополистирол выпускают в виде плит или фасонных изделий. Пенополистирольные плиты имеют размер 1500×1500 мм, толщину не менее 50 мм. Пенополистирол имеет плотность 16...40 кг/м<sup>3</sup>, прочность при изгибе 0,07...0,18 МПа, теплопроводность при температуре (25±5)°С не более 0,038...0,041 Вт/(м·°С), водопоглощение за 24 ч не более 2...4%. Они легко режутся, склеиваются между собой и другими материалами.

Из пенополивинилхлорида прессовым и беспрессовым методами получают *жесткие и эластичные пенопласты*. Для получения эластичного пенопласта в состав прессуемой композиции вводят пластификатор — дибутилфталат или диоктилфталат. Поливинилхлоридные пенопласты выпускают в виде плит длиной и шириной обычно не менее 500 мм при толщине не менее 45 мм, температура их использования — 60...+60 °С. Жесткие поливинилхлоридные пенопласты имеют водопоглощение за 24 ч не более 0,25...0,3 кг/м<sup>2</sup>, линейную усадку при 60 °С — 1%, стрелу прогиба — 3...4 мм, предел прочности при сжатии — 0,4...1,5 МПа. Для эластичных пенопластов водопоглощение должно быть не более 0,05%, объемная усадка 15...20%, стрела прогиба не более 6 мм, теплопроводность 0,04...0,05 Вт/(м·°С).

В строительстве применяют также пенопласты из полиуретанов, полиэтилена, эпоксидных, фенолформальдегидных и карбамидных полимеров. **Пенополиуретаны** получают из простых и сложных полиэфиров. При этом эластичные пенополиуретаны получают на основе полиэфиров с линейной структурой макромолекул, а жесткие — с пространственной. В состав полимерной массы входят катализатор, регулирующий вспенивание и отверждение полимера, и эмульгатор для образования однородной пористой структуры. Пенополиуретаны в заводских условиях изготавливают в основном непрерывным методом. Полимерная масса посту-

пает в бумажный короб, перемещаемый конвейером, где она вспенивается углекислым газом, выделяющимся при взаимодействии компонентов смеси, отверждается, проходит теплообработку, охлаждается и разрезается на блоки. Эластичные пенопласты в виде полотнищ наматывают на барабаны.

На месте производства работ жесткие пенополиуретаны изготавливают, заливая полимерную массу в формы или в полости конструктивных элементов зданий и сооружений. На ограждающих элементах зданий пенополиуретановые слои образуют также напылением с помощью специальных установок. Пенополиуретановые изделия выпускают в виде блоков, листов и рулонов. Характерная их особенность — сравнительно широкий температурный интервал применения. Жесткие пенопласты можно применять при температурах  $-200...+170^{\circ}\text{C}$ , плотность их  $30...200\text{ кг/м}^3$ , предел прочности при сжатии  $3,5\text{ МПа}$ , при изгибе  $5\text{ МПа}$ , теплопроводность  $0,032...0,058\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ . Пенополиуретаны применяют для теплоизоляции труб, холодильников, в качестве герметиков и среднего слоя трехслойных панелей. К сожалению, их применение ограничивается токсичностью продуктов сгорания.

К числу материалов для комплексной теплогидроизоляционной защиты сооружений, в том числе и под водой, относятся *пеноэпоксиды*. Их изготавливают из полимерной смеси, включающей диановые эпоксидные смолы, отвердители и газообразователи как при повышенных, так и при нормальных температурах. Плотность эпоксидных пенопластов  $50...200\text{ кг/м}^3$ , предел прочности при сжатии  $1...3\text{ МПа}$ , ударная вязкость  $0,6...3\text{ кДж/м}^2$ , теплопроводность  $0,06...0,12\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ , температурный интервал применения  $-60...160^{\circ}\text{C}$ .

Для комплексной теплоизоляции находят применение также *фенолформальдегидные пенопласты*; они значительно дешевле эпоксидных и в то же время обладают необходимой водоустойчивостью и теплоизоляционной способностью.

Наиболее легкими из теплоизоляционных пластмасс являются *карбамидные поропласты*. В строительстве находит более широкое применение представитель этой группы пластмасс — *мипора*. Мипору изготавливают в виде блоков, плит или крошки с плотностью  $10...20\text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $0,029...0,04\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ . Недостатки мипоры: высокая гигроскопичность, достигающая за 28 сут  $85\%$ , хрупкость и низкая биостойкость. Применяют ее для теплоизоляции сооружений временного типа, холодильников, как звукоизоляционный материал.

Сотопласты получают обычно склеиванием в блоки гофрированных листов специальной бумаги или ткани, пропитанной полимером. Полимерным связующим служат карбамидные, фенолформальдегидные, эпоксидные и полиэфирные полимеры. Блоки сотопластов выпускают длиной  $1000...1500\text{ мм}$ , шириной  $550...650\text{ мм}$ , высотой  $300...350\text{ мм}$ . Плотность сотопластов  $30...140\text{ кг/м}^3$ ,

предел прочности при сжатии  $0,3...4\text{ МПа}$ , теплопроводность  $0,05...0,06\text{ Вт/(м}\cdot^{\circ}\text{C)}$ . Теплоизоляционные свойства сотопластов улучшаются при заполнении ячеек крошкой мипоры.

Применяют сотопласты в качестве среднего слоя при изготовлении панелей стен, плит перекрытий, перегородок, дверей.

? 

1. Какие виды пластмасс известны и по каким признакам их классифицируют?
2. В чем состоят технико-экономические преимущества применения пластмасс в строительстве?
3. Выделите особенности формования полимерных изделий при каландрировании, экструзии, прессовании, литье под давлением.
4. Как получают пористые материалы?
5. В чем особенности свойств и технологии полимерных материалов для ограждающих конструкций?
6. Сопоставьте свойства и рациональные области применения различных материалов для полов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщенный на страницах настоящей книги отечественный и зарубежный опыт производства строительных материалов дает достаточно широкое представление о широте их палитры, разнообразии технологии и строительно-технических свойств. Ассортимент строительных материалов и изделий становится все шире и шире. Строительство любого современного промышленного или гражданского здания (сооружения) невозможно без применения десятков и сотен видов строительных материалов (вяжущих, теплоизоляционных, битумных, полимерных, металлических и т. д.). Применение эффективных строительных материалов обеспечивает соответствие сооружаемого объекта как техническим, так и эстетическим требованиям.

Вместе с тем представленные в настоящей книге данные наглядно свидетельствуют об общности технологических приемов, используемых при получении различных строительных материалов и изделий. Варьируемые в различной последовательности и в различных вариантах технологические операции — дробления, тонкого измельчения, формования, тепловой обработки и др. — обеспечивают получение любого материала с заданными свойствами. Общность технологических основ получения разнообразных строительных материалов, с одной стороны, свидетельствует об общности их структурных характеристик, а с другой — дает возможность использовать наиболее эффективные приемы в смежных технологиях, расширяя пути дальнейшего совершенствования процессов. Для студентов-экономистов особенно важно развитие технико-экономического подхода при решении технических задач, что позволит лучшим образом определить возможность и целесообразность производства и применения строительных материалов в конкретных условиях и выявить экономически эффективные направления развития предприятий строительной индустрии.

Вместе с тем приходится учитывать, что приобретенные по данному курсу знания в дальнейшем неизбежно будут пополняться новыми сведениями о совершенствовании традиционных и разработке принципиально новых материалов в связи с применением нового сырья и технологий. На рубеже XXI в. неизбежные изменения в технологии приведут к трансформации традиционных знаний о строительных материалах и путях их получения. Очевидно, что в сырьевой базе все возрастающую роль будут иметь техногенные и синтетические продукты. Оборудование заводов строительных материалов автоматическими линиями потребует новых электронно-вычислительных счетно-решающих и управляю-

щих устройств, а наука — математизации знаний о материалах. Неизбежны кардинальные изменения и в энергетике промышленности строительных материалов. Сжигание природного ценного сырья в виде угля, газа, нефти и т. д. должно уступить нетрадиционным источникам — энергии Солнца, термоядерного синтеза и др.

Можно прогнозировать и открытие новых законов в науке о материалах, базирующихся на законах материального мира, которые обеспечат получение новых сложных композиционных материалов.

- Баженов Ю. М. Технология бетона. М., 1987.  
 Берней И. И., Колбасов В. М. Технология асбестоцементных изделий М., 1985.  
 Баженов Ю. М., Комар А. Г. Технология бетонных и железобетонных изделий М., 1984.  
 Болдырев А. С., Добужинский В. И., Рекитар Я. А. Технический прогресс в промышленности строительных материалов. М., 1980.  
 Бутт Ю. М., Дудеров Ю. Г., Матвеев Г. М. Общая технология силикатов. М., 1987.  
 Волженский А. В. Вяжущие вещества М., 1986.  
 Горлов Ю. П., Меркин А. П., Устенко А. А. Технология теплоизоляционных материалов. М., 1980.  
 Горяйнов К. Э., Коровникова В. В. Технология производства полимерных и теплоизоляционных изделий М., 1975.  
 Колбасов В. М., Леонов И. И., Сулименко Л. М. Технология вяжущих материалов. М., 1987.  
 Комар А. Г. Строительные материалы и изделия М., 1988.  
 Комар А. Г., Баженов Ю. М., Сулименко Л. М. Технология производства строительных материалов М., 1984.  
 Монастырев А. В. Производство известн. М., 1986.  
 Мороз И. И. Технология строительной керамики. Киев, 1980.  
 Общий курс строительных материалов / Под ред. И. А. Рыбьева. М., 1987.  
 Орлов А. М. Добыча и обработка природного камня М., 1977.  
 Пащенко А. А., Сербин В. П., Старчевская Е. А. Вяжущие материалы. Киев, 1985.  
 Рекитар Я. А. Эффективность и перспективы применения прогрессивных материалов в строительстве М., 1978.  
 Роговой М. И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М., 1974.  
 Рыбьев И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М., 1978.  
 Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе. М., 1983.  
 Технология изделий из силикатных бетонов / Под ред. А. В. Саталкина М., 1972.  
 Технологии строительного и технического стекла и шлакосталлов / В. В. Поляк П. Д. Саркисов, В. Ф. Солинов и др М., 1983.  
 Чаус К. В., Чистов Ю. Д., Лабзина Ю. В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций М., 1988.

- Автоклав 70, 73, 138  
 Аглопорит 194—196  
 Активность  
 — извести 66  
 — цемента 106—107  
 Алит 80—81  
 Арболит 353—355  
 Арматура  
 — для гилсобетона 53  
 — — железобетона 206, 217—220  
 Армоцемент 182—183  
 Асбест 128—129  
 Асбестоцемент 128, 139  
 Асфальтены 367  
 Асфальтобетонны 377—387  
 «Аэрофол» 90—91
- Базальт 8  
 Белит 80—81  
 Бетон 145—146  
 — высокопрочный 182  
 — гилсовый 53—55  
 — декоративный 187—188  
 — дорожный 186  
 — жаростойкий 183  
 — конструкционный 191  
 — конструкционно теплоизоляцион-  
 ный 191  
 — крупнопористый 204—205  
 — легкий 190—202  
 — мелкозернистый 182  
 — многокомпонентный 188—189  
 — полимерцементный 185—186  
 — поризованный 202—203  
 — силикатный 70—73  
 — теплоизоляционный 191  
 — ячеистый 205—212  
 Бетонополимер 184—185  
 Бетоносмеситель  
 — смешивания гравитационного 156  
 — — принудительного 157
- Битум 366—370  
 Битумперлит 339—340  
 Бризол 393—395  
 Брусчатка 17
- Вагранка 333—334  
 Варка стекла 297—299  
 Вата  
 — каолиновая 348  
 — минеральная 332—333  
 Вермикулит 342—343  
 Вибрирование 160, 199, 224—227  
 Виброгрохот 32  
 Виброплощадка 73, 226  
 Вода 130, 146—147  
 Водонепроницаемость бетона 176  
 Водопотребность бетонных смесей 148  
 Вяжущие  
 — автоклавного твердения 45, 67—68  
 — воздушные 45  
 — гидравлические 45  
 — гилсовые 46—53  
 — гилсоцементно-лушцолановое 115  
 — кислотоупорные 45  
 — магнезиальные 75—76
- Габбро 8  
 Газобетон 208—210  
 Газообразователь 209  
 Газосиликат 208—209  
 Гашение извести 64—65  
 Герметик 429—430  
 Гидратация 64—65, 105—106  
 Гидропушитель 133  
 Гипс  
 — высокообжиговый 46, 52  
 — повышенной прочности 50  
 — полуводный 47  
 — природный 48, 77  
 Гилсобетон 53

Глазурь 280  
Глина 78, 252—254  
Гнейс 10  
Голлендер 133  
Гомогенизатор 260  
Гравий 9, 19, 41, 151—153  
Гранит 7

Деготь 50  
Декарбонизатор 99—100  
Диабаз 8  
Добавки  
— активные минеральные 114  
— воздухововлекающие 155  
— выгорающие 255  
— гидрофобные 111, 155  
— пластифицирующие 11, 153—154, 240—241  
— противоморозные 238  
Добыча нерудных материалов 20—27  
— гидромеханизованная 25—27  
Доломит каустический 75—76  
Дробление 28—31, 89

Железобетон 213  
Жесткость бетонной смеси 163—165

Замедлитель схватывания 77  
Заполнители для бетонов 147—153  
— легкие 53, 191—197  
Защита от коррозии  
— арматуры 223  
— бетона и железобетона 109  
— природного камня 19—20  
Зола 69, 207

Известняк 59  
Известь  
— воздушная 59  
— гашеная 59  
— жирная 66  
— негашеная 59—61  
— пушонка 59  
— тощая 66  
Изделия

— асбестоцементные 139—141  
— гипсобетонные 53—59  
— керамические 278—289  
— санитарно-технические 289—290  
— силикатные 68—75  
Изол 387, 393—395  
Интенсификация помола 102—103  
Интервал спекания глины 270

Каладрирование 406  
Камень  
— бортовой 17  
— бытовой 15, 18  
— керамический 276  
— природный 6  
— стеновой 15—16  
— штучный 11  
— цементный 106  
Каолин 253  
Камера пропарочная 228  
Камышит 359  
Керамика ковровая 280—281  
Керамзит 193—194  
Кирпич  
— известково-золепый 74—75  
— известково-шлаковый 74—75  
— керамический 252, 272, 276  
— силикатный 73—74  
Класс бетона 168  
Классификация  
— бетонов 144—145  
— минеральных вяжущих 45—46  
Клинкер  
— глиноземистый 122—123  
— порландцементный 77  
Коррозия цементного камня 108—110  
Котел варочный 49  
Ксилолит 76

Лёсс 253  
Линолеум 423—425  
Листы  
— асбестоцементные 140  
— гипсовые облицовочные 57—58  
Литье каменное 319—320

Магнезит каустический 75  
Марка  
— битума 374  
— порландцемента 107  
— щебня 152  
Мастики асфальтовые 377—387  
Материалы  
— акустические 359  
— битумные 365  
— вяжущие 45  
— герметизирующие 429  
— дегтевые 365  
— кровельные 387  
— нерудные 20  
— отделочные 73  
— полимерные 396  
— природные каменные 6, 10—14  
— теплоизоляционные 325  
Мел 59  
Мельница шаровая 101—104  
Мицелла 367  
Модуль крупности песка 149  
Морозостойкость 109—110, 174—175  
Мрамор 10

Наполнители пластмасс 397  
Натяжение арматуры  
— механическое 220—221  
— электротермическое 221—223

Обезвоживание нерудных материалов 36—37  
Обогащение нерудные материалов 37—38  
Обработка природного камня  
— приближенная 11  
— скалыванием 13—14  
— точная 12  
— фактурная 13  
Обжиг  
— карбонатсодержащих пород 62—64  
— керamikи 269—272  
— порландцементного клинкера 96—100  
Огнеупорность глины 255  
Отжиг 301

Отношение водоцементное 164—165, 178

Панели  
— асбестоцементные 140  
— гипсобетонные 55  
Паропрогрев бетона 173  
Пемза  
— вулканическая 9  
— шлаковая 196, 321—323  
Пенобетон 205  
Пенообразователь 207, 327—328  
Пенопласты 331, 432—435  
Пеностекло 325, 331, 337—339  
Пергамин 392  
Перлит 325, 339  
— вспученный 196—197  
Песок 19, 42—43, 68, 148—151  
Печь  
— ванная 299—301, 334  
— вращающаяся 64, 98—99  
— роликовая 271—272  
— туннельная 271  
— шахтная 63  
— шелевая 271—272  
Пластикаторы 396  
Пластичность глины 254  
Пластмассы  
— термопластичные 297  
— терморезистивные 297  
Плитки керамические  
— для облицовки стен 283—285  
— — полов 285—287  
Плиты древесноволокнистые 351—352  
Плотность 15  
Подвижность бетонной смеси 163—165  
Полиакрилаты 402  
Полимеры 368  
Поликонденсация 399  
Полимербетоны 420—422  
Полипропилен 401  
Полиэтилен 400  
Полиэфир 403  
Полуфарфор 289  
Порландцемент 77—110  
— белый 112—113



— быстротвердеющий 110  
— гидрофобный 111  
— для асбестоцементных изделий 129—130  
— песчаный 130  
— пластифицированный 11—112  
— луццолановый 114—116  
— сульфатостойкий 111  
— тампонажный 113—114  
— цветной 113  
Пористость бетона 167  
Породы горные 7—10  
— глубинные 7—8  
— изверженные 7—8  
— излившиеся 8  
— метаморфические 9  
— осадочные 8  
Приготовление бетонной смеси 156—160  
Промывка заполнителей 32—36  
Прочность  
— бетонов легких 200—202  
— тяжелых 168—172  
— цементного камня 46, 106—107  
Пудра алюминиевая 209  
Пустотность 150

#### Раславы минеральные 295

#### Растворы

— гипсовые 53  
— для каменных кладок 242  
— инъекционные 250  
— специальные 248—251  
— строительные 234—251  
— тампонажные 249  
— штукатурные 244—246  
Распушка асбеста 131—132  
Расчет состава бетона 176—181  
Релин 425  
Рубероид 388—391

#### Сварка арматуры 218—219

#### Ситалл 317

Скорость сушки 266—268

Смесь бетонная 156—166

Слепание глины 270

#### Способы производства порландцементного клинкера

— комбинированный 86—87  
— мокрый 83—85  
— сухой 85—86

#### Способы производства сборного железобетона 214—217

Сроки схватывания 46, 51, 108

Сталь арматурная 218

#### Стекло

— армированное 309  
— витринное 308  
— жидкое 343—344  
— закаленное 313—314  
— листовое 302—318  
— облицовочное 312  
— профильное 310  
— теплопоглощающее 314—315

Стеклоблоки 310—311

Стекловолокно 316, 336—337

Стеклопакеты 312

Стеклопластики 316, 418—420

Стеклопрофилит 310

Структура бетона 166—168

Суперпластификаторы 155

#### Сушило

— камерное 267—268  
— распылительное 260—261  
— туннельное 268

#### Схватывание

— гипсового теста 52  
— магнезиальных вяжущих 76  
— строительной извести 66  
— цементного теста 108

#### Твердение

— асбестоцементных изделий 137—138

— гипсовых вяжущих 51, 54—55

— глиноземистого цемента 124

— вяжущих известковых 65

— магнезиальных 75

— порландцемента 105—106

Теплостойкость полимеров 413

Термозит 321—323

Тесто известковое 59

Теплопроводность бетона 212

Тиксотропия 162

Толь 393

Толливо 97—98

Трепел 114

#### Трубы

— асбестоцементные 140

— дренажные керамические 290—291

— канализационные 291—293

— кислотоупорные 293—294

— напорные 216

— полнмерные 430—432

— стеклянные 315

Туф вулканический 8

Удобоукладываемость 239—240

#### Усадка

— бетона 174

— огпенаи 255

Удельная поверхность цемента 108

Удобоукладываемость бетонных смесей 164—165

Уплотнение бетонных смесей вибрацией 160—161

Фактура каменных материалов 14

Фарфор 289—290

Фаянс 289—290

Фибробетон 188

Фибролит 76, 331, 356—358

#### Формование

— асбестоцементных изделий 134—137

— гипсовых бетонов 54

— железобетонных изделий 223—227

— литьем 265—266

— пластическое 262—263

— сухое 263—264

Фосфогипс 48

#### Цемент

— ангидритовый 52

— гипсоглиноземистый 126

— глиноземистый 121—124

— известков-шлаковый 120

— кислотоупорный 45

— напрягающий 126—127

Черепица 287—289

Шамот 291, 347—348

#### Шлак

— доменный 69, 79, 321

— электротермофосфорный 79

Шлакоситалл 318

Шлакопортландцемент 118—120

Шлам нефелиновый 79

Шликер 258

Щебень 39, 151—152

Экструзия 137, 407

Электропрогрев бетона 229

Эмульсия битумная 375

Этtringит 106

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3	Глава 5. Основы технологии бетона . . . . .	142
Введение . . . . .	4	§ 5.1. Общие сведения . . . . .	142
Глава 1. Основы технологии природных каменных материалов . . . . .	6	§ 5.2. Материалы для бетона . . . . .	145
§ 1.1. Общие сведения . . . . .	6	§ 5.3. Технология производства и свойства бетонной смеси . . . . .	156
§ 1.2. Горные породы и их классификация . . . . .	7	§ 5.4. Структура и свойства бетона . . . . .	166
§ 1.3. Основы разработки и обработки природных каменных материалов . . . . .	10	§ 5.5. Расчет состава бетона . . . . .	176
§ 1.4. Номенклатура материалов и изделий из горных пород. Свойства и области их применения . . . . .	15	§ 5.6. Разновидности бетона на объемных заполнителях . . . . .	182
§ 1.5. Защита изделий из природного камня . . . . .	19	Глава 6. Основы технологии легких бетонов . . . . .	190
§ 1.6. Добыча нерудных строительных материалов . . . . .	20	§ 6.1. Общие сведения . . . . .	190
§ 1.7. Переработка нерудных строительных материалов . . . . .	27	§ 6.2. Пористые заполнители . . . . .	191
§ 1.8. Обогащение нерудных строительных материалов . . . . .	37	§ 6.3. Технология производства легких бетонов и изделий из них . . . . .	197
§ 1.9. Складирование нерудных строительных материалов . . . . .	38	§ 6.4. Свойства легких бетонов . . . . .	199
§ 1.10. Технологические схемы заводов нерудных строительных материалов . . . . .	39	§ 6.5. Разновидности легких бетонов . . . . .	202
Глава 2. Основы технологии воздушных вяжущих веществ и изделий на их основе . . . . .	45	§ 6.6. Ячеистые бетоны . . . . .	205
§ 2.1. Общие сведения . . . . .	45	Глава 7. Основы технологии сборных железобетонных изделий . . . . .	213
§ 2.2. Основы технологии гипсовых вяжущих веществ . . . . .	46	§ 7.1. Общие сведения . . . . .	213
§ 2.3. Основы технологии гипсовых и гипсобетонных изделий . . . . .	53	§ 7.2. Технология производства железобетонных изделий . . . . .	214
§ 2.4. Основы технологии строительной воздушной извести . . . . .	59	§ 7.3. Виды арматуры и способы армирования . . . . .	217
§ 2.5. Основы технологии изделий на основе известковых вяжущих веществ . . . . .	67	§ 7.4. Формование изделий . . . . .	223
§ 2.6. Основы технологии магнезиальных вяжущих веществ . . . . .	75	§ 7.5. Тепловлажностная обработка . . . . .	227
Глава 3. Основы технологии гидравлических вяжущих веществ . . . . .	77	§ 7.6. Контроль качества бетона . . . . .	230
§ 3.1. Портландцемент. Сырьевые материалы и химико-минералогический состав клинкера . . . . .	77	Глава 8. Основы технологии строительных растворов . . . . .	234
§ 3.2. Способы производства портландцемента . . . . .	81	§ 8.1. Общие сведения . . . . .	234
§ 3.3. Добыча и транспортировка сырьевых материалов . . . . .	87	§ 8.2. Технология производства строительных растворов . . . . .	235
§ 3.4. Подготовка порландцементных сырьевых смесей . . . . .	88	§ 8.3. Свойства растворных смесей и растворов . . . . .	239
§ 3.5. Обжиг порландцементных сырьевых смесей . . . . .	96	§ 8.4. Растворы для каменных кладок и монтажа крупных элементов стен . . . . .	242
§ 3.6. Помол порландцемента . . . . .	100	§ 8.5. Штукатурные растворы . . . . .	244
§ 3.7. Твердение и свойства порландцемента . . . . .	105	§ 8.6. Специальные растворы . . . . .	248
§ 3.8. Специальные виды порландцемента . . . . .	110	Глава 9. Основы технологии строительной керамики . . . . .	252
§ 3.9. Пуццолановые цементы . . . . .	114	§ 9.1. Общие сведения . . . . .	252
§ 3.10. Шлаковые цементы . . . . .	116	§ 9.2. Сырье для производства керамических изделий . . . . .	252
§ 3.11. Глиноземистый цемент . . . . .	121	§ 9.3. Подготовка керамических масс . . . . .	256
§ 3.12. Расширяющиеся цементы . . . . .	125	§ 9.4. Формование керамических изделий . . . . .	262
Глава 4. Основы технологии асбестоцементных изделий . . . . .	128	§ 9.5. Сушка керамических изделий . . . . .	266
§ 4.1. Общие сведения . . . . .	128	§ 9.6. Обжиг керамических материалов . . . . .	269
§ 4.2. Сырьевые материалы . . . . .	128	§ 9.7. Стекловые керамические материалы . . . . .	272
§ 4.3. Формование асбестоцементных изделий . . . . .	130	§ 9.8. Фасадная керамика . . . . .	278
§ 4.4. Твердение и дополнительная обработка асбестоцементных изделий . . . . .	137	§ 9.9. Изделия керамические для внутренней облицовки зданий . . . . .	283
§ 4.5. Свойства и применение асбестоцементных изделий . . . . .	139	§ 9.10. Кровельная черепица . . . . .	287
		§ 9.11. Санитарно-техническая керамика . . . . .	289
		§ 9.12. Керамические трубы . . . . .	290
		Глава 10. Основы технологии материалов и изделий из минеральных расплавов . . . . .	295
		§ 10.1. Общие сведения . . . . .	295
		§ 10.2. Физико-химические основы получения изделий из стекловых расплавов . . . . .	295
		§ 10.3. Листовое стекло . . . . .	302
		§ 10.4. Архитектурно-строительное стекло . . . . .	308
		§ 10.5. Техническое стекло . . . . .	313
		§ 10.6. Стекловолокнистые материалы и стеклопластики . . . . .	316
		§ 10.7. Ситаллы и шлакоситаллы . . . . .	317
			445

§ 10.8. Каменное литье . . . . .	319
§ 10.9. Материалы и изделия из шлаковых расплавов . . . . .	321
<b>Глава 11 Основы технологии теплоизоляционных и акустических материалов . . . . .</b>	<b>325</b>
✓ § 11.1 Общие сведения . . . . .	325
§ 11.2 Неорганические теплоизоляционные материалы . . . . .	332
§ 11.3 Материалы для высокотемпературной теплоизоляции . . . . .	344
§ 11.4 Органические теплоизоляционные материалы . . . . .	350
§ 11.5 Акустические материалы . . . . .	359
<b>Глава 12 Основы технологии битумных и дегтевых материалов . . . . .</b>	<b>365</b>
§ 12.1. Общие сведения . . . . .	365
§ 12.2. Битумные и дегтевые вяжущие . . . . .	366
§ 12.3. Асфальтовые бетоны и мастики . . . . .	377
§ 12.4. Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы . . . . .	387
<b>Глава 13. Основы технологии полимерных строительных материалов . . . . .</b>	<b>396</b>
✓ § 13.1. Общие сведения . . . . .	396
§ 13.2. Синтетические полимеры . . . . .	398
§ 13.3. Способы получения строительных изделий из пластмасс . . . . .	405
§ 13.4. Свойства пластмасс . . . . .	412
§ 13.5. Полимерные материалы для ограждающих и несущих конструкций . . . . .	416
§ 13.6. Материалы для покрытия полов . . . . .	423
§ 13.7. Гидроизоляционные и герметизирующие материалы . . . . .	427
§ 13.8. Полимерные трубы, санитарно-технические и погонажные изделия . . . . .	430
§ 13.9. Теплозвукоизоляционные материалы . . . . .	432
Заключение . . . . .	436
Литература . . . . .	438
Предметный указатель . . . . .	439

*Учебное издание*

**Комар Алексей Георгиевич, Баженов Юрий Михайлович,  
Сулименко Лев Михайлович**

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Зав редакцией Б. А. Ягупов  
 Редактор Н. Н. Попова  
 Мл. редактор О. С. Смотрина  
 Художественный редактор С. Г. Абелин  
 Технический редактор А. К. Нестерова  
 Корректор Р. К. Косынова

ИБ № 8647

Изд. № Стр. 577, Сдано в набор 18.10.89. Подп. в печать 22.02.90.  
 Формат 60×88<sup>1/8</sup> Бум. офсет № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная.  
 Объем 27,44 усл. печ. л., 27,44 усл. кр.-отт. 30,48 уч.-изд. л.  
 Тираж 20 000 экз. Зак. № 1783. Цена 1 р. 30 к.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 5  
 Государственного комитета СССР по печати.  
 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.

Комар А. Г. и др.

К 63 Технология производства строительных материалов: Учеб. для вузов по спец. «Экономика и управление в стр-ве». — 2-е изд., перераб. и доп. / А. Г. Комар, Ю. М. Баженов, Л. М. Сулименко. — М.: Высш. шк., 1990. — 446 с.: ил.

ISBN 5-06-001612-9

В учебнике рассмотрены основы технологии нерудных строительных материалов, вяжущих веществ, бетонов, стекла, керамики, теплоизоляционных и акустических материалов, полимеров.

Во втором издании (1-е — 1984 г.) рассмотрена номенклатура строительных материалов, более широко представлены вопросы охраны окружающей среды и автоматизации производства. Даны анализ основ технологических процессов получения различных строительных материалов и их экономическая оценка.

К 3306000000(4309000000)—214 220—90  
001(01)—90

ББК 38.3

6С3